

**Formulación de un proyecto de producción limpia de tomate (*Lycopersicum
esculentum* Mill.) hidropónico bajo invernadero en la vereda San Fernando, del
municipio de Tibacuy - Cundinamarca**

**Trabajo de grado en modalidad de monografía para aspirar al título de Tecnólogo en
producción agrícola:**

Juan Sebastián Moreno Pulido

Dirigido por:

Dario Fernando Mejia Terán

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de Medio Ambiente – ECAPMA

Tecnología en Producción Agrícola

Bogotá

2023

Resumen

Las consecuencias negativas en los monocultivos por uso intensivo de agroquímicos, causa acumulación de metales pesados en fuentes hídricas, contaminación del entorno y afecciones a la calidad de vida a millones de personas (FAO, 2018). Los niveles de trazas químicas adheridas a los frutos, en la mayoría de las ocasiones, sobrepasan los niveles máximos permitidos, acarreando diversas enfermedades en los consumidores. Adicionalmente el desconocimiento técnico, el aumento de plagas y enfermedades en cultivos y el uso inadecuado de agroquímicos, aumenta los costos de producción bajando la rentabilidad económica de los agricultores, causando adicionalmente mortandad en los insectos polinizadores, afectando la biodiversidad y la calidad de los alimentos (Ministerio de Ambiente, 2009).

Para minimizar estos impactos se realiza una investigación con base en diferentes documentos académicos sobre la producción de tomate bajo invernadero en Colombia, sus problemáticas y cómo, por medio de la hidroponía se pueden generar grandes rendimientos productivos en pequeñas áreas, usando técnicas que permitan un mejor uso del recurso agua, generando productos limpios y de alta calidad.

Por estas razones, se formula un modelo de producción limpia hidropónica de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Tibacuy, caracterizando los requerimientos del cultivo, enfocado un manejo integrado de plagas y enfermedades de manera ecológica y con buenas prácticas agrícolas.

Se escogió el tomate híbrido “Bonus” con sustrato de fibra de coco en bolsas dispuestas en surcos con altura de 50cm, con 4 tanques para las soluciones nutritivas, polinización asistida con vibradores eléctricos, aplicación de productos biológicos, barreras físicas, trampas para insectos en un invernadero tipo multitúnel de 800m².

Summary

The negative consequences in monocultures due to the intensive use of agrochemicals, caused an accumulation of heavy metals in hydraulic sources, affecting the quality of life of millions of people (FAO, 2018). The levels of chemical traces adhered to the fruits exceed the maximum permitted levels, causing various diseases in consumers. Additionally, the lack of technical knowledge, the increase in pests and diseases in crops and the inappropriate use of agrochemicals, increases production costs, lowering the economic profitability of farmers, additionally causing mortality in pollinating insects, affecting biodiversity and food quality (Ministerio de Ambiente, 2009).

To minimize these impacts, an investigation is carried out based on different academic documents on greenhouse tomato production in Colombia, its problems and how hydroponics can generate large productive yields in small areas, using techniques that allow better use of the water resource, generating clean and high-quality products.

That is why a model of clean hydroponic production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is established under a greenhouse in the municipality of Tibacuy, characterizing the requirements of the crop, focused on an integrated management of pests and diseases in an ecological way and with good agricultural practices.

The "Bonus" hybrid tomato was chosen with coconut fiber substrate in bags arranged in grooves with a height of 50cm, with 4 tanks for nutrient solutions, pollination with electric vibrators, application of biological products, physical barriers, insect traps in an 800m² multi-tunnel greenhouse.

Tabla de Contenido

Introducción	9
Planteamiento del problema	11
Justificación.....	13
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco teórico	17
Hidroponía.....	17
Técnicas Hidropónicas	19
Técnica NFT	19
Técnica de raíz flotante	20
Técnica aeropónica	21
Técnicas con sustrato	22
Solución Nutritiva	24
Dosificación y aplicación de la solución nutritiva.....	25
Disponibilidad de Oxígeno	26
Influencia de la temperatura	26
Influencia pH	26
Influencia de salinidad	27
Fertilizantes usados para la preparación de la solución nutritiva	27
Generalidades del cultivo	29
Definición botánica del tomate	29
Hábitos de crecimiento del Tomate	31
Condiciones agroclimáticas del cultivo	32
Temperatura	32
Humedad relativa.....	32
Luminosidad	32
Altitud	33
Tipo se suelo	33
Etapas fenológicas del cultivo de tomate	33
Establecimiento de la plántula	33
Crecimiento vegetativo	33
Floración e inicio del desarrollo	34
Inicio del desarrollo	34
Maduración del fruto	34
Variedades de tomate para producción bajo invernadero	35
Hibrido Bachué	35
Hibrido Pacal	36
Hibrido San Isidro.....	36
Hibrido Bonus.....	37
Hibrido Santa Clara	37
Manejo agronómico del cultivo de tomate.....	38
Producción de plántulas	38
Trasplante.....	40
Distancia y densidad de siembra.....	42

Tutorado y amarre del tomate	42
Podas	43
Poda de formación.	43
Poda de yemas o chupones	43
Poda de flores y frutos	44
Poda foliar o deshojado.....	45
Poda de yema terminal o despunte.....	46
Polinización.....	47
Vibrador o abejorro eléctrico	48
Polinización por abejorros	49
Expulsador de Aire	50
Vibración mecánica o por golpe	50
Manejo integrado de plagas y enfermedades	50
Control Natural de Plagas	53
Factores bióticos	54
Factores abióticos	54
Control Cultural	55
Barreras Físicas.....	56
Control con extractos vegetales	57
Principales plagas de tomate bajo Invernadero.....	57
Principales enfermedades por hongos en tomate bajo invernadero	63
Principales enfermedades por bacterias en tomate	66
Principales Enfermedades por virus en tomate bajo invernadero	68
Manejo de Cosecha y Postcosecha.....	69
Cosecha.....	69
Postcosecha.....	69
Parámetros para el cultivo Hidrópico bajo invernadero.....	75
Condiciones climáticas	76
Radiación Solar.....	76
Humedad del aire	77
Manejo del clima en etapa de plantas en establecimiento	78
Manejo de clima en etapa de producción.....	79
Localización del invernadero.....	79
Factores topográficos y Edáficos	79
Diseño del Invernadero.....	80
Orientación del invernadero.....	80
Características mínimas de un invernadero de Clima medio.....	81
Invernadero tipo Semitunel o cilíndrico	81
Resultados	82
Conclusiones	91

Listado de tablas

Tabla 1 <i>Condiciones climáticas requeridas vs condiciones climáticas en la Finca San Luis</i>	14
Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas de un sistema productivo de tomate hidropónico bajo invernadero</i>	18
Tabla 3 <i>Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía</i>	27
Tabla 4 <i>Dosis de las fuentes fertilizantes (por litro) de la solución nutritiva para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) según la fase fenológica del cultivo</i>	28
Tabla 5 <i>Taxonomía del cultivo de tomate</i>	31
Tabla 6 <i>Métodos para un manejo integrado de plagas y enfermedades en invernadero con un enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas</i>	52
Tabla 7 <i>Plagas de tomate, síntoma y control</i>	57
Tabla 8 <i>Enfermedades por hongos del tomate, Síntomas y control</i>	63
Tabla 9 <i>Enfermedades por bacterias en tomate, síntomas y control</i>	66
Tabla 10 <i>Enfermedades por virus, en tomate, síntomas y control</i>	68
Tabla 11 <i>Concentración mínima para control hongos y bacterias en tomate</i>	71
Tabla 12 <i>Medidas estándar para selección de tomate</i>	72
Tabla 13 <i>Evolución del grado de madurez del tomate en diferentes temperaturas y grados de madurez</i>	75
Tabla 14 <i>Comparativo de híbridos para producción de tomate</i>	83
Tabla 15 <i>Comparativo de técnicas hidropónicas para cultivo de tomate</i>	84
Tabla 16 <i>Requerimientos principales para la selección del sustrato</i>	85
Tabla 17. <i>Dosis de las fuentes fertilizantes (por litro) de la solución nutritiva para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) según la fase fenológica del cultivo</i>	93

Listado de Figuras

Figura 1 Sistema NFT hidropónico.....	19
Figura 2 Sistema de raíz flotante	20
Figura 3 Sistema aeropónico	21
Figura 4 Fenología del tomate	34
Figura 5 Tomate Bachué	35
Figura 6 Tomate Pacal.....	36
Figura 7 Híbrido San Isidro	36
Figura 8 Híbrido Bonus.	37
Figura 9 Híbrido Santa Clara	37
Figura 10 Abrazadera plástica para amarre	43
Figura 11 Poda yemas auxiliares.....	44
Figura 12 Distribución de los grupos foliares en planta de crecimiento indeterminado	46
Figura 13 Poda yema terminal o despunte	47
Figura 14 Vibrador eléctrico para polinización	48
Figura 15 Polinización con <i>Bombus terrestris</i>	49
Figura 16 Doble puerta con recámara para la entrada al invernadero.....	53
Figura 17 Trampa de luz.....	55
Figura 18 Trampa azul para captura de insectos	56
Figura 19 Trampa amarilla para capturar insectos	56
Figura 20 Malla antitrips	56
Figura 21 Mosca Blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> y <i>Bemisia tabaci</i>)	57
Figura 22 Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> sp.).....	58
Figura 23 Áfidos o pulgones (<i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Myzus persicae</i>)	59
Figura 24 Pasador del fruto (<i>Neoleucinodes elegantalis</i>)	59
Figura 25 Arañita Roja (<i>Tetranychus urticae</i>).....	60
Figura 26 Acaro tostador del tomate o acaro del bronceado (<i>Aculops lycopersici</i>).....	61
Figura 27 Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Trips Palmi</i>).....	61
Figura 28 Enrollador de la hoja (<i>Scrobipalpula absoluta</i>)	62
Figura 29 Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>).....	63
Figura 30 Oídio o cenicilla <i>Leveillula taurica</i> (anamorfo: <i>Oidiopsis taurica</i>), <i>Oidium neolycopersici</i>	63
Figura 31 Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>).....	63
Figura 32 Moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>)	64
Figura 33 Mildeo polvoso (<i>Oidium neolycopersici</i>)	64
Figura 34 Marchitez fusariana (<i>Fusarium oxysporum</i>).....	65
Figura 35 Pudrición del tallo (<i>Sclerotium rolfsii</i>)	65
Figura 36 Marchitamiento bacteriano (<i>Ralstonia solanacearum</i>)	66
Figura 37 Cáncer bacteriano (<i>Clavibacter michiganensis</i>)	66
Figura 38 Mancha bacteriana (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>)	67
Figura 39 Mancha necrótica del tallo (<i>Pseudomonas corrugata</i>).....	67
Figura 40 El virus del mosaico del tabaco (TMV) y el virus del mosaico del tomate (TOMV)....	68

Figura 41 <i>Virus del bronceado del tomate (TSWV)</i>	68
Figura 42 <i>Virus de la cuchara del tomate (TYLCV)</i>	68
Figura 43 <i>Pasos requeridos en la Postcosecha</i>	70
Figura 44 <i>Empaque del tomate para comercialización en supermercados</i>	73
Figura 45 <i>Empaques usados para la comercialización del tomate</i>	74
Figura 46 <i>Orientación del invernadero según el recorrido del sol</i>	80
Figura 47 <i>Invernadero tipo Multitúnel</i>	82
Figura 48 <i>Dosis por litro para las tres etapas fenológicas del cultivo</i>	92

Introducción

Actualmente, la producción agrícola puede cubrir la demanda de hasta 3400 millones de personas en el mundo (El Espectador, 2020), siendo las hortalizas el séptimo producto de mayor producción. La obtención de hortalizas generalmente se realiza controladamente bajo invernaderos y granjas verticales, logrando hasta 297.596.674 ton/año en el mundo (FAOSTAT, 2021), correspondiéndole al tomate ser uno de los alimentos hortícolas con mayor demanda debido a su exigencia culinaria (Agroware, 2016), generando producciones de hasta 37.257 millones de kilos de tomate al año (Observatorio del tomate, 2023). Es necesario resaltar que la demanda por alimentos limpios y producidos de manera ecológica está cogiendo cada vez más fuerza dentro de las exigencias de los consumidores en el mercado (Geier, 2022).

Para el 2017, 181 países manejaron más de 69,8 millones de hectáreas de suelo agrícola de forma orgánica, registrándose mundialmente tasas de crecimiento superiores al 20% anual en la superficie destinada para tal fin, demostrando una creciente demanda en la producción de alimentos limpios y de alta calidad para el consumo humano (Willer y Lernoud, 2019).

En Colombia, la producción hortícola ha mantenido una variación positiva anual promedio del 3%, siendo el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) la hortaliza más consumida ocupando el puesto 34 en la producción mundial. En efecto, los mayores productores de tomate en el país son los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander, donde se practica la modalidad de producción a campo abierto y bajo condiciones controladas (invernadero) (Perilla, 2011), siendo Cundinamarca el departamento con mayor área cosechada, con una producción de 418.617 toneladas de hortalizas año (Minagricultura, 2020) de las cuales 58.579 toneladas son de tomate (Minagricultura, 2014). No obstante, según el área especializada en cultivos orgánicos del Minagricultura, “SisOrganico”, Colombia cuenta solo con 157 empresas productoras orgánicas y

ecológicas certificadas, de las cuales 19 quedan en Cundinamarca y 8 son productoras de tomate orgánico.

Es así como nace la necesidad de proponer un proyecto que formule un plan de aplicación de tecnologías de producción limpia para un cultivo de tomate hidropónico bajo condiciones controladas en el municipio de Tibacuy Cundinamarca, sector que ha venido sustituyendo lo que fue su principal producción: el café, por otros cultivos como el tomate, (Alcaldía de Tibacuy, 2017). Aunque gran parte de estos cultivos se realizan a campo abierto, las condiciones edafoclimáticas registradas en la Finca San Luis en el municipio de Tibacuy pueden cumplir los requerimientos para implementar una producción de tomate limpio hidropónico bajo invernadero. Por lo cual, es necesario realizar una exhaustiva investigación sobre los diferentes procesos y requerimientos tecnológicos que requiere el montaje de un invernadero para la producción limpia de tomate hidropónico, estudiando a fondo técnicas de producción que permitan generar un manejo limpio y ecológico para plagas y enfermedades, buscando abrir nichos de mercado de tomate libre de agroquímicos y de alta calidad para el consumo en fresco en el municipio de Tibacuy y sus alrededores.

Planteamiento del problema

Las producciones agrícolas intensivas y monocultivos que se están realizando a nivel global están causando cada vez más consecuencias negativas para el medio ambiente, generando contaminación de fuentes hídricas por acumulación de metales pesados, plaguicidas, fertilizantes químicos, desechos y sales que se usan de manera cada vez más intensiva en los sistemas convencionales de producción, afectando la salud y calidad de vida a millones de personas en el mundo (FAO, 2018). En América Latina el uso intensivo de agroquímicos también afecta los recursos naturales y es mucho más perjudicial en zonas templadas debido a la complejidad de los ecosistemas (Segrelles, 2001).

En Colombia, la producción convencional de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se ha convertido en un factor de riesgo para la salud humana, pues una investigación del doctor en agroecología, Luis Alejandro Arias, reveló que en las regiones con mayor producción de tomate se les da un manejo químico intensivo e inadecuado con 111 principios activos, principalmente de insecticidas y fungicidas (Campo, 2020). De lo anterior expuesto se descubrió que los niveles de trazas químicas que quedan adheridas al fruto sobrepasan los niveles máximos permitidos por los organismos internacionales. En tal sentido, la exposición a estos cultivos y el consumo regular de estos productos puede acarrear problemas de salud en los productores y consumidores como: cáncer, esterilidad, neurotoxicidad, problemas dermatológicos y deficiencias en el desarrollo embrionario de recién nacidos (Camacho, 2020).

Por otra parte, el desconocimiento técnico, el aumento de plagas y enfermedades en cultivos y el uso inadecuado de agroquímicos, causan mortandad en los insectos polinizadores, afectando la biodiversidad y la calidad de los alimentos (Ministerio de ambiente, 2009). Así mismo, al utilizarse grandes cantidades de agroquímicos, aumentan los costos de producción y

baja la rentabilidad económica a los agricultores. Generalmente en los lugares donde se realizan aplicaciones intensivas de agroquímicos, suelen quedar con altos niveles de metales pesados, generando una disminución de los microorganismos, lo que conlleva a un desequilibrio del ecosistema con sistemas agrícolas más propensos a enfermedades (Garzón y Mantilla, 2021).

Por otra parte, en Cundinamarca la siembra de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) a campo abierto tiene una productividad aproximada de 40,92 ton/ha, mientras que las realizadas bajo invernadero, tienen una rentabilidad de hasta 139,58 ton/ha (Daza, 2019, como se citó en Garzón y Mantilla, 2021). Se ha evidenciado que los cultivos ya establecidos a campo abierto han demostrado un ataque progresivo de mosca blanca, con especies como *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci*, lo que ha generado una alarma por motivo de su propagación en Cundinamarca (Espinel *et al*, 2008). Es por esto por lo que se plantea un cultivo bajo condiciones controladas de tomate hidropónico mediante parámetros de producción limpia en el municipio de Tibacuy-Cundinamarca.

La baja producción de alimentos orgánicos es uno de los principales retos que afronta actualmente el mercado en el país, según Luis Betancur (Región central, 2018), presidente de Fedeorganicos, indica que aún falta desarrollo para la producción orgánica de frutas, por lo que realizar proyectos de frutas orgánicas es indispensable para el sector agrícola del país, debido a que es cada vez más la demanda que se tiene por estos productos. Es por esto la importancia de estudiar técnicas que permitan dar un manejo limpio y ecológico sobre la producción de tomate, implementando sistemas de riego y fertilización agroecológicas que permitan generar un fruto orgánico, limpio y de calidad a los consumidores.

Justificación

Actualmente la producción ecológica de alimentos se está volviendo más popular en el mundo, aunque solo el 1,2% de los suelos agrícolas tienen certificado de producción orgánica a nivel mundial (Uchoa, 2018). En la mayoría de los países se ha generado un crecimiento anual, debido a la creciente demanda de alimentos limpios y de alta calidad (Geier, 2022). Esto ha repercutido en un cambio a nuevas tecnologías y formas de producción, que permitan cuidar y proteger los recursos naturales de manera sostenible, además de producir alimentos limpios para el cuidado de la salud humana (Ablin, 2021).

En Colombia, la producción de alimentos orgánicos ha tenido una creciente debido a la conciencia sobre la alimentación sana y el cuidado del medio ambiente que tiene los consumidores (Sectorial, 2021). Por esto es relevante y pertinente aumentar la rentabilidad en las cosechas de tomate en pequeñas áreas rurales, mediante un cambio tecnológico en la forma de su producción, integrando técnicas de control biológico sobre las plantas bajo condiciones controladas (invernadero), que permitan generar productos limpios y de calidad, minimizando o eliminando el riesgo a la salud humana y el ambiente (Escobar y Lee, 2009).

En el siguiente cuadro se dan a conocer las condiciones climáticas que exige el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero y las condiciones de la finca San Luis en el municipio de Tibacuy-Cundinamarca, lugar en donde se proyecta la formulación del proyecto con miras a formular un sistema de producción en esta localidad:

Tabla 1

Condiciones climáticas requeridas vs condiciones climáticas en la Finca San Luis

Parámetros	Condiciones óptimas de cultivo de tomate bajo invernadero	Condiciones climáticas Finca San Luis Tibacuy
Condiciones Clima día	Desarrollo óptimo entre los 20° C y 25°C	Clima promedio Finca San Luis 23°C
Condiciones Clima Noche	Desarrollo óptimo entre los 15 y 20°C ^a	Clima promedio Finca San Luis 16°C
Condiciones Altura	Entre los 1000 a 2000 msnm ^a	1390 msnm ^a
Condiciones humedad relativa	Para cultivos hidropónicos en invernadero entre el 75% y 85% ^b	Entre 65 a 80% en Tibacuy ^a

Nota. Tabla de comparación de las necesidades edafoclimáticas del cultivo de tomate

(*Lycopersicum esculentum* Mill.) respecto a las encontradas en la finca San Luis en el municipio de Tibacuy-Cundinamarca. Información ajustada^a (Escobar y Lee, 2009. pág. 66 y 67)^b (Yara, 2022).

De acuerdo con los datos de la tabla, se concluye que la Finca San Luis en el municipio de Tibacuy cuenta con las condiciones edafoclimáticas necesarias para implementar el cultivo hidropónico bajo invernadero porque su producción en medios protegidos minimiza pérdidas y ofrece un producto de alta calidad (Escobar y Lee, 2009). El producto final que se genere en la producción irá dirigido a mercados de producción limpia en Tibacuy, Fusagasugá y Chinauta (todos ellos vecinos y ubicados en el departamento de Cundinamarca), toda vez que el tomate es una de las hortalizas con mayor demanda y crecimiento en su producción, debido a su diversidad gastronómica en el país (Cardona, 2018).

Por lo anterior, es indispensable la integración tecnológica para el proyecto, debido a que es necesario implementar modelos hidropónicos bajo invernadero que automaticen los procesos: como control de temperatura, humedad relativa, radiación solar, control de pH, Conductividad

Eléctrica - EC y fertirriegos, por medio de equipos y maquinaria especializada que permita el control de los parámetros antes mencionados.

Objetivos

Objetivo General

Formular un proyecto hidropónico de producción limpia de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Tibacuy-Cundinamarca

Objetivos Específicos

Caracterizar los requerimientos del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) hidropónico bajo invernadero.

Establecer un modelo de producción limpia para el control y manejo de plagas en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) hidropónico bajo invernadero en el municipio de Tibacuy.

Establecer un modelo de producción limpia para el control y manejo de enfermedades en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) hidropónico bajo invernadero en el municipio de Tibacuy.

Marco teórico

Hidroponía

La hidroponía, deriva su nombre del griego “*Hydro*” (agua) y “*Ponos*” (trabajo) y se refiere a la utilización de soluciones nutritivas diluidas en agua, las cuales reemplazan parcialmente la función del suelo en los procesos de nutrición vegetal (Gobierno de México, 2016). Esta técnica se remonta desde culturas antiguas, como los cultivos en agua de la antigua Egipto, los jardines colgantes en Babilonia o los jardines flotantes de los Aztecas, culturas que lograron cultivar plantas sin suelo para su suministro propio (Escobar y Lee, 2009).

Sin embargo, estas técnicas de cultivo fueron retomadas mucho tiempo después al ser estudiadas por el Científico Robert Boyle en el siglo XVII. Además, tuvo un gran avance durante la segunda guerra mundial en las Islas del Pacífico debido a la necesidad de suministrar verduras frescas a los soldados que se encontraban allí. Luego, sobre los años sesenta, se da otro gran paso en la hidroponía con la implementación del uso del plástico como cubierta en los invernaderos, permitiendo aumentar la producción en los cultivos, a la vez que se generó un gran interés en los agricultores. Por lo cual, continuaron los avances científicos y tecnológicos que permitieron mejorar los sistemas hidropónicos, al punto de usarlos como sistemas intensivos de producción (Hydroponicsystems, 2020).

Hoy en día, la hidroponía se ha vuelto indispensable para una producción más limpia, a través de la cual se pueden optimizar los recursos, generando consumos de agua mucho menores que los de un cultivo convencional, además de reorganizar la producción a lugares de cultivo especializados para tal fin permitiendo así disminuir o excluir la aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, aplicando técnicas ecológicas que permitan manejar el cultivo de manera limpia y a la vez, produciendo un producto inocuo y de alta calidad.

Por otra parte, se cree que la hidroponía son sistemas complejos solo para países desarrollados, sin embargo, su productividad tiene bastante potencial para contribuir a los países en desarrollo, de hecho, hoy en día se están promoviendo prácticas de hidroponía en diferentes partes del mundo (Escobar y Lee, 2009). En Colombia, las prácticas de hidroponía van dirigidas generalmente a los cultivos de flores, sin embargo, otros sistemas productivos como las hortalizas y algunas leguminosas como la arveja se han adaptado a las tecnologías de producción bajo invernadero, aun así, es necesario continuar investigando para optimizar los métodos de producción y aumentar la rentabilidad. En Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander se ha evidenciado un fuerte comercio por la producción de tomate bajo invernadero, en donde los productos tienen un mayor rendimiento y calidad que los cultivos convencionales de tomate, pero siguen careciendo de un manejo ecológico que pueda entregar un producto limpio, inocuo, libre de pesticidas (Camacho, 2020).

Tabla 2

Ventajas y desventajas de un sistema productivo de tomate hidropónico bajo invernadero

Ventajas	Desventajas
Ahorro de fertilizantes y herbicidas	Se requiere de una inversión inicial alta para la producción
Ahorro y uso eficiente del recurso agua	Falta de mano de obra capacitada
Mayor productividad por área que un cultivo convencional	Se requiere de una necesidad de mercado segura
No es necesaria la utilización de la maquinaria agrícola	Es necesario un estricto control de riego, el cual debe ajustarse a la necesidad de la planta.
Se pueden obtener cosechas durante todo el año sin depender de las estaciones	Exige el consumo de energía permanente para el control de riego.
Mayor higiene e inocuidad desde la siembra hasta la cosecha	Conocimientos especializados para asegurar la rentabilidad del cultivo.
Se da productividad en menor tiempo comparado a un cultivo convencional	
Se disminuyen los costos de producción una vez que ya está implementado el	

sistema bajo invernadero y se genera un
retorno rápido de la inversión

Nota. Se evidencia una mayoría de ventajas sobre la producción de tomate hidropónico frente a los cultivos convencionales de tomate (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2012, p. 30).

Técnicas Hidropónicas

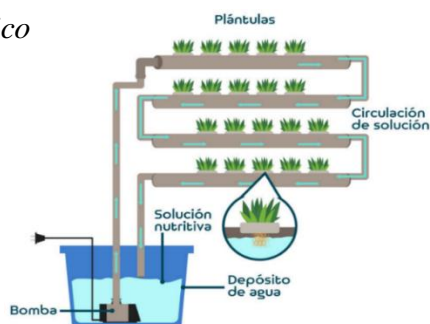
En la actualidad, la hidroponía cuenta con varias metodologías que permiten un buen desarrollo y desempeño productivo en la planta según sus requerimientos, tamaño y peso, tales como:

Técnica NFT

Como sus siglas en Ingles lo mencionan (Nutrient Film Technique) significa; “técnica de la película de nutriente” la cual consiste en crear una película recirculante de solución nutritiva que este fluyendo constantemente dentro de tubos de PVC, los cuales tienen unos hoyos en donde las raíces de las plantas quedan sumergidas para la obtención de nutrientes como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 1

Sistema NFT hidropónico



Nota. se observa como la solución nutritiva recircula por todo el sistema, reutilizando constantemente agua y generando un ahorro significativo del recurso hídrico (Aluna.news, 2020).

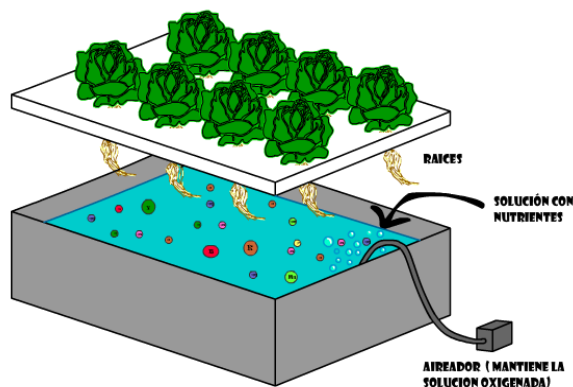
Para la recirculación de la solución nutritiva dentro de los tubos, se usan bombas sumergibles que ayudan a generar un flujo constante, sin embargo, hay que tener en cuenta que en una instalación de más de 10 m de largo, con una gran intensidad de plantas o a una temperatura mayor de 22°C, el nivel de oxígeno que circula en la solución puede ir disminuyendo, por lo que es necesario oxigenar el agua con la ayuda de bombas de aire según los requerimientos de la planta, garantizando un óptimo desarrollo de las raíces. Esta técnica se usa en general para hortalizas, especialmente de hoja como: lechuga, espinaca, acelga, entre otras (Flores, 2017).

Técnica de raíz flotante

Es una técnica de cultivo en agua que consiste en utilizar algún recipiente oscuro con una tapa gruesa de icopor, la cual debe tener pequeños agujeros en donde se pondrán las plantas con el fin de que sus raíces queden sumergidas en la solución nutritiva del recipiente (Figura 2). Según menciona el portal Hydro environment (2023), esta técnica se usa generalmente para hortalizas pequeñas y algunas plantas aromáticas y para su buen funcionamiento es indispensable una oxigenación constante en el agua por medio de bombas de aire, debido a que la raíz esta siempre en contacto con la solución nutritiva que está dentro del recipiente.

Figura 2

Sistema de raíz flotante



Nota. Como se observa en la Figura 2, se mantiene siempre oxigenada la solución nutritiva por medio de un aireador debido a que ésta se queda siempre estática dentro del contenedor (Hidroponía Rosario, 2021).

Técnica aeropónica

Consiste en dejar la raíz de las plantas expuestas al aire libre, en donde solo van a recibir los nutrientes necesarios mediante una solución nutritiva que esta diluida en el agua, esta solución se aplica a las raíces mediante una nebulización, haciendo que las pequeñas gotas mantengan un contacto directo y a su vez mantengan oxigenadas las raíces de las plantas. Es una técnica que generalmente es usada para hortalizas de hoja como la lechuga, acelga, espinaca, etc.

Se pueden utilizar estructuras anchas verticales para que la raíz quede al aire libre dentro de una cámara que le permita tener buena circulación de aire, pero que a su vez permita contener los aspersores de los pulverizadores que se encargarán de rociar las raíces con la solución nutritiva (Hidroponía.mx. 2014).

Figura 3

Sistema aeropónico



Nota. Se puede evidenciar cómo se ubican estratégicamente los aspersores dentro del contenedor para ofrecer de manera uniforme la solución nutritiva a todas las raíces. (Portillo, 2022).

Técnicas con sustrato

Es la técnica por la cual se usan contenedores llenos de sustrato, el cual puede ser inerte y de origen orgánico o inorgánico, dependiendo de las necesidades de la planta y las condiciones climáticas. Generalmente los sustratos son hechos con materiales como la fibra de coco, grava, arena, piedra pómez, aserrín, carbones, cascarilla de arroz, arcillas expansivas, etc. A los cuales se les añade la solución nutritiva disuelta en agua por medio de sistemas de riego por goteo. La técnica en sustrato es una de las más utilizadas debido a que su estructura permite un buen desarrollo para plantas de mediano y gran tamaño que contengan generalmente frutos (Hydroenv, 2022).

El medio de cultivo en sustrato es esencial a la hora de generar un cultivo de tomate hidropónico, debido a que éste, permite el anclaje y desarrollo radicular del cultivo, además de constituirse como medio de reserva de agua y nutrientes para la planta. La selección del sustrato depende de sus condiciones químicas, físicas y biológicas, el cual debe contar con criterios ambientales, contemplando el uso de subproductos agrícolas y forestales.

Según (Agrotendencia tv, 2021), las características de un óptimo sustrato para tomate hidropónico son:

- Buena aireación, porosidad y retención de humedad.
- Drenaje adecuado.
- Estabilidad física y química.
- Bajo costo.
- Químicamente inerte y estable.
- Libre de patógenos.
- Capilaridad adecuada.

- Ligero.

Es importante aclarar que todo sustrato debe ser esterilizado antes de ser empleado al cultivo con el fin de eliminar o disminuir riesgos fitosanitarios, además, después de ser usado por varios ciclos de cultivo, es necesario desinfectarlo de nuevo puesto que se pueden ir acumulando organismos patógenos con el tiempo, por lo que se recomienda desinfectar el sustrato después de cada ciclo de cultivo para mantenerlo sano.

La esterilización se puede realizar con vapor o con esterilizantes químicos, en el caso del vapor, se inyecta en las camas de cultivo a una temperatura de 82 °C por media hora, teniendo una efectividad de hasta 20cm de profundidad (Escobar y Lee, 2009).

Sustratos más Usados en Colombia.

Cascarilla de Arroz. es un sustrato usado en gran manera por los floricultores, subproducto de la industria molinera el cual es abundante en las regiones productoras de arroz. Este sustrato tiene ventajas en sus propiedades físicas para la hidroponía como baja densidad aparente, buena aireación y drenaje, con baja tasa de descomposición. Sus principales desventajas son los costos de transporte, posibilidad de contaminación por agroquímicos y baja retención de humedad. Otra condición no favorable es la baja retención inicial de elementos nutritivos, por lo que es necesario fertilizar el sustrato días antes de su uso (Escobar y Lee, 2009).

Escoria. Es un subproducto del manejo de metales mediante la fundición, en donde las impurezas son separadas del metal. Se compone de óxidos y sulfatos metálicos. Este sustrato se usa generalmente mezclándose con otros componentes en donde la escoria no sobrepase el 30% en la composición (Escobar y Lee, 2009). Es un sustrato que cuenta con buena retención de

humedad, buena capilaridad, buena esterilidad y es de bajo costo, sin embargo, tiene la desventaja de variar fácilmente su pH (Bermeo *et al.*, 1996).

Fibra de Coco. Es un producto obtenido de la fruta de la palma de coco (*Cocos nucifera*), puede contener fibras largas, cortas y partículas más o menos finas, por lo que se puede jugar con estas texturas en diferentes proporciones para dar una mayor o menor retención de agua al sustrato. Es ideal como sustrato para semilleros y sistemas hidropónicos (Escobar y Lee, 2009). Entre sus ventajas está su alta porosidad y retención de agua (hasta 9 veces su peso) lo que promueve un gran desarrollo radicular; pH adecuado entre 5,5 y 6,5; no se compacta y permite fácil hidratación; contenidos solubles fácilmente lavables, lo que genera niveles de conductividad eléctrica adecuados para el desarrollo de la planta. El sustrato puede ser lavado y desinfectado varias veces lo que permite su reciclaje para varios ciclos de cultivo, además es un sustrato libre de semillas, pesticidas y enfermedades (Goldengrow, 2018). Entre sus desventajas su elevado costo y un alto nivel relativo de nitrógeno y fosforo que requiere en la solución nutritiva al inicio del cultivo.

Solución Nutritiva

La solución nutritiva es uno de los principales componentes para el cultivo hidropónico, siendo una solución acuosa que contiene la composición de elementos, sales y minerales disueltos en agua, los cuales son indispensables para el óptimo desarrollo de las plantas. Estos elementos generalmente son sales de nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) con la adición de múltiples elementos (Escobar y Lee, 2009).

Es indispensable conocer la calidad del agua que será utilizada para la preparación de la solución nutritiva, en la cual se debe identificar la cantidad de cationes presentes para verificar el grado de dureza de esta. Otro factor importante para tener en cuenta es la alcalinidad del agua,

referente al equilibrio entre CO_3/HCO_3 , dado que se pueden presentar cambios en el sistema para reducir el pH dependiendo de los valores obtenidos y de los requerimientos de la planta.

Dosificación y aplicación de la solución nutritiva

Según el grado de tecnificación que pueda tener el cultivo se emplean los siguientes sistemas para la aplicación del fertirriego:

Sistema de un solo tanque, en donde se mezclan todos los fertilizantes que requiere el cultivo. Al tener un solo tanque se dificulta la mezcla de diferentes tipos de productos debido a las altas concentraciones de algunos elementos, pudiendo causar problemas en el fertirriego. Para este sistema se hacen aplicaciones elevadas de la mezcla con baja frecuencia.

Sistema con dos o más tanques, en donde se utiliza un primer tanque (A) para para disolver los nitratos (nitrato de calcio y la mitad del nitrato de potasio) en el segundo tanque (B) los sulfatos, el fosforo y los elementos menores, cuando se tiene un tercer tanque, este se utiliza para diluir las dos mezclas y aplicar directamente al cultivo (Escobar y Lee, 2009).

Mediante la fertilización líquida se aconsejan dos tipos de manejo:

- Altas dosis de riego con baja frecuencia en su aplicación, esto para sistemas poco tecnificados en los cuales se dificulta el manejo del riego constante, lo que puede acarrear problemas de estrés en la planta, problemas de desequilibrio nutricional y bajo rendimiento productivo.
- Dosis moderadas en aplicaciones frecuentes, lo que condiciona fertirrigar siempre que se riega el cultivo con una solución nutritiva completa. Es el manejo más recomendado debido a que reduce los desequilibrios nutricionales, estrés y salinización del suelo en el cultivo. Además, este sistema permite una mayor eficiencia de absorción de nutrientes por parte de la planta (Escobar y Lee, 2009).

Otros factores que se deben tener en cuenta para un correcto funcionamiento de la solución nutritiva sobre un cultivo hidropónico son:

Disponibilidad de Oxígeno

La disponibilidad de oxígeno (O_2) juega un papel fundamental en la absorción iónica debido a que la falta de este elemento ya sea por la obstrucción en los sustratos o la falta de aireación, puede generar una acumulación de dióxido de carbono (CO_2) en el medio radicular, además los bajos niveles de O_2 en la solución nutritiva disminuyen la disponibilidad de hierro (Fe) en las técnicas NFT (Nutrient Film Technique), lo que genera acumulaciones de manganeso (Mn) en las hojas, inhibiendo la absorción de iones potasio (K) y nitrato (NO_3) (Castañares, 2020).

Influencia de la temperatura

Al estar sumergidos en agua, los cultivos hidropónicos deben contar con unas condiciones de temperatura adecuadas en vista de que las temperaturas excesivas pueden afectar el metabolismo celular, pudiendo incluso acabar con el cultivo. La oxigenación es clave para la vida celular y este compuesto se disuelve mejor en aguas frías que calientes, pues el aumento de la temperatura aumenta la absorción de iones de potasio (K) y fosfatos (PO_4^{3-}), así como la tasa respiratoria de las raíces trayendo consigo una disminución en la disponibilidad de hierro (Fe) (Saldaña, 2020).

Influencia pH

Las soluciones con un $pH > 7,5$ generan disminución en la absorción de nitratos (NO_3), ejerciendo un efecto semejante sobre el ion fosfato (PO_4^{3-}). Descensos del pH delimitan la absorción amonio (NH_4) y aumenta el de nitratos (NO_3). Las soluciones con $pH < 4$ reduce la

absorción de potasio (K) causando un desbalance en la polaridad de las membranas de las raíces (Zárate, 2014).

Influencia de salinidad

Altos contenidos de sales en las soluciones nutritivas como los iones de sodio y cloruro afectan directamente la absorción de nutrientes puesto que el sodio conlleva una competencia directa sobre la absorción de potasio (K) y el ion cloruro en la de nitratos (NO₃). Dichos incrementos salinos ocasionan aumentos en la presión osmótica de la solución, lo que detiene la absorción de agua y iones minerales, acarreando un desbalance hídrico en la planta, razón por la que se afecta también el transporte y absorción de iones como el calcio (Ca) y el boro (B) (Beltrano y Jiménez, 2015).

Fertilizantes usados para la preparación de la solución nutritiva

A continuación, dentro de la tabla 3 se indican las sales fertilizantes mayormente usadas en el mercado para cultivos de Tomate de cocina de la variedad estudiada.

Tabla 3

Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía

Nombre químico	Formula Química	Solubilidad (Gramos por litro)
Nitrato de calcio	Ca (NO ₃) ₂	1220
Nitrato de potasio	KNO ₃	130
Nitrato de magnesio	Mg (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	279
Fosfato mono potásico	KH ₂ PO ₄	230
Sulfato de magnesio	MgSO ₄ . 6H ₂ O	710
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	111
Sulfato de manganeso	MnSO ₄	980
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	60
Sulfato de cobre	CuSO ₄ . 5H ₂ O	310
Sulfato de zinc	ZnSO ₄ 7H ₂ O	960
Molibdato de amonio	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ . 4H ₂ O	430

Nota. Fertilizantes empleados en Soluciones Nutritivas Hidropónicas. Adaptado de: Rodríguez, (2009, pag 19). Soluciones nutritivas hidropónicas: Factores y criterios para su formulación, II Congreso internacional hidroponía.

En la hidroponía, las soluciones nutritivas son frecuentemente aplicadas por medio de fertirriego (manguera de riego por goteo) u ocasionalmente con regadera en la base del tallo, sin embargo, en cultivos industriales se maneja siempre el fertirriego con goteros en punta adheridos al sustrato (Pérez y Coto, 2021).

A continuación, se muestra una tabla con los valores nutricionales que requiere el cultivo en cada etapa de desarrollo.

Tabla 4

Dosis de las fuentes fertilizantes (por litro) de la solución nutritiva para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) según la fase fenológica del cultivo

Tipo de solución	Dosis por litro de solución nutritiva		
	Siembra o trasplante hasta inicio de floración	Floración a fructificación	Fructificación a cosecha
Solución A			
Sulfato de potasio (mg)	100	140	150
Sulfato de magnesio (mg)	730	750	750
Ácido nítrico (ml)	0,025	0,025	0,025
Fe-EDTA (mg)	20	20	20
Fosfato mono potásico (mg)	240	270	270
Solución B			
Nitrato de calcio (mg)	740	900	900
Nitrato de potasio (mg)	130	100	190
Cloruro de potasio (mg)	60	120	140
Ácido nítrico (ml)	0,025	0,025	0,025

Sulfato de cobre (mg)	0,80	0,80	0,80
Sulfato de Zinc (mg)	0,85	0,85	1,0
Manvert Mn (ml)	9,0	9,0	9,0
Ácido bórico (mg)	4,0	4,0	4,0
Molibdeno mix (ml)	0,002	0,002	0,002

Nota. Tabla recuperada de: Monge y Díaz (2021), Guía práctica para la preparación de solución nutritiva en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo invernadero en condiciones hidropónicas.

Empleando en el cultivo los anteriores parámetros de fertilización con la solución nutritiva se ha logrado conseguir rendimientos totales hasta de: 8,37 Kg/m², con un peso de fruto promedio de hasta 235,5 g, y un porcentaje de sólidos solubles totales de hasta 11,6 °Brix, dependiendo del genotipo, densidad de siembra, tipo de poda y época de producción, entre otros. Los datos presentes corresponden a cultivos de tomate en condiciones de hidroponía, bajo invernadero, en una estación experimental Agrícola en Costa Rica Ubicada a 883 msnm. Es de aclarar que estos datos corresponden en su mayoría a genotipos de tomate tipo “Cherry”, “Uva” y “Gordo” (con un peso de hasta 235 g/fruto) (Pérez y Coto, 2021).

Generalidades del cultivo

Definición botánica del tomate

El tomate es una especie Originaria de América, perteneciente a la familia Solanaceae. Es una planta dicotiledónea y herbácea perenne, la cual se cultiva de forma anual para la cosecha y consumo de sus frutos (López, 2017).

El tallo es semileñoso, siendo una continuidad de la raíz, con un tamaño entre 2 y 4 centímetros en la base de la planta y un tamaño más reducido en la parte superior en donde se

empiezan a formar las nuevas hojas y racimos florales. El tallo está conformado por epidermis, pelos glandulares, corteza, cilindro vascular (xilema) y tejido medular (Escobar y Lee, 2009).

Las hojas del tomate son pinnadas y compuestas, presentando de siete a nueve folíolos peciolados que miden entre 4-60 mm x 3-40 mm, con bordes dentados y lobulados, alternos y de color verde y están recubiertas por pelos glandulares y dispuestas en posición alternada sobre el tallo (Tomate Canario, 2016).

La flor del tomate es perfecta y regular: los sépalos, pétalos y estambres se insertan en la base del ovario, el cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos color amarillo las cuales se disponen en forma helicoidal (Jiménez, 2016). En cada inflorescencia o racimo se forman varias flores, teniendo cada planta la capacidad de producir 20 o más inflorescencias sucesivas durante ciclo de cultivo, en condiciones bajo invernadero (Escobar y Lee, 2009).

El fruto es una baya bilocular o plurilocular, sub esférica globosa o alargada, el cual puede tener un peso de pocos miligramos hasta un peso de 600g (López, 2017). Está constituido por un 94-95% de agua y el 5-6% restante es una mezcla compleja en donde predominan los constituyentes orgánicos, los cuales brindan al fruto su textura y sabor característico. El fruto se desarrolla entre 60 a 70 días desde el desarrollo hasta el momento de cosecha (Escobar y Lee, 2009).

Tabla 5*Taxonomía del cultivo de tomate*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicum</i>
Especie	<i>esculetum</i>

Nota. Adaptado de López, 2017.

Hábitos de crecimiento del Tomate

El tomate inicia su crecimiento a partir del tallo principal, formando de 5 a 10 hojas antes de producir el primer racimo floral. Después se pueden generar dos tipos de hábitos de crecimiento en la planta: El crecimiento indeterminado y el crecimiento determinado.

Las plantas de crecimiento indeterminado son aquellas que cuyo tallo principal y lateral crecen con un patrón continuo, siendo la yema terminal del tallo la que genera el siguiente tallo. La floración, fructificación y cosecha se pueden extender por periodos muy largos (Haifa Chemicals, 2014) hasta que las condiciones sean favorables, alcanzando alturas hasta de 5 metros, por lo que requieren de sistemas de tutorado para que se mantengan erectas y, además, son cultivadas generalmente bajo invernaderos en condiciones protegidas.

La producción de frutos se maneja a lo largo de toda la planta y para evitar la continuidad de nuevos tallos se debe podar continuamente los nuevos brotes auxiliares (Escobar y Lee, 2009).

Las plantas de crecimiento determinado son aquellas cuyos tallos principal y lateral detienen su crecimiento después de haber tenido un determinado número de racimos florales. Este tipo de planta es de porte bajo y compacto máximo de 2 metros, y producen sus frutos

durante un periodo relativamente corto. El crecimiento se detiene después de varias inflorescencias con la formación de un último racimo apical. Puede sacar de 1 a 3 cosechas en el ciclo productivo (Haifa Chemicals, 2014).

Condiciones agroclimáticas del cultivo

Temperatura

Es una de las variables más importantes para tener en cuenta en el buen desarrollo vegetativo del tomate. Los rangos de temperatura que maximizan la producción se sitúan entre los 22 y 30°C para la fase diurna y entre los 16 y 20°C para la fase nocturna (DANE, 2014).

Humedad relativa

Para un adecuado desarrollo del cultivo la Humedad relativa (HR) óptima debe estar entre los 60% – 80%, favoreciendo una correcta polinización y garantizando una producción estable del cultivo. El aumento de HR por encima de los niveles establecidos pueden ocasionar permanentes enfermedades aéreas y la disminución de la HR por debajo de los niveles requeridos genera dificultad en la polinización (López, 2017).

Luminosidad

La baja luminosidad puede afectar de forma negativa los procesos de floración y polinización de las plantas. Durante los periodos críticos de desarrollo vegetativo de la planta de tomate, la interrelación entre a luminosidad, temperatura diurna y nocturna es fundamental, por lo que no se recomienda cultivar tomate en zonas donde permanezca nublado, pues esto bajaría considerablemente los rendimientos de producción (López, 2017).

Altitud

En Colombia, según la temperatura adecuada para el desarrollo del tomate la altura adecuada puede estar entre los 1500 y 2600 msnm, dependiendo también de la variedad del tomate y la luminosidad del sitio (Escobar y Lee, 2009).

Tipo de suelo

Se puede producir tomates en diferentes tipos de suelo, desde que estos estén bien nutridos, fértiles, con buen drenaje y estructura. El pH óptimo que requiere para un buen desarrollo está entre los 6,0 y 6,5 ya que a un pH menor se reduce la disponibilidad de Mg y Mo y a un pH superior a 6,5 se pueden presentar deficiencias de Zn, Mn y Fe (Yara, 2022).

Etapas fenológicas del cultivo de tomate

La fenología del tomate puede determinarse por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo. Las etapas pueden dividirse en 5 periodos.

Establecimiento de la plántula

En esta primera etapa se constituye el periodo de formación inicial desde la germinación y emergencia de la plántula con el desarrollo del semillero, el cual tarda entre 5 y 10 días.

Crecimiento vegetativo

Esta etapa comprende los primeros 40 a 45 días desde la siembra de la semilla, después de los cuales la planta genera su desarrollo continuo. A esta etapa le siguen 4 semanas de rápido crecimiento.

Floración e inicio del desarrollo

Este periodo inicia desde el inicio de la floración, hasta que finaliza el ciclo del crecimiento de la planta. Cuando la flor es fecundada da lugar al desarrollo, empezando el proceso de su transformación en fruto.

Inicio del desarrollo

La polinización que ocurre mediante el viento y las abejas en la flor genera el encuaje del fruto, en esta etapa, una vez iniciado su crecimiento, la fruta generalmente se mantiene sin caerse y no presenta rastros de la flor. El crecimiento de la fruta y la acumulación de materia seca presentan un ritmo estable hasta llegar a los 2 o 3 grados de maduración.

Maduración del fruto

Generalmente la maduración inicia aproximadamente 80 días después del trasplante, dependiendo del cultivar, la nutrición y las condiciones climáticas. La cosecha puede continuar hasta llegar de los 180 a 210 días después del trasplante (Haifa Chemicals, 2014).

Figura 4

Fenología del tomate



Nota. La cantidad de días puede variar, según la variedad del tomate (Infoagronomo, 2022)

Variedades de tomate para producción bajo invernadero

El material vegetal que se destina para la producción de tomate bajo invernadero generalmente es de materiales híbridos, los cuales se desarrollan bajo condiciones específicas por grupos fitomejoradores provenientes de empresas multinacionales. Al momento de elegir un material vegetal para el cultivo, es importante verificar que las semillas obtenidas estén certificadas por el ICA y que el material corresponda las exigencias que pretende el productor debido a que hay variedades que están hechas para ciertos parámetros, como las condiciones edafoclimáticas, resistencia a fitopatógenos, tamaño de fruto, frutos por racimo, entre otros (Corpoica, 2012).

Dentro de las variedades de tomate Chonto que se mas se usa en Colombia para condiciones protegidas bajo invernadero en clima templado y cálido son las siguientes:

Híbrido Bachué

Tomate tipo Chonto de crecimiento indeterminado; recomendado para cultivos en invernadero, con racimos de 5 a 7 frutos de pared grueso, óptimo cierre pistilar y maduración uniforme. Muy buen sabor y excelente postcosecha. Peso entre 140 a 180g.

Figura 5 *Tomate*

Bachué



La variedad Bachué se adapta desde los 1000 a 2000msnm. Planta con alta resistencia al virus del mosaico del tabaco (TMV), virus del torrado, (TcTV), *Fusarium oxysporum Lycopersici razas 1 y 2*, *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae* y nematodos (*Meloidogyne arenari*, *M. incodnita* y *M. javanica*) (Coelagro, 2009).

Fuente. Corpoica, (2012).

Hibrido Pacal

Tomate tipo Chonto ligeramente elongado, de crecimiento indeterminado, apta para crecimiento bajo invernadero, con alta resistencia al virus mosaico del tomate (ToMV), y tolerancia intermedia al virus de la cuchara (TYLCV), *Verticillium*, *Fusarium* 1 y 2 y nematodos.

Figura 6

Tomate Pacal



Excelente calidad, frutos grandes y firmes, optima postcosecha, peso promedio de frutos: 170g. Variedad que se cultiva tanto a campo abierto como en invernadero en zonas como Villa de Leyva, Valle de Tenza (Boyacá), Funza y Fusagasugá (Cundinamarca) (Corpoica, 2009).

Fuente. Corpoica, (2012).

Hibrido San Isidro

Tomate tipo Chonto, buena vigorosidad, crecimiento indeterminado, con follaje medio y buena cobertura. Sus frutos con uniformes (150g a 170g). Se cultiva en zonas templadas y cálidas, entre los 0 a los 1800 msnm.

Figura 7

Hibrido San Isidro



Esta variedad se siembra en principio en Santander a campo abierto o en invernadero. Tolerante a *Verticillium*, *Fusarium*, nematodos, *Pseudomonas syringae* (Agroindustrial de semillas, 2009)

Fuente. Corpoica (2012).

Hibrido Bonus.

Tomate tipo Chonto de crecimiento indeterminado. Ideal para siembra en clima cafetero y cálido, con ciclo de 90 a 110 días después de trasplante. Frutos cuadrados de 150g a 180g.

Figura 8*Hibrido Bonus.*

Resistente a *Verticillium*, *Fusarium* 1 y 2, nematodos, *Stemphylium*, peca bacterial *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, virus mosaico del tomate (ToMV), virus del bronceado o peste negra del tomate (TSWV) (Corpoica, 2009).

Fuente. Corpoica (2012).

Hibrido Santa Clara

Tomate tipo Chonto de crecimiento indeterminado, produce frutos rojo intenso, con buen brillo, buen peso (190g) y crecimiento uniforme. Se cultiva principalmente en Cundinamarca, Boyacá, Huila y Tolima.

Figura 9*Hibrido Santa Clara*

Resistente al aborto floral y a enfermedades causadas por *Verticillium* 1, *Fusarium* 1 y 2, marchitez bacterial, *Stemphylium* y nematodos (Corpoica, 2009)

Fuente. Corpoica, (2012).

Manejo agronómico del cultivo de tomate

Producción de plántulas

Para garantizar una sana y adecuada producción del material de propagación, se requiere contar con los equipos e infraestructura adecuada que permita realizar las actividades para el establecimiento y desarrollo del material de propagación. Según los requerimientos y condiciones del productor, cada etapa del proceso de producción de plántulas de tomate debe ser debidamente planeada y ejecutada bajo adecuados estándares de calidad (Escobar y Lee, 2009).

Propagación en macetas. Se inicia el proceso sembrando las semillas en hileras a una profundidad de 5mm en una caja de madera, se procede a regar bien todo el sustrato y cubrir con papel diario, promoviendo un crecimiento uniforme. Una vez germinadas las plantas, se procede a quitar el papel. En el día cuando hace calor se sugiere abrir o prender la ventilación del invernadero con el fin de obtener una buena iluminación y aireación en las plantas. En las épocas más calurosas se puede utilizar tela de gasa para prevenir daños por plagas (FAO, 2013).

Después de la apertura de los cotiledones, se procede a repicar en macetas, regando lo suficiente los primeros días, continuando con una pequeña disminución en el riego para mudas fuertes (FAO, 2013).

Propagación en bandejas con celdas individuales. La utilización de bandejas de propagación tiene algunas ventajas en cuanto el uso eficiente de la semilla, debido a que se puede usar solo una semilla por celda, se facilita la movilización de la plántula de un lugar a otro, se economiza el uso del sustrato y se reduce el daño en el sistema radicular de la planta (Escobar y Lee, 2009).

Para la propagación por bandeja, inicialmente, se deben sanitas las bandejas en donde se sembrarán las plantas con una solución de hipoclorito de sodio al 10% antes de ser utilizadas,

luego se incorpora en las bandejas el sustrato a utilizar y se siembra por celda una o dos semillas a una profundidad de 5mm, cubriendo la semilla con el mismo sustrato, luego se debe cubrir con papel o plástico para así mantener la humedad y levantar la temperatura.

Luego de iniciada la germinación se quita el papel y se dejan las bandejas sobre una base de madera o alambre a una altura determinada, en donde se mantendrán las plantas con suficiente riego, cuidando que no sea excesivo para evitar alargamiento en el tallo (FAO, 2013). La temperatura adecuada para la germinación esta entre los 23° y 25°C, la emergencia y germinación de las plantas se produce entre los 3 y 6 días después de la siembra dependiendo de la variedad y lote de las semillas (Escobar y Lee, 2009).

Riego y aporte hídrico en semilleros. La estructura general del sustrato es el que determina el manejo del riego y es influenciado por los siguientes factores

Movimiento hídrico en sustrato: para un óptimo desarrollo, la planta debe tomar con facilidad los nutrientes de la solución nutritiva del sustrato, por lo que un flujo constante y equilibrado de agua es clave para una correcta nutrición. Se debe asegurar que el sistema de riego funcione perfectamente.

Aireación: sin oxígeno en el sustrato, la raíz de la planta se ahoga y no produciría suficiente energía para desarrollarse por lo que una buena aireación es fundamental para un adecuado crecimiento y la absorción de agua y nutrientes.

El 98-99% del agua que absorbe la planta la pierde en el proceso de transpiración. Las necesidades de riego se evalúan añadiendo la pérdida de agua desde la superficie del sustrato y el exceso que se proyecte conveniente para drenar y evitar la acumulación de sales y/o desbalances nutricionales acumulativo, por lo que las necesidades hídricas se definen por la pérdida por evapotranspiración y las necesidades de lavado. Las necesidades de agua van a depender de la

especie productora y su estado fenológico, del entorno del cultivo y de las condiciones agroclimáticas.

Para una nutrición hídrica racional en el vivero, se calcula las dosis de riego dependiendo del volumen y características fisicoquímicas del sustrato, ajustando la frecuencia de riego en función de la demanda hídrica de la planta. El potencial hídrico en sustrato debe situarse generalmente entre 1 y 5cb (Infoagro, 2018).

El sistema de riego más utilizado en los viveros de plantas de bajo porte son la de microaspersión, en donde va suspendida en la estructura o adherida a los elementos de soportes de las bandejas. En la actualidad existen varios tipos de micro aspersores (fijos, rotativos) con diferente caudal, espaciados, marcos, etc., con el objetivo de conseguir siempre una aplicación lo más uniforme posible.

Dosis y frecuencia de riego. En el riego se debe generar un agotamiento entre riego y riego de aproximadamente 30-40% del agua útil en el sustrato, para lograr en ese sentido una buena oxigenación, induciendo un potente crecimiento y desarrollo radicular. En este caso para sustratos convencionales, la dosis de riego debe ser aproximadamente de unos 100 L por cada m³ de sustrato empleado. Se debe ir ajustando la frecuencia de riego según los factores climáticos, especie y estado de la planta, revisando siempre la humedad del sustrato, el cual debe permanecer por 3 a 4 horas después del riego, teniendo una humedad uniforme sin estar sobresaturado de agua (Infoagro, 2018).

Trasplante

- Se realiza una vez se tengan listas las plántulas del semillero al sitio definitivo de producción, siendo aproximadamente a los 30 o 35 días de sembrado en el semillero. Sin

embargo, Corpoica (2012), describe que se deben tener en cuenta ciertos parámetros para dar un manejo adecuado a las plántulas antes de hacer el trasplante definitivo:

- Disminuir el riego en semilleros una semana antes para endurecer las raíces de las plantas, se trasplantan las plántulas que ya tengan cuatro hojas verdaderas de altura entre 10 y 15cm.
- Realizar un abundante riego en el semillero dos a tres horas antes del trasplante, asegurando así un arranque limpio sin dañar las raíces y que la planta llegue con suficiente humedad al sitio definitivo.
- Evitar trasplantes a medio día o en horas de la tarde, siempre buscar trasplantar en horas de la mañana cuando haya menos sol.
- Trasplantar las plantas que sean sanas, uniformes, de buen vigor, con hojas verdes y erguidas.
- Verificar que las raíces de las plantas sean sanas, blancas, delgadas y llenen todo el sustrato para evitar que se quiebren al momento del trasplante.

Se deben establecer las estructuras donde irán las camas de cultivo a una altura mínima de 20cm, marcar los sitios donde irán las plantas y abrir un hueco, en seguida realizar con cuidado el trasplante, asegurándose que el sustrato donde se va a establecer la planta este húmedo. Las plántulas no deben perder el sustrato que tienen adherido a las raíces al momento de ser sembradas y el tallo debe quedar ligeramente enterrado para promocionar el brote de nuevas raíces (Cámara de comercio de Bogotá 2015).

Distancia y densidad de siembra

Para cultivos bajo invernadero se siembra en surcos individuales, dejando una distancia entre estos de 1,0 a 1,4m) y camas de doble surco con distancias entre estos de 0,5 y 0,6m). La distancia entre camas puede variar entre 0,8 y 1,0m, y entre plantas de 0,3 a 0,5m, llegando a densidades de 2,2 a 2,5 plantas/m² (Cámara de comercio de Bogotá 2015).

Tutorado y amarre del tomate

Una vez se halla establecido el cultivo en el sustrato se debe empezar a tutorar las plantas, mediante un sistema de soporte que permita guiar y direccionar el crecimiento de la planta de forma vertical. El tutorado debe ir desde la base de la planta (tercera y cuarta hoja) hasta una altura aproximada de 2,5m. Se instala colocando en cada extremo del surco un poste de madera a una altura de 2,5m y en medio cada 5m otros postes de la misma altura. Sobre la parte superior de los postes se extiende de extremo a extremo un alambre galvanizado de calibre grueso, para tutorar la planta a lo largo de la cuerda, se puede usar abrazaderas de plástico las cuales se instalan al tallo por debajo del peciolo de una hoja bien desarrollada y resistente ver (Figura 10) Se puede también tutorar la planta enrollándola a la cuerda, en sentido a las manecillas del reloj, cada 2 o 3 hojas o una vuelta por cada racimo.

Es importante que la punta de la planta quede libre para permitir el crecimiento y desarrollo de nuevas hojas (Cámara de comercio de Bogotá 2015).

Figura 10

Abrazadera plástica para amarre



Fuente. Anillo Tutoreo. 2022.

Podas

La poda es indispensable a la hora de producir tomate, ya que, al eliminar cierto material vegetal de la planta, se redireccionan los fotoasimilados a los frutos, además de balancear el crecimiento vegetativo y generar beneficios de tipo fitosanitario (Escobar y Lee, 2009). Existen 5 tipos de podas:

Poda de formación.

Se realiza para decidir el número de tallos que va a tener la planta, en plantas de crecimiento indeterminado se genera una poda para un solo tallo debido a que estas plantas son más vigorosas y facilita el manejo y tutorado, en caso de querer dejar dos tallos, se escogen los dos tallos más vigorosos, dejando el más vigoroso como el principal y el segundo tallo como aquel que aparece debajo de la primera inflorescencia (Escobar y Lee, 2009).

Poda de yemas o chupones

Para promover una mayor asimilación de nutrientes en los frutos es importante quitar las yemas axilares, también llamadas chupones, los cuales crecen en los puntos de inserción entre el

tallo principal y los peciolos de las hojas (Figura 11). Se pueden eliminar manualmente apenas retoñan. Cuando se eliminan los chupones bien pequeños se reduce la herida, evitando ataques de hongos, en especial el de *Botrytis cinérea*.

Con el fin de evitar podar accidentalmente el punto de crecimiento por confundirlo con un chupón, se recomienda podar solo los chupones que nacen debajo del último racimo floral (Escobar y Lee, 2009).

Poda de flores y frutos

La práctica de esta poda se realiza para balancear el número y tamaño de frutos por racimo y a lo largo de toda la planta. El tipo de mercado y variedad que maneje el productor determinara la poda de flores y frutos por lo que diferentes tipos de híbridos pueden manejar un número diferente de frutos por racimo. Algunas variedades pueden producir gran número de flores por inflorescencia y al generar muchos frutos, estos pueden salir de pequeño tamaño y/o con imperfecciones. En este caso es indispensable eliminar algunas flores antes de que sean polinizadas.

Figura 11

Poda yemas auxiliares



Nota. Se debe retirar el chupón lateralmente, mas no jalarlo para no lastimar la planta (Intagri, 2016).

Para los tomates tipo Chonto lo recomendable es dejar de a 8 a 10 frutos por racimo dependiendo de la variedad y vigor de la planta. Los frutos que sean deformes, enfermos y muy pequeños deben ser eliminados, generalmente estos se encuentran en el extremo apical del racimo (Corpoica, 2012).

Poda foliar o deshojado

Esta poda se requiere cuando hay hojas enfermas, marchitas o deformes y deben ser retiradas de las plantas con el fin de evitar problemas fitosanitarios en el cultivo. La poda de hojas se realiza también cuando hay exceso foliar, generando bloqueo de luz y ventilación en la planta, al retirar cierta cantidad de hojas se puede mejorar la entrada de luz y bajar la humedad relativa en la base de las plantas, eliminando así focos propensos a ser fuentes de plagas y enfermedades.

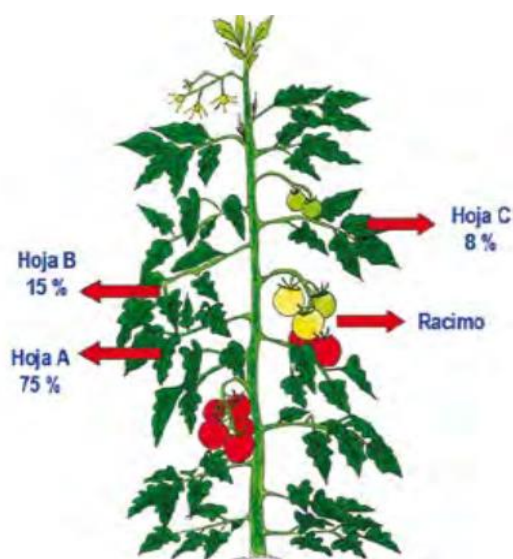
Hay que tener en cuenta que, al realizar una poda foliar, los frutos deben estar completamente desarrollados en cada racimo, pues una poda intensa y precoz puede reducir la calidad y el llenado del fruto, bajando así el rendimiento productivo. La eliminación de hojas empieza cuando se halla recolectado los frutos del primer racimo, quitando las hojas que están por debajo de él (Zeidan, 2005).

En variedades de plantas indeterminadas, crecen grupos de tres hojas por racimo, la primera hoja crece debajo o al frente del racimo, siendo la responsable del 75% del llenado del fruto, la segunda hoja crece por encima del racimo y es la encargada del 15% del llenado del fruto y la tercera hoja está por encima de la segunda hoja aportando el 8% del llenado del fruto (Figura 12), repartiendo de forma bilateral sus fotosintetizados para el racimo anterior y posterior. Es por la importancia de no podar todas las hojas y en caso de presentarse exceso de

hojas, se puede podar solo la tercera hoja, evitando quitar el foliolo ubicado enfrente y debajo del racimo (Zeidan, 2005).

Figura 12

Distribución de los grupos foliares en planta de crecimiento indeterminado



Fuente. Corpoica (2012).

Poda de yema terminal o despunte

Esta poda permite delimitar el número de racimos que se dejara por planta, realizándose con un corte a la yema principal de la planta, considerando que el racimo que este por debajo de la yema debe estar totalmente formado y que se puedan dejar dos hojas por encima del racimo (ver Figura 13) (Zeidan, 2005).

Figura 13

Poda yema terminal o despunte



Fuente. Corpoica (2012).

Polinización

Para promover un buen cuajado de los frutos y un buen desarrollo uniforme, es necesario que las flores tengan una buena polinización, en el caso de cultivos a campo abierto, condiciones como el viento, el vuelo de insectos, el paso del humano, entre otros, hacen que se realice una buena polinización cruzada. Sin embargo, en condiciones bajo invernadero todas estas acciones se limitan provocando una deficiente polinización y por ende una baja productividad en los frutos, es por eso que para estimular una buena polinización los productores optan por usar varias técnicas que permiten mantener una polinización adecuada en las plantas (Zeidan 2005).

Otros factores como la humedad relativa son indispensables a la hora de producir una buena polinización en la planta, debido a que una humedad relativa baja o excesos de humedad, también como extremos de temperatura puede generar daños contraproducentes en la polinización, Según Buitelaar y Eindhoven (1986), precisan que un rango óptimo de humedad relativa debe estar entre 60 y 85%, debajo de estos parámetros se reducen las características

pegajosas del estigma, lo que disminuye la adhesión y germinación del polen. Por encima de los rangos óptimos se reduce el desprendimiento del polen en la antera.

El desarrollo eficiente en cuanto a tamaño y forma del fruto dependerán del número de semillas que se desarrollan dentro de este, por ende, una flor polinizada con una buena cantidad de granos de polen puede producir frutos de gran calidad, forma y tamaño. Asimismo, si una flor no se poliniza de manera adecuada, esta puede producir frutos de baja calidad y pequeño tamaño con pocas semillas en su interior (Zeidan 2005).

A parte de las condiciones climáticas dentro del invernadero, existen varios métodos de polinización que pueden ayudar a mejorar la calidad del fruto:

Vibrador o abejorro eléctrico

El vibrador se compone de una batería eléctrica conectada a una varilla larga, la cual genera una vibración al ser colocada sobre cada inflorescencia, lo que permite facilitar la liberación del polen de los estambres al estigma, favoreciendo su fecundación (Ver Figura 14). Es ideal para uso bajo invernadero o para cuando por condiciones climáticas los estambres no se abren.

Figura 14

Vibrador eléctrico para polinización



Fuente. AliExpress 2022

Polinización por abejorros

A nivel mundial se viene utilizando el *Bombus terrestris*, el cual es una especie de abejorro grande color negro-amarillo el cual vive en la naturaleza de todos los continentes. La fuerte vibración que generan sus alas al volar consigue un óptima polinización, más que cualquier otro aparato artificial.

El *Bombus terrestris* es un excelente trabajador, activo, no depende de alguna condición climática específica y no se escapa del invernadero, aun si se abren las ventanas para la ventilación. Su uso para polinizar cultivos de tomate ha tenido bastante éxito y las colmenas se pueden conseguir de forma comercial.

Los abejorros se suministran en cajas de cartón las cuales simulan su colmena, dentro de las cuales vienen algunas decenas adultas, los huevos, las larvas y la reina (Figura 15), cada colmena puede garantizar la polinización de hasta 2500m² de cultivo de tomate durante 5 – 8 semanas. Cuando la actividad empieza a disminuir, debe reemplazarse la colmena por una nueva. En Colombia la Universidad Militar viene trabajando el abejorro nativo *Bombus atratus* (Shany, 2007)

Figura 15

Polinización con Bombus terrestris



Fuente. ControlBio, (2017).

Expulsador de Aire

Se trata de un dispositivo el cual libera pequeñas corrientes de aire sobre las inflorescencias agitándolas, permitiendo de esta forma la liberación del polen de las anteras al ovario para fecundar el ovulo (Corpoica, 2012).

Vibración mecánica o por golpe

Este método consiste en golpear con una vara la malla o alambre de tutorado con el fin de generar una vibración en las flores (Escobar y Lee, 2009)

Manejo integrado de plagas y enfermedades

Dentro de la planeación de un cultivo hidropónico es indispensable diseñar un plan de manejo adecuado de plagas y enfermedades, debido a que el término “plaga” es visto como un organismo que puede afectar de manera significativa el cultivo, generando pérdidas económicas y daños al productor como también al medio donde se propaga. Para un debido manejo de plagas y enfermedades se deben tener en cuenta los factores climáticos, factores externos e internos del invernadero, las prácticas agrícolas que se empleen en la producción y las plagas y enfermedades que pueden atacar el cultivo como los son los: nematodos, insectos, ácaros, patógenos microbianos y virales, algunos vertebrados y malezas (Escobar y Lee, 2009).

Sin embargo, en la actualidad muchas de las técnicas y manejos que se emplean para el control de las plagas y enfermedades está ligado al uso excesivo o inadecuado de productos químicos, los cuales incrementan de gran manera los costos de producción y que con el tiempo afectan no solo la salud de las personas si no también el entorno donde se aplican, contaminando los recursos naturales y promoviendo una resistencia cada vez más fuerte en las plagas hacia ciertos productos químicos, lo que conlleva al productor a usar de manera cada vez más intensa

estos productos en el cultivo, obteniendo como producto final un alimento con altos residuos tóxicos que pueden ser dañinos para la salud del consumidor (Corpoica y Noreña, 2013).

Ante la situación anteriormente dicha, yace la necesidad de generar un plan de manejo de plagas y enfermedades en el tomate que promueva la disminución o racionalización de pesticidas y agentes agroquímicos sobre el cultivo, mediante técnicas alternativas como: controladores biológicos, control físico, prácticas culturales y el uso de trampas de feromonas atrayentes, repelentes y otros métodos, que, sin ser nocivos para el medio ambiente y la salud humana, puedan reducir las poblaciones de plagas y enfermedades a un nivel no perjudicial, teniendo claro que estas prácticas deben realizarse antes, durante y después del cultivo para asegurar dicha efectividad (Jaramillo *et al*, 2007).

Se puede realizar un manejo integrado de plagas orientado ecológicamente, incluyendo métodos que, aplicados en conjunto, generan una prevención y protección a patógenos que puedan atacar el cultivo, disminuyendo a su vez el gasto económico en agroquímicos, evitando pérdidas en la producción (Tabla 6).

Se orienta hacia la convivencia de ciertos seres y el manejo de las poblaciones, no a su erradicación total, en el caso de los invernaderos, al manejo de infestaciones localizadas (Corpoica y Noreña, 2013).

Tabla 6

Métodos para un manejo integrado de plagas y enfermedades en invernadero con un enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas.

Antes del cultivo	Durante el cultivo	Después del cultivo
Selección adecuada del lote	Fertilización equilibrada y oportuna según análisis y requerimientos del cultivo	
Preparación óptima del terreno	Sistema de riego en condiciones adecuadas para conseguir uniformidad en el aporte de agua y nutrientes según el estado fenológico del cultivo	Cosecha oportuna
Estructura totalmente hermética (mallas anti-insectos en laterales y aberturas) permitiendo aun así una buena aireación en el invernadero	Ventilación adecuada para evitar el exceso de humedad relativa y altas temperaturas dentro del invernadero	Limpieza y desinfección de estructura y suelo
Instalación de doble puerta con precámara en la entrada el invernadero (Figura 16)	Mantener los plásticos en perfectas condiciones (limpios y sin agujeros).	Tratamiento de focos de infección
Análisis físico químico del sustrato	Colgado y tutorado oportuno en las plantas	
Análisis del agua para riego	Podas oportunas de yemas, brotes y hojas	
Siembra de variedades con resistencia o tolerancia a enfermedades	Aplicación de bactericidas ecológicos después de la poda	
Utilizar semillas de materiales (híbridos o variedades) registrados	Eliminación de focos de infección	
Manejo de semillas sanas	Desinfección de herramientas	Eliminación de socas
	Visitas periódicas al cultivo, seguimiento semanal.	
	Cambio y desinfección del calzado para ingresar al invernadero	
Siembra de semilleros en lugares aislados al cultivo	Evitar el goteo del agua de condensación del techo del invernadero	Disposición de residuos de cosecha
	Evitar asocio con cultivos que sean refugio de plagas, enfermedades o vectores	
Uso de plántulas sanas, libres de plagas y enfermedades	Oportuna eliminación de malezas o uso de suelos protegidos con plástico	Solarización
Realizar un sistema de siembra adecuado	Facilitar la polinización utilizando abejorros, vibradores y/o fitoreguladores	
	Acoger la utilización de productos biológicos	
Usar una distancia adecuada entre siembras	Utilizar trampas: adhesivas de Color amarillo (mosca blanca y minador) y azules (trips); con atrayentes sexuales	Rotación de cultivos o

(cogolleros del tomate); de luz en la noche desinfección del
para adultos lepidópteros y coleópteros sustrato

Fuente. Tomado y adaptado de Corpoica y Noreña, (2013).

Figura 16

Doble puerta con recamara para la entrada al invernadero



Fuente. Sistemas Hortícolas (2019).

Control Natural de Plagas

Se puede conjugar un conjunto de factores que aplicados al agro sistema, regulan las poblaciones de plagas y organismos en general. El control natural que se puede implementar combinando los factores bióticos y abióticos naturales es muy específico dependiendo de cada especie de insecto y depende de las condiciones climáticas favorables, siendo estas muy susceptibles a las intervenciones del hombre, quien en la mayoría de los casos es el responsable de su destrucción.

Los métodos naturales son indispensables para el control rentable y racional de los insectos dañinos, lo que puede reducir la población de seres perjudiciales reales, convirtiéndose en la base fundamental para prevenir problemas potenciales en el cultivo.

Los enemigos naturales de los insectos son fundamentales a la hora de proteger los cultivos, pues estos dependen y pueden verse afectados por los cambios en la densidad de la plaga o de los hospederos (plantas). La actividad del control obedece a la capacidad controladora y a la cantidad de enemigos que se encuentren en el cultivo, debido a que un controlador eficiente no requiere de un alto grado de insectos para mantenerse vivo.

Factores bióticos

Son los organismos presentes en los agroecosistemas que, bajo ciertas condiciones ambientales específicas, pueden sobrevivir alimentándose o reproduciéndose gracias otros organismos como insectos plaga, ayudando a disminuir sus poblaciones, estos se clasifican en depredadores, parasitoides y entomopatógenos (Corpoica, 2012).

Los depredadores son aquellos organismos artrópodos o invertebrados, los cuales se alimentan de insectos plaga, siendo muy activos buscando constantemente su alimento.

Los parasitoides son todos los organismos que se desarrollan dentro de un hospedero como los insectos plaga, matándolos en su total desarrollo, teniendo una gran capacidad de controlar de manera natural las plagas puesto que al estar en su estado adulto buscan de manera activa otros hospederos para poner sus huevos y seguir reproduciéndose (Corpoica, 2012).

Los entomopatógenos son aquellos microorganismos capaces de generar epidemias en las plagas al matar su hospedero, reproduciendo millones de individuos que, al ser dispersados por el aire, el agua y otros factores llegan a las otras plagas generando debilitamiento, haciéndolos susceptibles a diversos factores que pueden causar su mortandad (Corpoica, 2012).

Factores abióticos

Son todos aquellos factores ambientales que pueden intervenir de manera directa o indirecta en el crecimiento, desarrollo y comportamiento de fitopatógenos, como las

temperaturas extremas, la lluvia y factores como el control cultural que pueden ayudar a reducir la intervención y reproducción de plagas en el cultivo.

Control Cultural

Es el manejo que se le puede dar al cultivo mediante prácticas agrícolas manuales que, empleadas mediante una planificación bien elaborada, ayuda a la reducción de la presencia de fitopatógenos en el cultivo, esto evitando altos costos de producción y cuidando el medio ambiente, aportando una protección prolongada al cultivo de manera sana y compatible con otros tipos de control. (Cisneros, 1980)

Trampas

Como la palabra lo indica, son objetos que se pueden implementar para la captura de insectos que dependen de materiales impregnados de productos viscosos o pegajosos, teniendo un color llamativo a los insectos, como también el uso de lámparas de luz (Figura 17) para detener insectos, siendo efectivos para el control de mosca blanca bajo invernadero trampas pegajosas amarillas (Figura 18) y trampas pegajosas azules para trips (Figura 19).

Figura 17

Trampa de luz



Fuente. Corpoica y Noreña, (2013)

Figura 18*Trampa amarilla para capturar insectos**Fuente. Corpoica y Noreña, (2013)***Figura 19***Trampa azul para captura de insectos**Fuente. Corpoica y Noreña, (2013)****Barreras Físicas***

Son todas aquellas barreras físicas que se pueden instalar en los costados del invernadero, como mallas anti-insectos (Figura 20) los cuales ayudan de manera significativa sobre el control de la entrada de plagas el invernadero, reduciendo drásticamente la aparición de poblaciones perjudiciales en el cultivo, sin embargo algunas mallas como las anti trips que deben tener agujeros muy pequeños puede reducir la entrada de viento al invernadero y deben ser limpiadas constantemente para evitar que estas se llenen de polvo (Cisneros, 1980).

Figura 20*Malla antitrips**Fuente. Plásticos Bogotá (2022).*

Control con extractos vegetales

Son productos elaborados por el hombre los cuales provienen de elementos naturales muchas veces fácilmente disponibles en la naturaleza, que al ser aplicados pueden tener una efectividad sobre el control de ciertas plagas o como estimulantes de crecimiento, generalmente son extractos de plantas de gran actividad bioquímica como controladores biológicos naturales de insectos y enfermedades. Se destacan especies como la ruda, albahaca, caléndula, ají, tabaco, ajo, flor de muerto, diente de león, árbol de Neem, entre otros (Celis *et al*, 2009).

Principales plagas de tomate bajo Invernadero

Tabla 7

Plagas de tomate, síntoma y control


Tipo de plaga	Descripción/ Síntoma	Control
<p>Figura 21</p> <p>Mosca Blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> y <i>Bemisia tabaci</i>)</p>  <p><i>Bemisia tabaci</i> <i>Trialeurodes vaporariorum</i></p> <p>Fuente. Portalfruticola 2021</p>	<p>Son insectos hemípteros diminutos que en estado adulto pueden medir de 1 a 2 mm de tamaño, sus alas están cubiertas de cera fina.</p> <p>Daño: Los adultos y las ninfas (estado inmaduro) se alimentan de la savia de las plantas, produciendo un líquido meloso desarrollando la fumagina, la cual forma una cubierta pulverulenta de color negro sobre las hojas, afectando la capacidad fotosintética de la planta. Los daños significativos se producen debido a que pueden transmitir virus que generan disminución en el rendimiento de los frutos (FAO, 2002).</p>	<p>Manejo cultural: Instalar trampas de plástico con pegante a doble cara color amarillo en diferentes sitios del invernadero encima de los cultivos, revisar que el invernadero esté en total limpieza, eliminar con frecuencia toda vegetación que caiga al suelo, abrir las cortinas para estimular la migración, instalar mallas anti insectos en el invernadero, eliminar las malezas de 2 a 3 metros alrededor del invernadero y evitar sembradíos de papa y frijol alrededor del cultivo debido a que pueden ser hospederos de la plaga (Escobar y Lee, 2009).</p> <p>Manejo Biológico: basado en casos exitosos en Colombia se puede generar un control biológico mediante parasitoides como <i>Encarsia Formosa</i> y <i>Amitus Fuscipennis</i>, depredador del género <i>Delphastus</i> y varios entomopatógenos que tienen un alto</p>

Figura 22
Minador de la hoja
(*Liriomyza sp.*)



Fuente. Adaptado de FAO 2013

Son larvas que pueden alcanzar hasta 2mm de largo color amarillo, minan la hoja de las plantas, cuando las larvas maduran salen de la hoja y caen al suelo para empupar, hay veces empupan en la misma hoja, cuando se vuelven adulto se convierte en una mosca de 2mm de color negro brillante con marchas amarillas en el tórax.

Daño: ocasionan minas en las hojas en forma de serpentinas color amarillo que se ensanchan a medida que la larva crece dentro de la hoja. Puede generar caída de las hojas cuando la población de la plaga es muy alta, llegando a producir pérdidas económicas para el productor (FAO, 2002).

impacto como controladores biológicos de la mosca blanca. Se puede introducir estos depredadores al inicio del cultivo y a niveles bajos de infestación de la plaga, colgando tarjetas con las pupas del parasitoide debajo del cultivo con el fin de que cuando emerjan tengan contacto directo con la plaga, consiguiendo así un equilibrio entre plaga y parasitoide durante el resto del cultivo (Escobar y Lee, 2009).

Manejo cultural: Uso de material vegetal sano, mantener libre de malezas la cama de cultivo, eliminar las hojas bajas de la planta, colocar trampas de plástico amarillas, evitar el uso excesivo de plaguicidas en el invernadero, debido a que estos interfieren con los controladores biológicos.

Manejo biológico: Como controladores biológicos se pueden hacer liberaciones de *Diglyphus isaea* o *Diglyphus begini*, avispas de reducido tamaño que tienen la capacidad de atacar directamente las larvas del minador y que se pueden conseguir de manera comercial en Colombia (Escobar y Lee, 2009).

Figura 23

Áfidos o pulgones
(*Macrosiphum euphorbiae*,
Myzus persicae)



Fuente. Adaptado de Noreña et al, (2013).

Se encuentran Adultos e inmaduros en las Colonias con aspecto algo globoso y con colores y formas variables, entre verde y amarillo, en estado adulto tienen alas para movilizarse entre las hojas.

Daños: Succionan la savia de las plantas, generando amarillamiento en las hojas, deformación en los tejidos y atrofiamiento en las plantas. El daño puede perjudicar la fotosíntesis y causar transmisión de virus (Escobar y Lee, 2009)

Manejo cultural: Se pueden evitar grandes extensiones de cultivos hospederos alrededor del cultivo, manejar mallas anti-insectos en las entradas del invernadero, evitar el uso excesivo de nitrógeno ya que los áfidos se proliferan con más facilidad en plantas con un alto grado de suministro de nitrógeno. La eliminación de colonias iniciales de forma manual o con insecticidas botánicos como extractos de ajo y cebolla. Para su preparación se tritura 100g de ajo o cebolla, luego se deja en remojo de aceite mineral por 24 horas, después se agrega medio litro de agua mezclado con 10g de jabón. Se cuele el preparado y se diluye en 20L de agua, se aplica la preparación de forma directa sobre las colonias de áfidos

Manejo biológico: Se pueden incorporar insectos benéficos como las mariquitas, las avispa pequeñas y las Crisopas. Ya que estos se alimentan de los áfidos, por ej.: las mariquitas por individuo pueden llegar a consumir hasta 20 áfidos diarios y las avispa pueden momificar los áfidos volviéndolos inmóviles, causando su muerte (Escobar y Lee, 2009).

Figura 24

Pasador del fruto
(*Neoleucinodes
elegantis*)



Fuente. Noreña et al, (2013).

Son polillas de color blancuzco con alas blancas, algo hialinas, con áreas escamosas color canela oscuro a marrón y de hábitos nocturnos, las hembras ponen los huevos debajo de los sépalos y en frutos recién formados, generalmente viven en zonas cálidas. Daños: las larvas penetran rápidamente en

Manejo cultural: Se puede reducir el nivel de propagación de la plaga, eliminando de manera manual los frutos infestados por las larvas, se puede también instalar mallas anti-insectos alrededor del invernadero para evitar la entrada de la polilla al cultivo, como también se puede incluir la aplicación de feromonas como trampas para la atracción de los machos dentro del cultivo y así evitar la fecundación de las hembras, colocando una densidad de hasta 20 trampas/ha en el cultivo.

los frutos, consumiendo su interior, dejando una cicatriz severizada, dejando el fruto inservible, causando grandes pérdidas económicas para el productor.

Manejo Biológico: Mediando tácticas de monitoreo y el control biológico se puede incluir parasitoides de huevos de las polillas como la *Trichogramma exiguum*. Otros insectos que están naturalmente disponibles en los cultivos de tomate pueden controlar la plaga, siempre y cuando se evite el uso excesivo de insecticidas (Escobar y Lee, 2009).

Figura 25

Arañita Roja
(*Tetranychus urticae*)



Fuente. Escobar y Lee (2009)

Es un artrópodo de 8 patas, color rojizo con alta capacidad reproductiva, tiene un diminuto tamaño y pueden pasar desapercibidos cuando inicia su presencia en el cultivo. Se encuentran en el envés de las hojas y puede ser observado con lupa.

Daños: El ataque de la araña roja puede generar un achaparramiento general en la planta, ocasionando necrosis seca en las hojas más afectadas. Las hojas de tornan desde color verde claro hasta marrón claro. La planta sufre una muerte descendente, deteniendo el desarrollo de los frutos, sus daños pueden ser nefastos en periodos cortos.

Manejo cultural: Al desarrollarse esta plaga en temperaturas altas y baja humedad, es necesario mantener ventilado el invernadero, limpiar y desinfectar las herramientas y todo el invernadero antes de la siembra, mantener el suelo sin malezas, reducir las altas dosis de nitrógeno.

Control biológico: En Colombia se comercializa un acaro (*Phytoseiulus persimilis*) como enemigo natural de la araña roja, siendo un acaro ciego pero muy eficaz en su control, su precio es relativamente bajo y es fácil de aplicar en invernaderos (Escobar y Lee, 2009).

Figura 26

Acaro tostador del tomate o acaro del bronceado (*Aculops lycopersici*)



Fuente. Escobar y Lee 2009

Como su nombre lo indica es un acaro de tamaño diminuto, con cuatro patas, dos normales y dos transformadas en apéndices, es de color amarillo y tiene forma alargada vermiforme de 0,12 a 0,15 mm de tamaño, por lo que se puede ver solo con lupa. Daños: Cuando infesta la planta, las hojas, los frutos y tallos del tomate adquieren un aspecto grisáceo, de color bronce, generando necrosis en las hojas, secándolas desde el borde, las flores pueden sucumbir, llevando pérdidas económicas al productor.

Manejo cultural: al ser una plaga difícil de detectar, hay que estar monitoreando sus posibles síntomas en las plantas, revisando aquellas que puedan tener síntomas con lupa o microscopio, una vez detectadas las plantas que tengan la plaga, si está muy infectada es necesario erradicarla, todo esto al final de la jornada ya que se pueden adherir a las herramientas y ropa del operario con facilidad, es por eso necesario mantener limpio y desinfectado la ropa, botas y herramientas de trabajo.

Manejo biológico: si la planta está muy infestada se puede aplicar azufre en las partes donde se encuentra el acaro o aplicar un acaricida compatible a base de fenbutatin oxido, con una continuidad de dos veces en un máximo de cuatro días (Escobar y Lee, 2009)

Figura 27

Trips (*Frankliniella occidentalis*, Trips Palmi)



Fuente. Noreña et al, 2013

Son diminutos insectos de hasta 1 mm de longitud, color amarillo gris, con forma alargada, de gran movimiento. Su hábitat generalmente se encuentra en las estructuras internas de brotes y flores de la planta.

Daños: Los trips adultos como las ninfas se alimentan de la savia de las plantas, raspando primero las hojas y frutos, deformándolos con cicatrices irregulares las cuales toman una apariencia brillante de color mate o plateada. Pueden destruir las plantas pequeñas o

Manejo cultural: Eliminar los residuos del cultivo tanto del interior como del exterior del invernadero. Introducir la presencia de mariquitas y crisopas, los cuales son eficientes depredadores naturales de los trips (FAO, 2002).

retardar el crecimiento afectando el tamaño y frutos del cultivo, propiciando grandes pérdidas económicas.

Figura 28
Enrollador de la hoja
(*Scrobipalpula absoluta*)



Fuente. Plantix 2022

Son larvas de color verdoso amarillento con cabeza oscura, las cuales minan las hojas, ocasionando un enrollamiento de las hojas. En los frutos, atacan principalmente bajo el cáliz en el pedúnculo. En etapa adulta son mariposas color marrón claro, las cuales se refugian en el envés de las hojas basales durante el día. Daños: Cuando minan las hojas provocan su caída, así mismo en los frutos jóvenes. En el fruto pueden provocar cicatrices oscuras, afectando su calidad, volviéndolas propensas a patógenos secundarios.

Manejo cultural: Erradicar los frutos y hojas infestados y restos del cultivo después de la última cosecha.

Manejo biológico: Aplicar extractos de Neem, Dipel o Thuricide como insecticidas biológicos, según indicaciones del fabricante (FAO, 2002).

Nota. Se realizó un resumen general de las plagas más importantes en los cultivos de tomate bajo invernadero y que tipos de manejo se les puede dar desde una manera ecológica, evitando en la medida de lo posible productos químicos.

Principales enfermedades por hongos en tomate bajo invernadero

Tabla 8.

Enfermedades por hongos del tomate, Síntomas y control



Tipo de enfermedad	Síntoma	Control
<p>Figura 29 Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)</p>  <p><i>Fuente. AgriSolver 2019</i></p>	<p>Se presentan manchas cafés en las hojas y tallos, se puede producir una felpa algodonosa en el envés de las hojas y al infestar el futo puede ocasionarle machas aceitosas color marrón, dañándolo en su totalidad. La planta puede ser destruida por completo.</p>	<p>Se pueden aplicar aspersiones directas semanales con extractos de cola de caballo, cebolla o manzanilla. Licuar una onza de cualquiera de estas hierbas y diluirlas en 4 litros de agua para su aplicación.</p>
<p>Figura 30 Oídio o cenicilla <i>Leveillula taurica</i> (anamorfo: <i>Oidiopsis taurica</i>), <i>Oidium neolycopersici</i></p>  <p><i>Fuente. Huerto en casa, 2022</i></p>	<p>Se presentan manchas pulverulentas de color blanco sobre las hojas, llegando a ser de gran tamaño, produciendo necrosis en las hojas, debilitando la planta hasta producir incluso su muerte.</p>	<p>Se aplica infusiones de cebolla a todo el follaje durante tres noches seguidas. Se prepara una onza de cebolla en un litro de agua, enfriar y aplicar.</p>
<p>Figura 31 Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>)</p>  <p><i>Fuente. Cropaia, 2021</i></p>	<p>Se presentan manchas color café oscuro y café claro concéntricas en las hojas. En los frutos se producen manchas negruzcas hundidas, causando su pudrición.</p>	<p>Cuando se evidencian los síntomas es necesario erradicar y quemar las hojas y tallos de plantas enfermas. Sembrar variedades de plantas específicas para invernaderos. Aplicar si es necesario fungicidas preventivos.</p>

Figura 32

Moho gris (*Botrytis cinerea*)



Fuente. Bernal, 2010

Es un hongo que cuando ataca puede dañar partes como flores, pedicelos, tallos, hojas, botones, frutos, bulbos y raíces. Forma un Moho café y blando en los frutos. Puede dañar toda la planta.

Se puede establecer un control de la humedad y el agua dentro del invernadero, mantener limpio el cultivo, eliminar residuos vegetales. Poda de chupones a tiempo, eliminar tejidos enfermos en la mañana. Acompañar las podas con fumigaciones para evitar infección en heridas. Si el tallo está afectado, raspar y aplicar fungicida.

Figura 33

Mildeo polvoso (*Oidium neolycopersici*)



Fuente. Escobar y Lee, 2009

Genera manchas blancas de aspecto pulverulento en las hojas, presentándose en cadenas de conidios ovoides y se dispersan fácilmente por el viento. Puede reducir el rendimiento hasta en un 40%.

Prácticas de sanidad, desinfección de herramientas, desinfección del invernadero en nuevos ciclos de cultivo. Eliminar hojas afectadas, colocándolas en bolsas. Aplicación de fungicidas después de la poda. Aspersión del hongo biocontrolador *Ampelomyces quisqualis*.

Figura 34

Marchitez fusariana (*Fusarium oxysporum*)



Fuente. Bernal, 2010

Amarillamiento sobre las hojas, luego necrosis, en altas temperaturas la planta empieza a marchitar. Color marrón oscuro al cortar en los vasos al cortar el tallo. Puede marchitar y hacer morir toda la planta.

Desinfectar muy bien los sustratos antes de sembrar, desinfectar las estructuras dentro del invernadero, usar variedades resistentes al *Fusarium*. Eliminación completa de la planta cuando está muy infestada. Aplicaciones preventivas de hongos antagonistas como *Trichoderma harzianum*, aplicando cada 15 días, desde el inicio del cultivo o semilleros.

Figura 35

Pudrición del tallo (*Sclerotium rolfsii*)



Fuente. Villapudua y Rodríguez, (sf).

Pudrición en la base del tallo, es un hongo que penetra por heridas, cuando infesta por dentro la planta, las hojas bajas empiezan a tomar color amarillento.

Evitar que el agua toque el tallo de las plantas, desinfectar los suelos y sustratos antes de la siembra.

Nota. Se muestran los principales síntomas y manejos culturales y biológicos de las enfermedades más importantes que se pueden presentar en el cultivo de tomate bajo invernadero en tierra templada y caliente en Colombia.

Principales enfermedades por bacterias en tomate

Tabla 9

Enfermedades por bacterias en tomate, síntomas y control



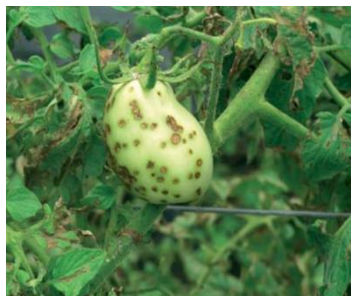
Tipo de enfermedad	Síntomas	Control
<p>Figura 36 Marchitamiento bacterial (<i>Ralstonia solanacearum</i>)</p>  <p><i>Fuente.</i> Bernal, 2010</p>	<p>Cuando infesta la planta, esta empieza a tomar síntomas de flacidez en una o varias hojas jóvenes, luego viene un gradual marchitamiento en toda la planta, al interior del tallo se presenta necrosis vascular, induciendo finalmente la muerte en la planta. El tallo puede mostrar un amarillamiento u oscurecimiento del sistema vesicular si se le hace un corte basal.</p>	<p>Su control es difícil una vez esta infestada la planta, sin embargo, se puede prevenir, usando material vegetal resistente y certificado, desinfectando los sustratos, la ropa y herramientas de cultivo. Mantener un control de insectos y mantener un buen manejo del drenaje.</p>
<p>Figura 37 Cáncer bacterial (<i>Clavibacter michiganensis</i>)</p>  <p><i>Fuente.</i> Bernal, 2010</p>	<p>Cuando inicia el síntoma, se ve un doblamiento en las hojas viejas seguido de necrosis marginal de los folíolos. Se producen estrías oscuras en la parte inferior de los peciolo hasta la unión con el tallo. El tallo muestra rayas amarillentas que se vuelven marrón rojizo, siendo una enfermedad mortal para la planta.</p>	<p>Mantener una buena sanidad en el cultivo, desinfección de herramientas y ropa de trabajo. Uso de material vegetal resistente y certificado. Erradicación y quema de plantas infectadas. Podas sanitarias.</p>

Figura 38

Mancha bacteriana
(*Xanthomonas campestris*
pv. Vesicatoria)



Fuente. Bernal, 2010

Se presentan manchas irregulares negras, aproximadamente de 3mm, estas manchas se hunden y se evidencian sobre los folíolos, cambian de color amarillo a negro o marrón oscuro, finalizando una necrosis en el centro, con el tiempo se forma un halo alrededor de las manchas. En frutos se forman puntos acuosos amarillentos que luego se vuelven grisáceos oscuros de apariencia costrosa.

Mantener el suelo libre de malezas y residuos, usar semillas tratadas y desinfectadas, sustrato desinfectado, material vegetal sano y libre de enfermedades.

Figura 39

Mancha necrótica del tallo
(*Pseudomonas corrugata*)



Fuente. Bernal, 2010

Afecta principalmente los tallos, causando manchas negras, de aspecto aceitoso sobre el largo del tallo y peciolo. Cuando la bacteria avanza puede generar la pérdida de hojas y frutos.




Generar una adecuada ventilación dentro del invernadero, buen manejo del riego y drenaje. Erradicación de desechos de plantas infectadas. En las fases iniciales se puede aplicar productos hechos a base de cobre.

Nota. Se describe de forma general los síntomas y control de las principales bacterias de gran importancia, que atacan el tomate en invernaderos en clima cálido y templado en Colombia.

Principales Enfermedades por virus en tomate bajo invernadero

Tabla 10

Enfermedades por virus, en tomate, síntomas y control

Tipo de virus	Síntoma	Control
<p>Figura 40 El virus del mosaico del tabaco (TMV) y el virus del mosaico del tomate (TOMV)</p>  <p><i>Fuente.</i> Scholthof, 2000</p>	<p>Forman un mosaico verde oscuro-claro o amarillento en las hojas superiores a lo largo de las nervaduras secundarias. Pueden presentar también deformaciones y curvaturas acampanadas en las hojas.</p>	<p>Adecuado control fitosanitario en el cultivo, desinfección completa de manos, herramientas, ropa y botas de los operarios. Usar variedades resistentes a estos virus.</p>
<p>Figura 41 Virus del bronceado del tomate (TSWV)</p>  <p><i>Fuente.</i> Hortomallas, 2022</p>	<p>Se evidencia un cambio de color en las hojas, de verde a morado, reducción y deformación de los folíolos. Cuando la enfermedad avanza, el follaje se torna color bronceado, con manchas cloróticas y moteado en las hojas. En Frutos se forman zonas redondas amarillas o manchas de círculos concéntricos.</p>	<p>Mantener un eficiente control de plagas, en especial los trips debido a que estos son hospederos del virus. Eliminación de malezas dentro y fuera del invernadero.</p>
<p>Figura 42 Virus de la cuchara del tomate (TYLCV)</p>  <p><i>Fuente.</i> Infoagro, 2022</p>	<p>Cuando infecta la planta, la zona apical de la planta se torna amarillo intenso, se produce reducción de la planta y la aparición de doblamientos en forma de cuchara en las hojas pequeñas.</p>	<p>Uso de material vegetal sano, control de plagas, en especial la mosca blanca pues esta es hospedera del virus. Erradicación de malezas y residuos vegetales dentro del invernadero.</p>

Nota. Se describe de forma general los síntomas y control de los principales virus de gran importancia, que atacan el tomate en invernaderos en clima cálido y templado en Colombia.

Manejo de Cosecha y Postcosecha

Para obtener una buena cosecha, con buenos frutos, peso y calidad es indispensable cumplir con todos los parámetros que exige el manejo agroclimático, manejar una adecuada polinización que garanticen frutos con buenas semillas, cuidar de las buenas prácticas y podas que se le hagan al tomate y estar siempre monitoreando el clima, humedad relativa y nutrimentos del fertilizante para evitar malformaciones en las plantas (Escobar Y Lee, 2009)

Cosecha

En esta etapa se seleccionan los tomates que estén bien formados y ya tengan ya algún grado de maduración comercial, en el que por lo menos el fruto haya desarrollado sus semillas y pueda ser seleccionado según los requerimientos del comprador.

La práctica de la cosecha en invernaderos pequeños debe hacerse día de por medio y para producciones grandes con buena luminosidad esta práctica debe hacerse a diario. Se debe cosechar en la mañana ya que a esta hora los frutos tienen mayor peso y calidad.

Es indispensable usar cajas con alguna espuma o lamina suave por dentro para empacar los tomates, sin exceder más de dos capas de tomate por caja. Las operaciones de cosecha deben hacerse con personal capacitado, que manejen de manera óptima el corte y manejo del fruto sin dañarlo o causarle alguna magulladura (Escobar Y Lee, 2009)

Postcosecha

Selección

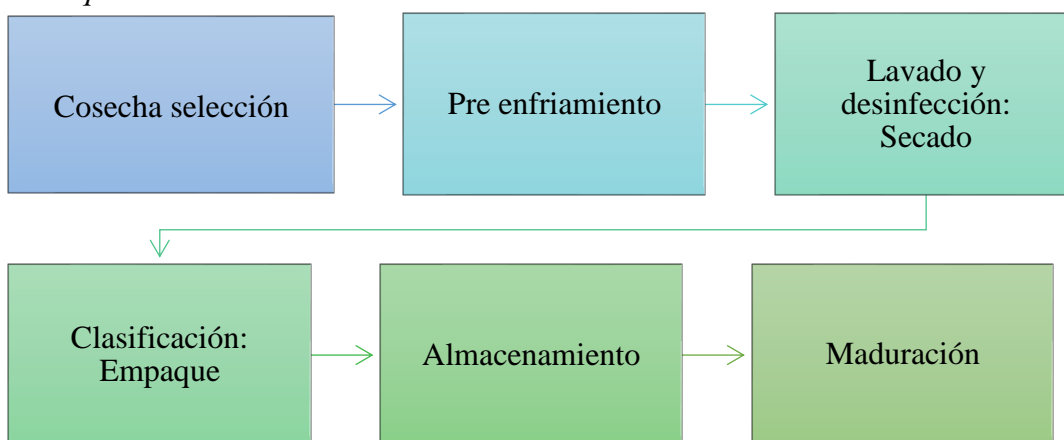
Una vez se halla echo la cosecha de los frutos estos deben dirigirse de inmediato al área de postcosecha donde se seleccionarán según sus criterios de color, peso, maduración y firmeza.

Los frutos dañados, que tengan imperfecciones como grandes magulladuras, estrías, deformidades, hongos o enfermedades deben ser desechados de una forma correcta en la cual no genera patógenos para la zona. Dichas prácticas reducen la dispersión de enfermedades a tomates sanos, evitan pérdidas y aseguran un buen manejo de postcosecha (Jaramillo *et al.*, 2007).

La cadena postcosecha se conforma de los siguientes pasos para un debido manejo del tomate antes de su comercialización (Figura 43).

Figura 43

Pasos requeridos en la Postcosecha



Fuente. Adaptado de Noreña *et al.*, 2013

Preenfriamiento

Después de ser seleccionados los tomates se proceden a enfrían inmediatamente en un cuarto frío o neveras que permitan aumentar la vida útil del producto, inhibiendo o reduciendo el crecimiento microbiológico y ayuda evitar la pérdida de agua en los tomates.

Se pueden enfriar los tomates con agua y hielo de agua potable (hidro enfriado), en donde se puede enfriar de manera rápida el tomate, agregando 100 ppm de cloro al agua para evitar patógenos, este enfriado debe hacerse por aspersión por no más de 15 minutos. Otra forma de enfriado es por aire forzado, usando una corriente de aire a una temperatura menor de 5°C, sin

que sea perjudicial para el producto, el tiempo de exposición al aire frío no debe ser mayor a 24 horas (Noreña *et al*, 2013).

Limpieza y desinfección

En esta operación se busca eliminar todo tipo de impurezas que pueda tener el tomate como: tierra, polvo, agroquímicos, hojas y microorganismos. Dependiendo de la calidad del tomate, su forma de producción y cosecha se puede limpiar el fruto frotándolo con un paño húmedo o limpieza y desinfección simultaneas usando agua clorada mediando inmersión o aspersión, usando una medida de 55 a 70ppm y un pH de 7,0. Es importante que la solución clorada llegue a lo profundo de las heridas que pueda tener el fruto para que desinfecte todo tipo de patógeno que pueda tener el tomate.

Es importante realizar una buena desinfección del fruto ya que esto reducirá drásticamente la aparición de hongos y enfermedades durante su proceso de comercialización, teniendo en cuenta que hasta el 30% del producto cosechado no llega al consumidor final por causa de enfermedades en postcosecha (Noreña *et al*, 2013)

Se debe usar una concentración mínima adecuada de cloro en ppm para la desinfección de patógenos en frutas y hortalizas.

Tabla 11

Concentración mínima para control hongos y bacterias en tomate

Temperatura	25°C	40°C
Hongos	30 a 40 ppm	10 ppm
Bacterias	20 ppm	10 ppm

Fuente. Adaptado de Corpoica, 2012.

Secado

Después de haber realizado el proceso de lavado y desinfección se procede a generar el secado, debido a que la manipulación del tomate húmedo puede desarrollar patógenos que se pueden propagar a otros tomates sanos provocando perdidas en postcosecha. El secado se puede

inducir mediante aire forzado con ventiladores o dejándolos caer en rodillos de espuma que absorben la humedad, dicha práctica debe hacerse en un lugar totalmente limpio, higiénico, libre de fuentes de contaminación (Noreña *et al*, 2013)

Clasificación

La clasificación del tomate debe realizarse bajo ciertos parámetros en donde se escogen los tomates por tamaño, color, firmeza, textura y apariencia. Para el tomate la clasificación más usada se estandariza por tamaño y madurez.

Para medir el tomate, se toma el tamaño máximo ecuatorial. Para toda variedad de tomate, se recomienda clasificar el tamaño siguiendo la norma técnica Colombiana NTC 1103-1, exceptuando al tomate Cherry. Para tomates redondos el tamaño mínimo es 35mm y para tomates alargados el tamaño mínimo es de 30mm. Se hace una separación de acuerdo con el tamaño en cada tipo de tomate (Tabla 12).

Tabla 12

Medidas estándar para selección de tomate

Tomates redondos	Tomates acanalados o alargados
>30mm	<35
>35	<40
>40	<47
>47	<57
>57	<67
>67	<82
>82	<102
>102	

Fuente. Adaptado de Corpoica, 2012.

Para dicha separación se pueden usar barras o rodillos con diferentes tipos de espacios entre sí para permitir la caída de los tomates a una banda que los transporta a diferentes cajas dependiendo de su tamaño. El espacio que hay entre las bandas y los rodillos no debe ser muy alta y todas las partes por donde viaja el tomate deben estar cubiertas por materiales flexibles y

suaves que eviten daños en el producto. Estos espacios también deben estar limpios y desinfectados para evitar contagio de patógenos en el tomate (Noreña *et al*, 2013)

Para la comercialización del producto, los tomates deben estar lo más homogéneamente posible (Figura 44).

Figura 44

Empaque del tomate para comercialización en supermercados



Fuente. Noreña et al, 2013

Empaque

Esta fase es una de las más importantes en la postcosecha ya que en el empaque se conserva la calidad del fruto para su comercialización además de contar con una alta participación en los costos de producción y comercialización.

Dentro de los parámetros más importantes para tener en cuenta en el empaque y embalaje de frutas y hortalizas, son los siguientes:

- EL producto debe estar en condiciones adecuadas para permitir manipulación, protección, almacenamiento, transporte, distribución, venta y consumo del producto.
- El empaque debe conservar la calidad del contenido durante su comercialización.
- Ser reciclables, reutilizables o biodegradables.

- No debe transmitir olores, sabores ni microorganismos que alteren la calidad del producto.
- No debe tener objetos o materiales ajenos al empaque y producto del mismo.

Hay diferentes tipos de empaques para la comercialización del tomate, entre estos los más usados son el guacal el cual dificulta su manipulación y es difícil de desinfectar, las cajas de cartón que permiten una mejor manipulación y aireación del producto, y están las canastillas que son las más usadas debido a su fácil manejo y diferentes tipos de diseños que permiten responder a los requerimientos del mercado (Noreña *et al*, 2013).

Figura 45

Empaques usados para la comercialización del tomate



Fuente. Adaptado de Noreña *et al*, 2013.

Almacenamiento

En esta fase se busca resguardar el producto para asegurar el aprovisionamiento de los mercados o esperar a que estos se encuentren desabastecidos para tener una mayor ganancia del producto. El tomate almacenado debe estar totalmente libre de patógenos y cualquier tipo de daño mecánico, cosechado bajo un grado de madurez óptimo.

La temperatura ideal para conservar mejor el tomate esta entre los 18 y 21°C con una humedad relativa de almacenamiento entre 85% y 95% ya que humedades relativas más bajas pueden ocasionar deshidratación y/o marchitamiento en pocos días (Noreña *et al*, 2013).

Maduración

La variedad del producto puede determinar el tiempo de maduración, almacenamiento y vida útil en la comercialización, sin embargo, los factores externos como la temperatura y humedad relativa también afectan la calidad del producto. En la siguiente tabla (tabla 13) se observan los días necesarios para alcanzar el estado adecuado de madurez, dependiendo de condiciones como la temperatura de almacenamiento y del grado de madurez en el que fue cosechado.

Tabla 13

Evolución del grado de madurez del tomate en diferentes temperaturas y grados de madurez.

Grado Madurez	Días hasta alcanzar grado de madurez				
	12,5°C	15°C	17,5°C	20°C	25°C
1	18	15	12	10	7
2	16	13	10	8	5
3	13	10	8	6	3
4	10	8	6	4	2

Fuente. Corpoica, 2012.

Parámetros para el cultivo Hidropónico bajo invernadero

Según Escobar y Lee, (2009), para la construcción de un diseño hidropónico para tomate, es indispensable tener en cuenta, las condiciones climáticas que exige el cultivo, el sustrato a utilizar y las variedades híbridas que se puedan usar según los requerimientos del productor.

Condiciones climáticas

Cuando se establece un invernadero para la producción de alimentos, la primera variable que se busca modificar es la temperatura del aire (°C). Esta primera variable dentro del invernadero depende de tres factores:

1. Factores ambientales externos, como la radiación solar, la temperatura, la velocidad y dirección del viento.
2. Factores internos relacionados con el tipo de cultivo establecido, su cantidad de área foliar y sus niveles de transpiración.
3. Factores relativos en cuanto al diseño del invernadero, como el material de cubierta, alturas, ubicación y tamaño de las ventilaciones (Escobar y Lee, 2009)

La planta de tomate es termo periódica, es decir que crece mejor a diferentes condiciones de temperatura que a una temperatura constante, así mismo depende de la edad de la planta. Diferencias entre noche y día de 6 a 7 °C han sido reportadas como las ideales para el cultivo (Noreña *et al*, 2013).

Radiación Solar

La radiación solar o energía que provee el sol es de gran importancia para el desarrollo fotosintético del cultivo debido a que este proceso permite la acumulación de biomasa en las plantas, por ende, la radiación solar es un factor climático fundamental que puede determinar la productividad del cultivo. Un incremento del 1% en la radiación genera un incremento de la misma magnitud en la productividad del cultivo, por eso la importancia de maximizar la utilización de la radiación sobre las plantas, reduciendo los posibles obstáculos que puedan presentarse en el diseño del invernadero a través de su estructura y material de cubierta (Escobar y Lee, 2009).

La luminosidad que requiere el cultivo de tomate para producir flores es mínima de 6 horas luz día, sin embargo, si la intensidad solar es muy alta, los frutos se podrían agrietar, quemar o generar una coloración desigual al madurar, en estos casos se podría colocar sombra a los frutos en el invernadero (Yara, 2022).

En el país algunas zonas como la Guajira, los llanos Orientales y áreas del departamento de Boyacá como Villa de Leyva, Santa Sofía y Sutamarchan, reciben entre 5,0 y 5,5 KWh.m⁻² por lo que tienen un gran potencial para la producción de hortalizas y tomate bajo invernadero. La mayor parte del país recibe niveles de radiación entre los 4,0 y 4,5 KWh.m⁻².

Al desarrollar un sistema productivo bajo invernadero se está imponiendo de entrada la reducción de radiación solar que entra al cultivo, el cual permite el desarrollo fotosintético. El material de cubierta en el invernadero debe ser de buena calidad, estar limpio y cumplir con los parámetros que exige el sistema productivo para evitar en lo máximo la disminución de entrada de radiación solar. En el caso de usar una cubierta nueva de polietileno de baja densidad, la transmisión de radiación entrante varía entre el 65 y 70%, por lo que se pierde hasta un 30% de potencial productivo. Con el transcurso del tiempo, la transmisión se puede reducir hasta un 50% puesto que el plástico se puede ir degradando o acumulando de polvo y suciedad.

Es por eso la importancia de mantener la estructura del invernadero en buenas condiciones, respetando la garantía del fabricante, manteniendo las cubiertas limpias con lavados periódicos, lo cual permitirá mantener un buen porcentaje de radiación solar en el cultivo (Escobar y Lee, 2009).

Humedad del aire

La cantidad de vapor de agua toma importancia al momento de establecer un invernadero. El término que más se utiliza para referirse a la humedad del aire es la humedad relativa, que,

expresada en porcentaje, es una proporción entre la presión parcial de vapor y la presión parcial a saturación (e/es). La humedad relativa del aire es dependiente de la temperatura, pues cuanto mayor sea la temperatura, el aire incrementara su capacidad de sostener agua en forma de vapor. El contenido de humedad del aire al interior de un invernadero se determina por distintos procesos como la transpiración del cultivo, la condensación sobre la cubierta y la ventilación, entre otros (Escobar y Lee, 2009).

En términos generales se recomiendan humedades relativas dentro del invernadero de 65 y 75% durante el día y entre el 80 y 90% durante la noche, valores extremos de la humedad relativa pueden generar aborto floral y de frutos. Un adecuado manejo de las ventilaciones del invernadero contribuirá a evacuar los excesos de humedad, los cuales se elevan durante las noches (Yara, 2022).

Cuando la Humedad relativa en el aire es muy alta dentro del invernadero, se puede observar la condensación que se genera en el plástico sobre las superficies estructurales del invernadero, sobre el follaje y/o los frutos, por lo anterior es pertinente ventilar temprano en las mañanas para reducir la humedad relativa dentro del invernadero (Escobar y Lee, 2009).

Manejo del clima en etapa de plantas en establecimiento

Cuando se establece el invernadero, el manejo del clima dependerá de las fases de desarrollo del cultivo. Un cultivo joven al no tener competencia entre plantas cercanas, la fotosíntesis es totalmente proporcional al índice foliar.

En etapa de establecimiento el aumento de la temperatura del aire causara un aumento sobre el área foliar específica de las hojas, incrementando así el área foliar de las plantas y su capacidad fotosintética, con base a lo anterior se puede manejar una temperatura varios grados por encima del óptimo para una fotosíntesis neta (Escobar y Lee, 2009).

Por otra parte, se debe mantener una alta humedad relativa en el aire debido a que en la etapa de semillero las plantas cuentan con una humedad elevada, por ende, el cambio que se presenta del semillero al invernadero no debe ser tan brusco para evitar problemas de estrés en las plantas, además de que una buena humedad relativa ayuda en esta etapa a una buena expansión foliar. Con el tiempo se va disminuyendo de manera gradual la humedad relativa en el invernadero (Escobar y Lee, 2009)

Manejo de clima en etapa de producción

Una vez este establecido el cultivo en su totalidad según (Challa *et al*, 1995) la expansión foliar deja de ser prioritaria, razón por la cual se debe considerar la reducción de la respiración de mantenimiento, maximizando la fotosíntesis.

Además de buenas condiciones de luminosidad, el sistema productivo establecido debe mantener una temperatura adecuada, entre los 20 a 25°C para el desarrollo de buenos racimos que generen frutos uniformes y de buena calidad (Escobar y Lee, 2009).

Localización del invernadero

Según Escobar y Lee, (2009), Es importante contar con un terreno plano sin obstáculos y objetos que puedan causar sombra sobre los invernaderos. El espacio debe situarse cerca de carreteras en buen estado con el fin de reducir costos de operación y transporte.

Factores topográficos y Edáficos

Un terreno plano o con una pendiente de hasta el 20% no tiene problema para el manejo del invernadero, el tutorado, las camas de producción y el sistema de riego. Si la pendiente supera el 20%, se debe instalar camas de forma perpendicular a la pendiente, para evitar problemas con el tutorado y la uniformidad del riego por goteo (Escobar y Lee, 2009)

Diseño del Invernadero

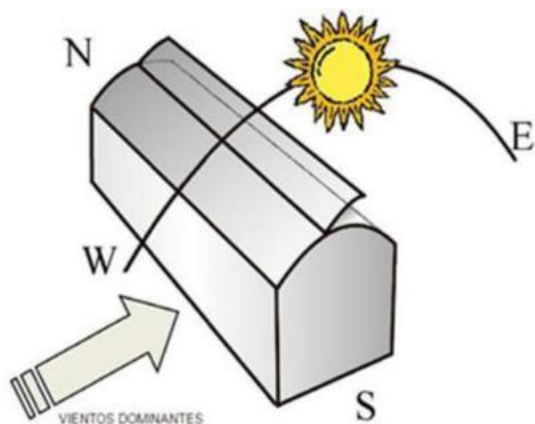
Para un diseño ideal, se deben tener en cuenta las condiciones climáticas externas y las del cultivo, la topografía, la dirección predominante del viento y el trayecto del sol, con el fin de dar la orientación apropiada a las naves del invernadero. El invernadero debe contar con un buen desagüe para las aguas lluvia (Escobar y Lee, 2009).

Orientación del invernadero

En terrenos con pendiente se sugiere dejar el invernadero perpendicular a la pendiente, preferiblemente con la entrada hacia los vientos fuertes, ubicando el largo de las naves de norte a sur para que la exposición del sol entre al máximo en el invernadero (Figura 35) y las plantas no generen sombra unas sobre otras (Noreña *et al.*, 2013).

Figura 46

Orientación del invernadero según el recorrido del sol



Fuente. Noreña *et al.*, 2013.

Las canales deben tener una pendiente de 10% para asegurar un buen desagüe, independiente de si el terreno es plano o tenga pendiente. Puede variar la altura de los parales. La medida estándar más común es de 6,8m de ancho para las naves mientras y de 5m para el ancho de los cuadros (Gómez, 2019).

Características mínimas de un invernadero de Clima medio

Cuando se quiere construir un invernadero en Clima medio o cálido, lo mejor es tener en cuenta una buena altura para la construcción de este, debido a que esto permite tener un clima más estable, por lo general se trabaja con alturas de 4,5 a 5,5m debajo de la canal en la fachada y ventanas a toda apertura para permitir una buena aireación. En algunos casos no se requiere de cobertura plástica a los laterales, ni tampoco en las culatas y antepechos. Dependiendo de las condiciones se pueden dejar abiertos o se reemplazan por una malla anti-insectos (Escobar y Lee, 2009).

Invernadero tipo Semitúnel o cilíndrico

Según (Jaramillo, 2012), los invernaderos tipo Semitúnel o cilíndricos, se caracterizan por la forma de su cubierta y su estructura la cual es totalmente metálica. El uso de este tipo de invernaderos está cogiendo cada vez más fuerza en el país, debido a que su estructura permite un mayor control de los factores climáticos, tiene gran resistencia a vientos fuertes y la instalación es rápida debido a que son estructuras prefabricadas.

Al interior de estos invernaderos hay pocos obstáculos, se permite una buena ventilación, buena estanqueidad a la lluvia y el aire, se puede acoplar a ventilación cenital o sotavento y facilita su accionamiento mecanizado. Genera un buen reparto de la luminosidad al interior, factor clave para una buena producción de tomate y son de fácil instalación. Si se unen varias naves se conocen como multitúnel (Figura 47) (Jaramillo, 2012).

Figura 47*Invernadero tipo Multitúnel*

Fuente. Noreña *et al.*, 2013.

Resultados

En cuanto a la caracterización de los requerimientos del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico bajo invernadero en el municipio de Tibacuy se evidencio que los principales criterios obligatorios para asegurar una producción ideal de tomate hidropónico bajo invernadero en la finca de San Luis en el municipio de Tibacuy, son las condiciones edafoclimáticas que exige el cultivo para su óptimo desarrollo por lo que el clima es apropiado para un buen desarrollo de los frutos y una buena productividad, debido a que en la zona donde se plantea realizar el sistema productivo cuenta con las condiciones requeridas según el análisis de la Tabla 1.

Según las condiciones climáticas escogidas para el establecimiento del cultivo se procedió a analizar los diferentes híbridos que ofrece el mercado para la producción de tomate tipo Chonto, teniendo en cuenta parámetros como, peso del fruto, calidad, resistencia a fitopatógenos y condiciones climáticas requeridas.

La selecciono el híbrido Bonus gracias a sus características dado el siguiente análisis comparativo entre los siguientes híbridos:

Tabla 14*Comparativo de híbridos para producción de tomate*

Requerimientos idóneos para selección de híbrido de tomate	Hibrido Bachué	Hibrido Pacal	Hibrido San isidro	Hibrido Bonus	Hibrido Santa Clara
Peso mayor a 170gr	✓	✓	✗	✓	✓
Apto para climas cafeteros, Templado/Cálido	✗	✗	✓	✓	✗
Resistente a Enfermedades	✗	✗	✗	✓	✓
Resistente a bacterias	✓	✓	✓	✓	✓
Resistente a Hongos	✓	✓	✓	✓	✓
Resistente a virus	✓	✓	✗	✓	✗
Cumple: ✓	No cumple ✗				

Nota. La mosca blanca, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y la *Bemisia tabaci*, son de las principales transmisoras de los virus, bacterias y enfermedades que sufren los cultivos de tomate a campo abierto en Cundinamarca. Se hizo un comparativo entre los híbridos más opcionados para el cultivo de tomate Hidropónico en el municipio de Tibacuy, en donde se evidencio la mayoría de las ventajas sobre el híbrido Bonus.

Otro de los factores relevantes es seleccionar el tipo de técnica hidropónica más adecuado, en este caso se evaluó el sistema utilizado en cada técnica para definir el más adecuado para la siembra de tomate:

Tabla 15*Comparativo de técnicas hidropónicas para cultivo de tomate*

Técnicas hidropónicas	No necesita de uso continuo de SN	Apto para plantas de fruto o de gran porte	Permite simular camas de cultivo
Técnica NFT	⊗	⊗	☑
Técnica de raíz flotante	⊗	⊗	☑
Técnica aeropónica	⊗	⊗	⊗
Técnica con sustrato	☑	☑	☑
Cumple: ☑		No cumple: ⊗	

Nota. En el cuadro comparativo se evidencia que la técnica con sustrato cumple con todos los requerimientos que exige un cultivo hidropónico de tomate.

Con base a lo anterior se evidencia que la técnica hidropónica en sustrato es la más acorde para el establecimiento productivo del tomate, debido a que este sistema permite un adecuado soporte para plantas de gran tamaño o que generen frutos. Al tener un sistema de alimentación por riego, se disminuye la cantidad de agua y solución nutritiva suministrada en comparación con los otros sistemas hidropónicos.

Para la técnica de cultivo en sustrato se analizaron las diferentes ventajas y desventajas de los distintos sustratos más utilizados en Colombia para hidroponía, por lo cual se muestra la siguiente tabla comparativa

Tabla 16*Requerimientos principales para la selección del sustrato*

Sustratos hidropónicos	Buena conductividad eléctrica	Buen Intercambio catiónico	Buena retención de humedad	Material limpio e inocuo	Sirve para varios ciclos de cultivo	pH estable	Bajo costo
Cascarilla de arroz	⊗	⊗	⊗	⊗	✓	✓	⊗
Escoria	✓	✓	✓	✓	⊗	⊗	✓
Fibra de coco	✓	✓	✓	✓	✓	✓	⊗
	Cumple: ✓		No cumple: ⊗				

Nota. Se hace un análisis de cuáles son los sustratos que más cumplen con los requisitos que exige un cultivo hidropónico de tomate, en donde la fibra de coco cumple con la mayoría de los requerimientos.

Con base al análisis anterior, la fibra de coco es ideal para el cultivo de tomate hidropónico, pues ofrece inocuidad y limpieza en el producto desde su enraizamiento, lo que es fundamental a la hora de producir un producto inocuo para el consumidor, además de no contener agroquímicos ni enfermedades en el sustrato, por otra parte, a pesar de ser costoso en comparación a otros sustratos, la fibra de coco se puede reutilizar hasta para tres ciclos productivos, factor que compensa el costo del producto.

Su alta conductividad eléctrica y pH estable entre 6,5 favorece a un mejor control de los componentes de la solución nutritiva sobre los requerimientos del cultivo, ayudando a mantener un buen rendimiento en la producción.

Entre sus otras ventajas esta la retención del agua, lo cual ayuda con el tiempo a generar un gran ahorro en su uso, disminuyendo también por esta parte los gastos de producción en

comparación con un cultivo convencional o un sustrato que retenga menos agua y necesite ser regado constantemente.

La técnica hidropónica con sustrato requiere de un sistema de fertirriego por el cual se aplique la solución nutritiva con los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas.

Para la preparación de la solución nutritiva se evaluó los requerimientos nutricionales para el cultivo de tomate y se evidencio que para sistemas productivos tecnificados es indispensable el uso de 4 tanques para el manejo de la solución nutritiva. Por lo anterior se debe disponer de un cuarto para cuatro tanques, tres de 500 litros y uno de 10.000 litros en donde el tanque (A) de 500 litros se tendrá para disolver los nitratos (nitrato de calcio y la mitad del nitrato de potasio). El tanque (B) de 500 litros, se mezclan las fuentes de sulfatos (Magnesio y de potasio), los fosfatos y los elementos menores. El tanque (C) de 10000 litros se utilizará para diluir las dos mezclas y aplicar la solución nutritiva final directamente al cultivo mediante un sistema de riego por goteo y el cuarto tanque (D) de 500 litros se utilizará para el reciclaje de la solución nutritiva que se recoge después de regar el sustrato en donde se harán las correcciones necesarias en cuanto a elementos nutricionales, pH, Conductividad eléctrica, salinidad y oxigenación para su recirculación en el cultivo (Escobar y Lee, 2009).

El tanque (C) se dispondrá a una altura de 2,5 m de altura a unos 20 m del invernadero con el fin de hacer riego por gravedad, igualmente se usa una bomba de 0,25HP y un temporizador para la programación de los riegos.

Se usa una bomba de oxigenación para la solución nutritiva del tanque (C) y el tanque (D) evitando así la acumulación de CO₂ en las raíces de las plantas (Castañares, 2020).

El cuarto de almacenamiento de los tanques debe estar bien ventilado y en condiciones adecuadas para no elevar la temperatura del agua y la solución nutritiva, manteniendo la solución fría para evitar la disminución en la disponibilidad del Fe (Saldaña, 2020).

Para el manejo del tanque (D) en el cual se recicla la solución nutritiva, esta debe ser primero filtrada, desinfectada y mezclada con agua limpia para poder volverla a integrar al tanque y ahí proceder a agregar los elementos necesarios que requiera para poder ser reintegrada de nuevo al cultivo. Es necesario estar haciendo un análisis químico frecuente de esta SN para realizar sus respectivos ajustes y así evitar la acumulación de sales tóxicas, como el sodio y el cloruro (Guy, 2014).

Lo anterior permitirá obtener una disminución en los gastos de la solución nutritiva comercial, y así mismo se usará de manera más eficiente el recurso agua.

Según los sistemas de riego disponibles en el mercado para un cultivo hidropónico, se evidencio que el sistema de riego por goteo es el más adecuado para el cultivo de tomate, debido a que este se puede sistematizar para poder generar el riego necesario en cada fase del cultivo según sus requerimientos nutricionales, determinando el tiempo e intensidad de riego que se le quiera dar, proporcionando la humedad y alimentación óptima para una buena producción.

Para el sistema de riego por goteo se emplearán los goteros de punta ya que han demostrado ser uno de los más efectivos en las producciones bajo invernadero (Pérez y Coto, 2021). Para este sistema se usan emisores ubicados cada 10cm con un caudal aproximado de $1 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, usando para cada surco una línea de riego.

Se usará un sistema Automatizado de bombas de agua, mangueras y tubos de PVC que irán interconectados entre los tanques de la solución nutritiva y el sistema de riego instalado en el cultivo.

Se pretende establecer una densidad de siembra en surcos dobles con una distancia de 1.60m entre centros de las camas y 0.6 m entre los dos surcos de cada cama. Se maneja una distancia de 0.5m entre cada planta a lo largo del surco para obtener una densidad de siembra de 2.5 plantas por metro cuadrado.

Se usan contenedores de polietileno con volumen de 10 litros, los cuales tendrán pequeños agujeros en su parte inferior para facilitar el drenaje, debajo de estos contenedores ira una canaleta que recogerá la solución nutritiva drenada para ser reciclada en otros riegos, estos contenedores se colocan en hilera a una distancia de 50cm del suelo sobre soportes de acero galvanizado.

Se hace un tutorado de la planta usando argollas o abrazaderas de plástico para amarrar al alambre galvanizado que va desde la base de la planta hasta la parte superior del invernadero, esto permite un mejor manejo de la planta y evita problemas fitosanitarios a diferencia de otros sistemas de tutorado que puede maltratar y guardar humedad en los tallos.

Se realizan las podas adecuadas para canalizar de manera más efectiva la fructificación de las plantas, iniciando con la poda de formación para dejar un solo tallo, luego se hace seguimiento diario a las yemas o chupones que salgan para su debida poda y así asimilar mejor los nutrientes a los frutos. Se deben realizar las podas de flores y frutos y la poda foliar en los tiempos indicados para mejorar la productividad de la cosecha. En el último ciclo se hace una poda de yema terminal o despunte.

Se decide hacer la polinización con vibrador eléctrico, debido a que este aparato por su forma delgada y larga (Varilla) permite llegar fácilmente a todas las flores de las plantas para ejercer su correcta polinización, es ideal para uso en invernaderos, además de ser portable por lo

que el operario la puede llevar consigo a cualquier lugar sin esfuerzo y gracias a su vibración permite facilitar la liberación del polen a los estambres del estigma.

Se descarta el uso de abejorros ya que esta técnica hasta ahora está siendo estudiada en Colombia con abejorros nativos ya que el abejorro mayormente usado a nivel mundial, el *Bombus terrestris*, es una especie exótica que no está permitida en Colombia (Ayala, 2018).

La polinización por aire y la vibración por golpe al ser más general en los racimos florales no garantiza una polinización 100% efectiva en las plantas.

En cuanto al manejo de fitopatógenos en el cultivo, se plantea un manejo integrado de plagas y enfermedades, usando buenas prácticas agrícolas, evitando el uso de productos químicos, en donde los productos biológicos, las prácticas culturales y el buen uso de barreras físicas desde el inicio del cultivo, hasta el final de la producción, serán clave para mantener niveles bajos de plagas y enfermedades que puedan llegar a la producción.

Para el diseño del vivero se tomó en cuenta los parámetros que requiere el montaje de un sistema hidropónico bajo invernadero. Según las condiciones climáticas de la Finca San Luis en Tibacuy, se selecciona el prototipo de invernadero conocido como semitúnel o multitúnel.

El invernadero tipo semitúnel es el ideal para el montaje del sistema productivo debido a que este cuenta con las condiciones necesarias para un buen desarrollo del tomate, debido a su forma y materiales de gran resistencia, además que distribuye de manera uniforme la luz dentro del invernadero por lo que al no contar con muchos obstáculos en su interior se maximiza el uso de la radiación solar permitiendo un buen rendimiento productivo.

Las Naves se dispondrán en el terreno de norte a sur, perpendicular a la pendiente, en donde el sol pasara paralelo a lo largo de las naves, promoviendo una buena fotosíntesis en las plantas evitando que no se generen sombras de unas plantas sobre otras. Se utilizará ventilación

cenital mecanizada y no contará con paredes plásticas laterales, si no con mallas anti-insectos para promover una mejor ventilación, evitando temperaturas elevadas extremas y altas humedades relativas que puedan afectar el cultivo.

Según el análisis sobre las dimensiones del invernadero y el tamaño del terreno se hacen naves de 10 m de ancho por 20 m de largo, con una altura de 5,5m debajo de la canal en la fachada, promoviendo un mejor manejo del clima.

En total se instalarán cuatro naves juntas logrando un multitúnel con un ancho total del invernadero de 40 m por 20 m de largo con un total de 800 m², un área ideal para comenzar con una pequeña producción de tomate hidropónico.

Se dispondrá de una recamará a la entrada a los invernaderos con el fin de tener un área de desinfección, donde la persona se cambiará con un overol, se desinfectará las manos y botas y se roseará con desinfectante todo el cuerpo, así como las herramientas de trabajo antes de entrar, acción que permitirá disminuir el ingreso de fitopatógenos que puedan afectar el cultivo.

Se dispondrá de una bodega para el almacenamiento de herramientas y un cuarto de control para las soluciones nutritivas, un cuarto de administración, un parqueadero y una zona para el manejo de postcosecha y almacenamiento del producto final.

Se hace un invernadero para clima templado, con una altura de 5.5mt, con ventilación cenital cubierta del techo con plástico y paredes anti-insectos lo que le dará una buena ventilación y mejor manejo de la humedad relativa.

El suelo ira cubierto por plástico para evitar la surgencia de malezas, lo que a mediano plazo se verá como una buena inversión, debido a que esta técnica evitará gastos en la compra de herbicidas además de bajar drásticamente focos de fitopatógenos en el suelo, protegiendo el cultivo.

Se usarán ventiladores que permitan bajar la humedad relativa o la temperatura en caso de que el cultivo lo requiera y la ventilación cenital no sea suficiente

En el cuarto de control se disponen los cuatro tanques con la solución nutritiva y los cómputos que darán la orden a los tanques, sistemas de riego y sistemas de ventilación para su correcto funcionamiento.

Conclusiones

Se formulo un proyecto de producción limpia de tomate hidropónico bajo invernadero para su montaje en la vereda de San Luis en el municipio de Tibacuy, en donde se evidencio que sus condiciones climáticas son las adecuadas para el establecimiento del proyecto.

Siguiendo los requerimientos climáticos que exige el cultivo; se desarrollará en un clima promedio de 23°C día y 16°C noche, a una altura de 1390 msnm con una humedad relativa entre el 65 a 80% en la finca San Luis en Tibacuy.

Para una producción ideal en las condiciones climáticas de Tibacuy se escogió el híbrido Bonus debido a que esta variedad cumple con las características adecuadas en cuanto a condiciones climáticas requeridas, en este caso climas cafeteros como los que se presentan en Tibacuy, resistencia a virus y enfermedades, algunos causados por la mosca blanca, plaga que ha tenido gran importancia en Cundinamarca. El híbrido bonus produce un buen peso por fruto, entre 150 a 180gr con crecimiento indeterminado para varios ciclos productivos y un ciclo de 90 y 110 días después del trasplante.

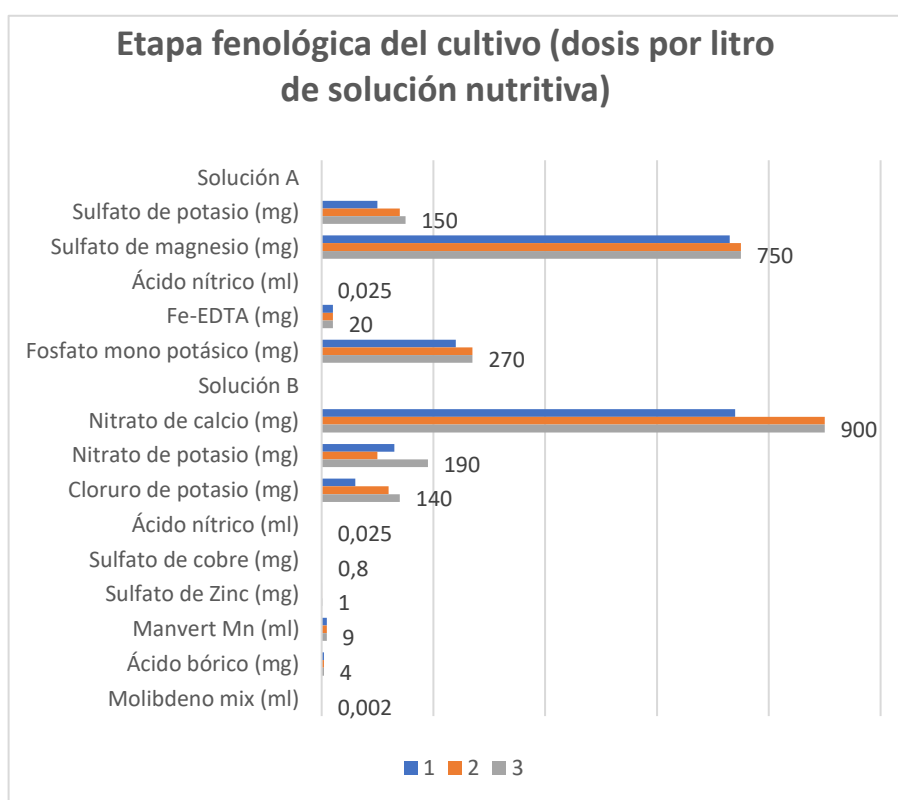
Adicionalmente y una vez analizados las diferentes técnicas de hidroponía se concluye que la técnica con sustrato en bolsas es la ideal, debido a su estructura y fácil manejo, es utilizada para soportar cultivos de fruto o de gran tamaño como el tomate.

Dentro de los sustratos analizados la fibra de coco posee las características ideales como Alta porosidad y retención de humedad, buena conductividad eléctrica, pH de 6,5, libre de agroquímicos, semillas, enfermedades y se puede reutilizar para varios ciclos de cultivo

Analizando las etapas fenológicas del cultivo y sus requerimientos nutricionales en dosis por litro en la solución nutritiva se tiene que:

Figura 48

Dosis por litro para las tres etapas fenológicas del cultivo



Nota. La solución A el sulfato de magnesio y el fosfato mono potásico es el que más hay que aplicar en cuanto a dosis por litro, incrementando los valores en la etapa dos y tres y en la Solución B el nitrato de calcio y el nitrato de potasio es el que más dosis por litro lleva en la solución, dando un incremento en la etapa dos y tres para el nitrato de calcio y el cloruro de

potasio, mientras que en el nitrato de potasio se ve una pequeña reducción en la etapa dos, elevando su contenido en la etapa tres.

Por lo anterior se requerirán de 4 tanques, uno para la solución A otro para la solución B, el tercero para diluir las dos mezclas y el cuarto para el reciclaje de la solución que no retiene el sustrato en el cultivo.

Como se va a alimentar, solución nutritiva: Solución A y Solución B

Tabla 17.

Dosis de las fuentes fertilizantes (por litro) de la solución nutritiva para el cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.) según la fase fenológica del cultivo

Tipo de Solución	Etapa fenológica del cultivo (dosis por litro de solución nutritiva)		
	1	2	3
Solución A			
Sulfato de potasio (mg)	100	140	150
Sulfato de magnesio (mg)	730	750	750
Ácido nítrico (ml)	0,025	0,025	0,025
Fe-EDTA (mg)	20	20	20
Fosfato mono potásico (mg)	240	270	270
Solución B			
Nitrato de calcio (mg)	740	900	900
Nitrato de potasio (mg)	130	100	190
Cloruro de potasio (mg)	60	120	140
Ácido nítrico (ml)	0,025	0,025	0,025
Sulfato de cobre (mg)	0,80	0,80	0,80
Sulfato de Zinc (mg)	0,85	0,85	1,0
Manvert Mn (ml)	9,0	9,0	9,0
Ácido bórico (mg)	4,0	4,0	4,0
Molibdeno mix (ml)	0,002	0,002	0,002

Nota. Las fases fenológicas corresponden a lo siguiente: 1: desde siembra o trasplante hasta inicio de floración; 2: desde inicio de floración hasta inicio de fructificación; 3: desde inicio de fructificación hasta final de la cosecha. Tabla recuperada de: Monge y Díaz (2021). Guía práctica

para la preparación de solución nutritiva en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo invernadero en condiciones hidropónicas.

El uso de bolsas contenedoras para hidroponía dispuestas en surcos a una altura de 50cm es la técnica más adecuada para la producción de tomate a nivel comercial ya que esto permite un adecuado manejo agronómico del cultivo y permite la recolección de la solución nutritiva drenada para su recirculación.

El manejo de polinización con vibradores eléctricos es el más adecuado para este cultivo ya que permite un manejo individual de cada planta para su correcta fructificación.

El invernadero tipo multitúnel es el más adecuado para la producción de tomate hidropónico en la finca San Luis en el municipio de Tibacuy, gracias a su fácil montaje, manejo del clima, ventilación y distribución de radiación solar en su interior.

La aplicación de productos biológicos, barreras físicas, montaje de plástico sobre el suelo, trampas para insectos y buenas prácticas agrícolas serán usadas para el control de plagas en el cultivo.

Debe mantenerse un estricto manejo de limpieza y desinfección sobre todas las herramientas y objetos que se ingresen al invernadero con el fin de mantener alejados los posibles focos de fitopatógenos que puedan propagarse en el cultivo.

Referencias Bibliográficas

Ablin, A. (2021). El Economista. El futuro de los alimentos orgánicos en el mundo.

<https://eleconomista.com.ar/debates/el-futuro-alimentos-organicos-mundo-n45601>

AgriSolver. (2019). Tizón tardío en tomate: Manejo Integrado de (*Phytophthora infestans*).

<https://www.agrisolver.com/blog/tizon-tardio-en-tomate-manejo-integrado-de-phytophthora-infestans>

Agrotendencia tv. (2021). Sustratos para hidroponía – Tipos, mezclas, características.

<https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/hidroponia/tipos-de-sustratos-usados-en-hidroponia/>

Agroware. (2016). Agricultura, Cultivos. Ranking de Productos Agrícolas de Mayor Demanda en el Mundo.

<https://sistemaagricola.com.mx/blog/ranking-productos-agricolas-mayor-demanda-en-el-mundo/>

Alcaldía de Tibacuy. (2017). Nuestro municipio. [http://www.tibacuy-](http://www.tibacuy-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio)

[cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio](http://www.tibacuy-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio)

AliExpress. (2022). Polinizador eléctrico de tomate inalámbrico, herramientas de polinización para invernadero, pepino, tomate, batería.

<https://es.aliexpress.com/i/4000438119936.html>

Aluna.news. (2020). Aluna. Comunicamos. Inspiramos. Transformamos.

<https://aluna.news/wp-content/uploads/2020/12/sistema-hidroponico-967x1024.jpg>

Anillo Tutorío. (2022). Galería Anillo Tutorío. <https://anillo-tutorio.net/galeria-anillo-tutorio/>

Asociados a la producción agropecuaria.

[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos factores de produccion_dic_2014.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_dic_2014.pdf)

- Beltrano, J. y Gimenez, D. (2015). Cultivo en hidroponía. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Universidad nacional de la Plata. Edulp.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bermeo J., Guevara, J., y Flores, L. (1996). Contribución al estado de la Germinación “in vitro”, efecto de sustratos, Niveles de N P K y condiciones de luz en el desarrollo de Protalos y Esporofitos de (*Rumohra adiantiformes*).
- Bernal, R. (2010). Enfermedades de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) en invernadero en las zonas de salto y bella unión. Serie técnica N° 181.
<http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429230710110412.Pdf>
- Buitelaar, K. y Eindhoven, W. (1986). Teelt en Teeltmaatregelen. In: Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk (ed.). Teelt van Stooktomaten. No. 56: 38-55.
- Camacho, E. (25 de febrero del 2020). 70% de los tomates que consumimos podrían tener residuos de plaguicidas. Expe Ditio.
<https://www.utadeo.edu.co/es/noticia/destacadas/expeditio/264566/70-de-los-tomates-que-consumimos-podrian-tener-residuos-de-plaguicidas>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual tomate. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial cámara de comercio de Bogotá. <https://www.ccb.org.co/content/download/13926/file/Tomate.pdf>
- Campo, S. D. (2020). Residuos de plaguicidas en cultivos de tomate, un riesgo para la salud y los ecosistemas. Periódico UNAL. Ciencia y tecnología.
<https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/residuos-de-plaguicidas-en-cultivos-de-tomate-un-riesgo-para-la-salud-y-los-ecosistemas/>

Cardona, A. (23 de mayo de 2018). Antioquia y norte de Santander son los departamentos líderes en la producción de tomate. Agronegocios.

<https://www.agronegocios.co/agricultura/cuales-son-las-regiones-que-mas-producen-tomate-2728689>

Castañares, J. L. (2020). El ABC de la Hidroponía. EEA AMBA.

https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8023/INTA_DireccionNacional_EEAAMBA_Casta%C3%B1ares_JL_ABC_de_la_hidroponia.pdf?sequence=

Celis, A., Mendoza, C., y Pachón, M. (2009). Revisión: uso de extractos vegetales en el manejo integrado de plagas, enfermedades y arvenses.

<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/1205/1489>

Challa, H., Heuvelink, E., y. Van Meerten, U. (1995). «Crop Growth, Long—Term Crop Responses, Crop Growth and Development». En Bakker, J.C., G.P.A. Bot, H. Challa, & N.J. Van de Braak (eds.). Greenhouse Climate Control, an Integrated Approach. Wageningen (Holanda): Wageningen Pers. 62-84.

Cisneros, V.F.H. (1980). Principios del control de las plagas agrícolas. Editorial Gráfica Pacific Press, Surquillo, Perú

ControlBio. (2017). Abejorros para la polinización del tomate.

Guía de uso. https://controlbio.es/es/blog/c/30_abejorros-para-la-polinizacion-del-tomate-guia-de-uso.html

Corpoica y Noreña, J. E. J. (2013). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1730/Ver_documento_1730.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corpoica. (2009). Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas.

Generalidades del cultivo. Capítulo 3.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1747/45503_62475.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corpoica. (2012). tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones Protegidas.

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13320/Ver_Documento_13320.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Cropaia. (2021). Tizón temprano del tomate. <https://cropaia.com/es/blog/tizon-temprano-del-tomate/>

DANE. (2014). Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción Agropecuaria. El cultivo del tomate de mesa bajo invernadero, tecnología que ofrece mayor producción, calidad e inocuidad del producto.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_dic_2014.pdf

El Espectador. (21 de enero del 2020). La Tierra solo tiene capacidad para alimentar a la mitad de la población mundial. Redacción medio ambiente.

<https://www.elespectador.com/ambiente/la-tierra-solo-tiene-capacidad-para-alimentar-a-la-mitad-de-la-poblacion-mundial-article-900924/>

Escobar, H. y Lee, R. (Eds.). (2009). Manual de producción de tomates bajo invernadero.

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13534>

Espinell, C., Torres, L., Grijalba, E., Villamizar, L., y Cotes, A. (2008). Preformulados para control de la mosca blanca Bemisia tabaci (*Hemiptera: Aleyrodidae*) en condiciones de

- laboratorio. Rev. Colomb. Entomol. vol.34 no.1 Bogotá,
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882008000100002
- FAO. (2002). Manual práctico. Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en Cultivos Hidropónicos en Invernaderos.
https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manejo_integrado_de_plagas_y_enferm
- FAO. (2013). El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. <https://www.fao.org/3/i3359s/i3359s.pdf>
- FAO. (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. Agro noticias. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- FAOSTAT. (2021). Cantidades de producción de hortalizas, melones, raíces y tubérculos por países. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Flores. L. (2017). Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera para la producción de lechuga mediante la implementación de un sistema hidropónico NFT (nutrient film technique) en el municipio de Achocalla.
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/21193>
- Garzón, L. y Mantilla, M. (2021). Alternativas para el proceso de recuperación de suelos contaminados por el uso de agroquímicos en el cultivo del tomate en el municipio de Gramalote departamento Norte de Santander Colombia (Tesis de maestría). Universidad Nacional Abierta ya Distancia, Colombia
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41349/1dgarzonr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Geier, B. (2022). El mercado orgánico oportunidades y retos. LEISA revista de agroecología.

Volumen 14. Número 4. <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-14-numero-4/2466-el-mercado-organico-oportunidades-y-retos>

Gobierno de México. (2016). Hidroponía ¿Sabes qué es y cómo funciona? Servicio de información Agroalimentaria y pesquera.

<https://www.gob.mx/siap/articulos/hidroponia-sabes-que-es-y-como-funciona#:~:text=La%20palabra%20se%20deriva%20del,cultivar%20plantas%20utilizan%20disoluciones%20minerales.>

Goldengrow, (2018). Cultivo Hidropónico. Tecnología basada en la fibra de coco.

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/170921/VENTAJAS-Y-COMO-USAR-FIBRA-DE-COCO-2018.pdf

Gómez, J. (2019). Diseño y construcción de invernaderos. Madrid: Ediciones Agro-técnicas.

Guy, B. (2014). Horticultivos. Reciclaje del drenaje de agua en invernaderos. <https://www.horticultivos.com/agricultura-prottegida/invernaderos/reciclaje-del-drenaje-de-agua-en-invernaderos-3/>

Haifa Chemicals. (2014). Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto,

acolchado o túnel e invernadero. https://www.haifa-group.com/sites/default/files/crop/Tomate_2014_1.pdf

Hidroponía Rosario. (2021). ¿En qué consiste la hidroponía? De que se trata. <https://www.hidroponiarosario.com/de-que-se-trata-2/>

Hortomallas. (2022). Virosis en tomate y como mejorar su cultivo.

<https://www.hortomallas.com/virosis-en-tomate/>

Huerto en casa. (2022). Oídio o cenicilla del tomate: síntomas, prevención y tratamientos.

<https://huerto-en-casa.com/cenicilla-en-tomate/>

Hydroenv. (2022). Técnicas hidropónicas. Hydro Enviroment.

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=30

Hydro enviroment. (2023). Técnicas hidropónicas. Hydro Enviroment.

https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=30

Hydroponicsystems. (2020). Origen de los cultivos hidropónicos. Hydroponicsystems

International. <https://hydroponicsystems.eu/es/origen-de-los-cultivos-hidroponicos/>

Infoagro. (2018). Riego en los semilleros. Artículo Pag web <https://mexico.infoagro.com/riego-en-los-semilleros/>

Infoagro. (2022). Los 3 virus más dañinos del tomate: Virus de la cuchara y virus del pepino dulce.

https://www.infoagro.com/documentos/los_3_virus_mas_daninos_del_tomatevirus_cuchara_y_virus_del_pepino_dulce.asp

Infoagronomo. (2022). Fenología del tomate. <https://infoagronomo.net/fenologia-del-tomate/>

Intagri. (2016). ¿Por qué se Realiza la poda en Tomate?

<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/por-que-se-realiza-la-poda-en-tomate#:~:text=La%20poda%20de%20brotes%20o,reduce%20el%20riesgo%20de%20enfermedades.>

Jaramillo N., Rodríguez, V., Guzmán A., Zapata C., y Rengifo M. (2007). Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. FAO, Gobernación de Antioquia, Mana, Corpoica C.I. La Selva. Medellín, Antioquia.

- https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13469/43123_50544.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jaramillo, A. (2012). Diseño de invernaderos agrícolas para la producción de hortalizas en zonas de alta montaña. Universidad Nacional de Colombia.
- <http://www.bdigital.unal.edu.co/7553/1/45093124.2013.pdf>
- López, L. M. (2017). Manual técnico del Cultivo de tomate: (*Solanum Lycopersicum*).
- <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3143/B?sequence=1>
- Minagricultura. (2014). Tomate. Evaluaciones Agropecuarias Municipales. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de tomate según departamento 2013-2014. <https://www.agronet.gov.co/Documents/Tomate.pdf>
- Minagricultura. (2020). Cadena de las Hortalizas. El campo es de todos. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales I Trimestre 2020.
- <https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20sectoriales.pdf>
- Minagricultura. (2022). Listado de operadores del área especializada “SisOrganico”.
- <https://vuf.minagricultura.gov.co/SISOrganico/Lists/Operador/AdminOperadores.aspx?View=%7Be0914510-08f1-405e-957f-45313d94fcd%7D&SortField=Agricola&SortDir=Asc>
- Ministerio de Ambiente. (2009). Guía ambiental hortifrutícola de Colombia.
- https://www.academia.edu/8460087/GUIA_AMBIENTAL_HORTIFRUTICOLA_DE_COLOMBIA
- Monge, J., y Díaz, J. (2021). Guía práctica para la preparación de solución nutritiva en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero en condiciones hidropónicas.

- [https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/83172/Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20soluci%C3%B3n%20nutritiva%20tomate%20\(versi%C3%B3n%20marzo%202021\).pdf?sequence=1](https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/83172/Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20soluci%C3%B3n%20nutritiva%20tomate%20(versi%C3%B3n%20marzo%202021).pdf?sequence=1)
- Mundo huerto. (2022). Enfermedades del tomate.
<https://www.mundohuerto.com/cultivos/tomate/enfermedades>
- Noreña, J., Cardona, C., Aguilar, P., y Arroyave, M. (2013). Modelo tecnológico para el cultivo del tomate bajo condiciones protegidas en el oriente antioqueño. Corpoica.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13762>
- Observatorio del Tomate. (2023). Producción mundial de tomate.
<https://observatoriotomate.com/produccion/#:~:text=Mundial,%2C%20Italia%2C%20Espa%C3%B1a%20y%20Turqu%C3%ADa.>
- Pérez, J., y Coto, M. (2021). Determinación de criterios de selección para el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) cultivado bajo invernadero.
<http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2021/enero/1.pdf>
- Pérez, R. (2018). Análisis comparativo de la productividad del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) a campo abierto y bajo invernadero en el departamento de Cundinamarca. Revista de Agricultura, 42(2), 35-44.
- Perilla. A. (2011). Estudio técnico-económico del sistema de producción de tomate bajo invernadero en Guateque, Sutatenza y Tenza (Boyacá) REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS - Vol. 5 - No. 2
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1269/1265
- Plásticos Bogotá la 14. (2022). Malla antitrips.
<https://bolsasytilosdecolombia.com.co/producto/malla-antitrips/>

Portalfrutícola.com. (2021). Plan de acción contra la mosca blanca en tus cultivos.

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/03/08/plan-de-accion-contrala-mosca-blanca-en-tus-cultivos/>

Portillo, G. (2022). Figura de cultivo aeropónico subida por Ferreira Q. Pinterest.

<https://www.pinterest.es/pin/563018694676920/>

Hidroponía.mx. (2014). Aeroponía: una técnica de otro nivel.

<http://hidroponia.mx/aeroponia-una-tecnica-de-otro-nivel>

Regióncentral. (2018). Alimentos orgánicos, un negocio para sacarle provecho en Colombia.

<https://regioncentralrape.gov.co/alimentos-organicos-un-negocio-para-sacarle-provecho-en-colombia/>

Rodríguez, H. (2009). II Congreso internacional hidroponía. Soluciones Nutritivas Hidropónicas:

Factores y criterios para su formulación. <https://drco-mag.yolasite.com/resources/Solucionesnutritivashidroponicasfactoresycriteriosparasufor-mulacion.pdf>

SAC, (2018). Periódico UNAL. Abejorros polinizadores: no se aceptan importaciones.

<https://sac.org.co/segun-concepto-tecnico-de-la-universidad-nacional-la-autoridad-nacional-de-licencias-ambientales-anla-deberia-negar-licencia-de-importacion-de-abejorros-polinizadores/>

Saldaña Alvarado, K. (2020). Influencia del NPK en plántulas de cedro colorado (*Cedrela odorata* L.) en cultivos hidropónicos con sustrato en agregados.

<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1848>

Scholthof, K. (2000). virus del mosaico del tabaco. APS.

<https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/viral/pdlessons/Pages/TobaccoMosaicspan.aspx>

Sectorial. (2021). Cultivos Orgánicos en Colombia: ¿Oportunidad Desaprovechada?

<https://www.sectorial.co/articulos-especiales/item/407730-cultivos-org%C3%A1nicos-en-colombia-%C2%BFoportunidad-desaprovechada#:~:text=Cerca%20del%2095%25%20de%20la,az%C3%BAcar%20y%20palma%20de%20aceite.>

Segrelles, J. A. (2001). Problemas ambientales, agricultura y globalización en américa latina.

Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. N.º 92.

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2202/3/Ambiente-Agric.pdfv>

Shany, M. (2007). Tecnología de producción bajo cobertura.

<https://es.slideshare.net/utzsamaj/tcnologa-de-produccin-bajo-cobertura-m-shany>

Sistemas Hortícolas Almería S.L. (2019). Antosalas: las puertas de protección del invernadero.

<https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/antosalas-puertas-proteccion-invernadero/>

Tomate Canario. (2016). La planta del tomate, el tomatero. Encuadramiento taxonómico.

<https://tomatecanario.es/la-planta-del-tomate/>

Uchoa, P. (2018). BBC NEWS ¿Puede un mundo 100% orgánico producir suficiente alimento

para toda la población? [https://www.bbc.com/mundo/noticias-](https://www.bbc.com/mundo/noticias-46511047#:~:text=%22La%20agricultura%20org%C3%A1nica%20es%20beneficiosa,salud%20p%C3%ABlica%20y%20la%20nutrici%C3%B3n%22.)

[46511047#:~:text=%22La%20agricultura%20org%C3%A1nica%20es%20beneficiosa,salud%20p%C3%ABlica%20y%20la%20nutrici%C3%B3n%22.](https://www.bbc.com/mundo/noticias-46511047#:~:text=%22La%20agricultura%20org%C3%A1nica%20es%20beneficiosa,salud%20p%C3%ABlica%20y%20la%20nutrici%C3%B3n%22.)

Villapudua, J., y Rodríguez, R. (sf). Enfermedades fungosas del suelo en tomate. Monografías.

Pag 1. <https://www.monografias.com/trabajos101/enfermedades-fungosas-del-suelo-tomate/enfermedades-fungosas-del-suelo-tomate2>

Weather Spark, (2022). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Tibacuy.

<https://es.weatherspark.com/y/25247/Clima-promedio-en-Tibacuy-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-SolarEnergy>

Willer, H., y., Lernoud, J. (Ed.). (2019). The world of organic agriculture. Statistics y emerging trends 2019. IFOAM. https://ciaorganico.net/documypublic/486_2020-organic-world-2019.pdf

Yara. (2022). Principios agronómicos en tomate. Nutrición vegetal. <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/tomate/principios-agronicos-en-tomate/>

Zárate, M. (2014). Manual de Hidroponia

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf

Zeidan, O. (2005). Tomato Production under protected conditions.

<https://fddocuments.in/document/o-zaidan-tomato-production.html?page=2>