

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de cuatro tipos de cobertura en macro túneles sobre la  
productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el  
cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el  
municipio de Sololá, departamento de Sololá

Trabajo de graduación presentado por Jeymi Mayda Yon Perechú para optar al grado  
académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología Agroforestal

Guatemala

2025



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



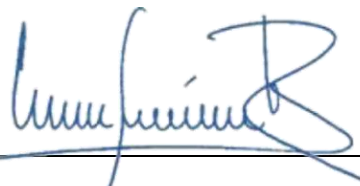
Evaluación de cuatro tipos de cobertura en macro túneles sobre la  
productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el  
cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el  
municipio de Sololá, departamento de Sololá

Trabajo de graduación presentado por Jeymi Mayda Yon Perechú para optar al grado  
académico de Licenciada en Ingeniería en Tecnología Agroforestal.

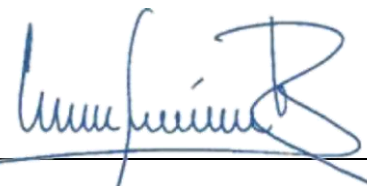
Guatemala

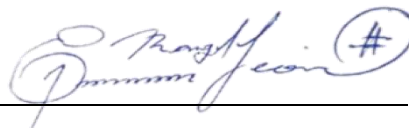
2025

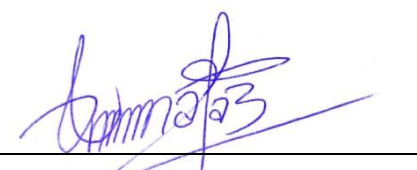
Vo. Bo.:

(f)   
Ing. For Luis Andrés Arévalo

Tribunal examinador:

(f)   
Ing. For Luis Andrés Arévalo

(f)   
Ing. Agr. Edwin de León Rangel

(f)   
M.A. Manuel Zacarías Ixmatá Guarchaj

Fecha de aprobación del examen de graduación: Guatemala 27 de noviembre de 2,025.

## PREFACIO

La elaboración del presente trabajo de tesis fue posible gracias al apoyo académico y técnico de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Altiplano, que proporcionó las condiciones necesarias para el desarrollo de la investigación titulada “Evaluación de cuatro tipos de cobertura en macrotúneles sobre la productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el municipio de Sololá, departamento de Sololá.” Este estudio se enmarca en el interés institucional de promover investigaciones aplicadas que contribuyan al fortalecimiento de la producción agrícola sostenible en el altiplano guatemalteco.

El proceso de investigación se orientó a evaluar el desempeño de distintas coberturas empleadas en sistemas de agricultura protegida, analizando su efecto sobre la productividad, la incidencia de plagas y enfermedades, y las condiciones micro climáticas del cultivo. Para ello, se implementó un diseño experimental completamente al azar, con cinco tratamientos; cuatro tipos de cobertura y un testigo a campo abierto, y se aplicaron análisis estadísticos rigurosos para determinar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Esta metodología permitió obtener resultados confiables que evidencian la influencia directa de las coberturas en la eficiencia productiva y la sanidad del cultivo.

El trabajo también integra un componente económico que complementa la evaluación técnica, proporcionando una visión integral sobre la viabilidad del uso de macrotúneles como estrategia para optimizar los recursos y mejorar la rentabilidad de los pequeños productores hortícolas. En ese sentido, la investigación ofrece información relevante que puede ser utilizada como referencia en procesos de planificación agrícola, asistencia técnica y formulación de proyectos orientados a la adaptación al cambio climático.

La culminación de esta tesis representa el resultado de un esfuerzo sostenido de aprendizaje, disciplina y compromiso con la investigación científica aplicada. Más allá del cumplimiento de un requisito académico, este trabajo busca aportar conocimiento útil al sector agro productivo y contribuir al desarrollo de alternativas tecnológicas que impulsen la sostenibilidad y la resiliencia de la agricultura guatemalteca.

Agradezco a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por haberme permitido culminar con éxito esta etapa tan importante de mi formación profesional, a él agradezco por darme la perseverancia, la salud y la guía necesaria para avanzar en cada momento de este proceso académico y personal.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y comprensión en cada jornada de estudio y trabajo, este logro también les pertenece, pues su confianza y sacrificio hicieron posible que hoy culmine este proyecto.

Extiendo mi agradecimiento al Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) del Instituto de Investigaciones y a la finca experimental de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Altiplano, por brindarme el espacio, los recursos y las condiciones necesarias para desarrollar la presente investigación, en beneficio de los productores del altiplano guatemalteco.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Luis Andrés Arévalo, asesor principal de este trabajo de tesis, por su valiosa orientación, apoyo constante y dedicación durante todo el desarrollo del proyecto, su experiencia y acompañamiento fueron fundamentales para lograr los objetivos propuestos. Así mismo, agradezco al Ing. Edwin Rangel de León, asesor de campo, por su colaboración, aportes técnicos y disponibilidad para guiarme en diferentes etapas de la investigación, a ambos, mi reconocimiento y gratitud por haber compartido su conocimiento y tiempo, contribuyendo significativamente al logro de este trabajo académico, de la misma manera mis agradecimientos al Ing. Manuel Zacarías Ixmatá, director de la carrera, por su valioso acompañamiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la documentación de este trabajo de tesis.

De manera especial, agradezco a la Asociación Vivamos Mejor-Guatemala por permitirme el tiempo necesario para dedicarme al desarrollo de esta investigación. Su comprensión y flexibilidad fueron fundamentales para que pudiera llevar a cabo este proyecto.

# Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
III. OBJETIVO DEL ESTUDIO .....	5
A. Objetivo general.....	5
B. Objetivos específicos .....	5
IV. HIPÓTESIS .....	6
A. Hipótesis nula .....	6
B. Hipótesis alternativa .....	6
V. MARCO TEÓRICO .....	7
A. Antecedentes .....	7
B. Cultivo de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ).....	9
1. Origen.....	9
2. Sistema radicular .....	10
3. Tallo principal .....	10
4. Hojas .....	10
5. Inflorescencia .....	10
6. Fruta .....	10
7. Polinización.....	11
8. Variedad Retana .....	11
C. Requerimientos agroclimáticos.....	11
1. Temperatura .....	11
2. pH.....	11
3. Humedad .....	12
D. Plagas .....	12

1.	Trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ).....	12
2.	Araña roja ( <i>Tetranychus urticae</i> ).....	12
3.	Pulgones .....	12
4.	Ácaro del tomate ( <i>Polyphagotarsonemus latus</i> ) .....	13
5.	Mosca blanca ( <i>Bemisia spp</i> ).....	13
E.	Enfermedades.....	13
1.	Marchitez bacteriana ( <i>Ralstonia solanacearum</i> ).....	13
2.	Raíz podrida ( <i>Rhizoctonia solani</i> ).....	13
3.	Pudrición gris ( <i>Botrytis cinerea</i> ).....	14
4.	Tizón temprano ( <i>Alternaria solani</i> ) .....	14
5.	Tizón tardío ( <i>Phytophthora infestans</i> ) .....	14
6.	Virus del bronceado del tomate (TSWV).....	15
7.	Virus del rizado amarillo rugoso de la hoja de tomate (ToRYLCV).....	15
8.	Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV).....	15
F.	Agricultura protegida.....	15
2.	Beneficios.....	16
3.	Estructuras empleadas en agricultura protegida.....	16
4.	Tipos de cubierta .....	16
5.	Manejo.....	17
VI.	MARCO REFERENCIAL .....	18
A.	Ubicación del estudio.....	18
VII.	MARCO METODOLOGICO .....	20
A.	Diseño experimental del estudio.....	20
B.	Plan experimental .....	21
C.	Variables .....	21

1.	Variables independientes.....	21
2.	Variables dependientes.....	21
D.	Tratamientos .....	26
1.	Tratamiento 1: paredes y techo de malla antiviral.....	27
2.	Tratamiento 2: paredes y techo de agril .....	27
3.	Tratamiento 3: Techo de plástico con laterales descubiertos.....	27
4.	Tratamiento 4, testigo absoluto-Campo abierto .....	27
5.	Tratamiento 5: Malla más plástico.....	28
VIII.	RESULTADOS .....	29
A.	Incidencia de artrópodos .....	29
B.	Severidad de artrópodo mosca blanca ( <i>Bemisia tabaci</i> ).....	31
E.	Incidencia de enfermedades.....	32
F.	Severidad de enfermedades .....	34
G.	Productividad de tomate .....	35
H.	Calidad de frutos representado en mm de diámetro. ....	37
IX.	IX DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
A.	Microclima.....	49
1.	incidencia y severidad de artrópodos .....	54
2.	Incidencia y severidad de enfermedades .....	59
3.	Productividad/Rendimiento.....	63
4.	Calidad de tomate.....	65
X.	CONCLUSIONES.....	77
XI.	RECOMENDACIONES .....	79
XII.	CRONOGRAMA .....	82
XIII.	ANEXOS .....	84

XIV.	BIBLIOGRAFÍA .....	105
------	--------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Grafica de incidencia de artrópodos.....	29
Figura 2 Grafica de severidad de artrópodos.....	31
Figura 3 Grafica de incidencia de enfermedades.....	2
Figura 4 Grafica de severidad de enfermedades.....	34
Figura 5 Grafica de productividad de tomate .....	36
Figura 6 T1 Malla, gráfica de calidad en tamaño de tomate .....	37
Figura 7 T2 Agryl, gráfica de calidad en tamaño de tomate .....	38
Figura 8 T3 techo de plástico, gráfica de calidad en tamaño de tomate.....	39
Figura 9 T4 campo abierto-gráfica de calidad en tamaño de tomate.....	41
Figura 10 T5 Malla con plástico de calidad en tamaño de tomate .....	42
Figura 11 Gráfica de microclima.....	51
Figura 12 Incidencia y severidad de artrópodos.....	54
Figura 13 Incidencia de artrópodos .....	55
Figura 14 Severidad de artrópodos .....	57
Figura 15 Incidencia y severidad de enfermedades.....	59
Figura 16 Incidencia de enfermedades .....	59
Figura 17 Severidad de enfermedades.....	61
Figura 18 Rendimiento .....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Croquis.....	84
Anexo 2 Propia extraída de SketchUp.....	84
Anexo 3 Preparación de terreno .....	84
Anexo 4 Delimitación de las unidades experimentales e identificación de plantas indicadoras.....	85
Anexo 5 Siembra .....	85
Anexo 6 Manejo agronómico (Fertilización, tutorado, limpieza, aplicaciones químicas, ...	86
Anexo 7 lecturas .....	86
Anexo 8 Esporangios de ( <i>Phytophthora infestans</i> ).....	86
Anexo 9 Esporas de ( <i>Botrytis</i> sp.).....	87
Anexo 10 Esporas semejantes a ( <i>Fusarium</i> sp.).....	87
Anexo 11 Bitácora de fichas de lecturas .....	88
Anexo 12 Bitácora de registro de artrópodos .....	89
Anexo 13 Cosecha.....	91
Anexo 14 Diagrama de severidad de enfermedades.....	93

## RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de cuatro tipos de cobertura en estructuras de macrotúnel sobre la productividad, incidencia y severidad de plagas y enfermedades en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el municipio de Sololá, Guatemala. Se implementó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos: malla, agryl, techo plástico, malla con plástico y un testigo a campo abierto, cada uno con cuatro repeticiones.

Las variables evaluadas incluyeron parámetros agronómicos (altura de planta, rendimiento y calidad de fruto), sanitarios (incidencia y severidad de artrópodos y enfermedades), condiciones micro climáticas (temperatura y humedad relativa) y un análisis de rentabilidad económica. Los datos fueron recolectados de manera quincenal y procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias con el software InfoStat.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. La cobertura de malla con plástico presentó la menor incidencia y severidad de artrópodos, así como valores bajos en la incidencia de enfermedades. En términos de productividad, los mayores rendimientos se obtuvieron con techo plástico y malla con plástico, superando significativamente al campo abierto y a las demás coberturas.

El análisis de calidad no evidenció diferencias marcadas en todos los casos, aunque algunos tratamientos mostraron frutos de mayor tamaño comercial. El comportamiento del microclima explicó parte de estas diferencias, ya que cada cobertura modificó las condiciones de temperatura y humedad en el interior de los túneles.

En conclusión, los resultados confirman que el uso de coberturas en agricultura protegida mejora significativamente la sanidad, productividad y rentabilidad del cultivo de tomate en Sololá. Entre las alternativas evaluadas, la combinación de malla y plástico mostró los mejores resultados frente al cultivo a campo abierto.

# I. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional, el tomate se posiciona como séptimo lugar entre los cultivos de mayor demanda, impulsado por los retornos económicos que ofrece a los productores, de esta forma este cultivo genera empleo y oportunidades para la población rural, contribuyendo significativamente a la economía guatemalteca. Según el Centro Regional de Investigación Agrícola CRIA (2022), “anualmente se generan divisas por un valor aproximado de 20 millones de dólares estadounidenses, equivalente a Q 154,089,280.00.”

De acuerdo con la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2022), en 2021 se registró un rendimiento promedio de 86,528 kg/ha. La superficie cultivada se distribuye principalmente en los siguientes departamentos: “Baja Verapaz con 2,306.38 ha (32.52%), Jalapa con 1,856.12 ha (26.19%), Jutiapa con 1,151.58 ha (16.25%), Chiquimula con 786.05 ha (11.09%), Alta Verapaz con 629.42 ha (8.88%), Santa Rosa con 258.81 ha (3.65%) y Guatemala con 99.00 ha (1.40%).” Esta distribución refleja la relevancia del tomate en la agricultura nacional, fomentando la estabilidad socioeconómica en regiones productoras.

No obstante, la producción en campo abierto enfrenta limitaciones asociadas a la variabilidad climática, la cual favorece la proliferación de plagas y enfermedades, generando pérdidas en rendimiento y calidad de fruto, e incluso pérdidas totales en algunos casos Allende (s. f.). Factores como la temperatura elevada y la humedad relativa alta constituyen condiciones críticas que afectan el desarrollo del cultivo y reducen su rentabilidad.

Ante este escenario, la agricultura protegida surge como una alternativa tecnológica que permite mitigar riesgos y mejorar la eficiencia productiva. El empleo de estructuras como macrotúneles contribuye a modificar el microclima, reduciendo la incidencia de artrópodos y enfermedades, y favoreciendo la calidad e inocuidad de la fruta. Estos sistemas representan una opción viable para incrementar la resiliencia productiva frente a escenarios de cambio y variabilidad climática.

Por consiguiente, la investigación propuesta se centró en la evaluación comparativa de cuatro tipos de cubiertas en macrotúneles para optimizar el desarrollo del cultivo de tomate. Este estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus

Altiplano, ubicado en el departamento de Sololá. Los parámetros evaluados incluyeron: productividad, calidad del fruto, incidencia y severidad de artrópodos y enfermedades, variables micro climáticas como temperatura, humedad relativa y viabilidad económica con el objetivo de generar datos empíricos y recomendaciones técnicas que ofrezcan alternativas innovadoras para mejorar la producción de tomate, fomentando prácticas agrícolas resilientes y rentables para los productores de la región.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tomate es un cultivo con una trascendencia social y nutricional, al ser una fuente básica de alimentación que contribuye de manera significativa a la seguridad alimentaria. Su producción también tiene importancia económica, ya que involucra a un alto número de familias en las fases de cultivo, cosecha y comercialización, generando empleo e ingresos tanto en el ámbito rural como urbano.

A nivel departamental, en Sololá se ha documentado la rentabilidad del cultivo. Porres et al. (2015) reportaron que los productores de tomate alcanzan márgenes de ganancia cercanos al 42%, aunque este valor puede variar según la metodología de producción utilizada. Esto refleja que, pese a ser un cultivo con potencial económico, la rentabilidad depende en gran medida de las condiciones de manejo y del entorno productivo.

En los últimos años, la variabilidad climática y los eventos extremos como canículas y lluvias torrenciales han modificado los patrones de lluvia y temperatura en la región. Estos cambios reducen progresivamente las áreas aptas para la producción agrícola y favorecen la proliferación de plagas y enfermedades, lo que se traduce en pérdidas de rendimiento y calidad, el Ministerio de Agricultura de Guatemala ha señalado que estos factores han provocado reducciones sostenidas en los rendimientos de tomate a nivel nacional MAGA (2017),

De igual manera, el CATIE reporta que los agricultores en Guatemala, Honduras y El Salvador perciben que la temporada de lluvias se ha acortado entre dos y seis semanas en los últimos años, lo cual afecta directamente los calendarios agrícolas y la productividad de los cultivos. Esta percepción coincide con la necesidad de implementar estrategias de adaptación, como la asistencia técnica, el registro de costos de producción y la innovación en sistemas agrícolas, CATIE (2023).

Una de las medidas más utilizadas ha sido la agricultura protegida, ya que permite mitigar los efectos de la variabilidad climática y reducir la exposición del cultivo a plagas y enfermedades. Según Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER (2020), los beneficios adicionales como el ahorro de agua, la generación de empleos, el acceso a productos de mayor inocuidad y la posibilidad de producir fuera de temporada, lo cual incrementa la rentabilidad para los agricultores.

Sin embargo, para aprovechar estas ventajas es fundamental seleccionar adecuadamente el tipo de cobertura, la ventilación, la variedad de tomate y el manejo de factores como la temperatura y la humedad. Estos elementos inciden de manera directa en el microclima de las estructuras protegidas y, por ende, en la productividad y la rentabilidad del cultivo.

Bajo este contexto, surge la necesidad de determinar cuál de los cuatro tipos de cobertura en macrotúneles, frente al cultivo a campo abierto, ofrece mejores resultados en el municipio de Sololá. Esta investigación busca dar respuesta a esa interrogante, aportando información técnica que contribuya a la toma de decisiones de productores y técnicos agrícolas frente a las amenazas climáticas y fitosanitarias que enfrenta el cultivo de tomate.

### III. OBJETIVO DEL ESTUDIO

#### A. Objetivo general

Evaluar cuatro tipos de cobertura en macro túneles sobre la productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el municipio de Sololá, departamento de Sololá.

#### B. Objetivos específicos

1. Identificar el efecto del tipo de cobertura sobre la incidencia y severidad de artrópodos y enfermedades.
2. Determinar el efecto del tipo de cobertura sobre la productividad y calidad de tomate.
3. Determinar el efecto del tipo de cobertura sobre el microclima
4. Analizar la viabilidad económica de la producción de tomate bajo cada tipo de cobertura.

## IV. HIPÓTESIS

### A. Hipótesis nula

Ho: Ninguno de los cuatro tipos de cobertura de macrotúnel tiene diferencia significativa sobre la productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el cultivo de tomate.

### B. Hipótesis alternativa

Ha: Al menos uno de los cuatro tipos de cobertura de macrotúnel tiene diferencia significativa sobre la productividad y severidad de artrópodos y enfermedades en el cultivo de tomate.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Antecedentes

En una investigación realizada sobre los efectos del injerto en la tolerancia a enfermedades de (*Solanum lycopersicum L*) bajo condiciones de invernadero en las localidades de San Marcos en Guatemala, Díaz et al (2018) “mencionan que al utilizar variedades mejoradas bajo condiciones de agricultura protegida no es suficiente para optimizar los rendimientos de producción.”

El microclima dentro de las estructuras está ligado a la incidencia y severidad de enfermedades, por lo que recomienda continuar con investigaciones para conocer sobre otros posibles efectos que se puedan tener derivado del uso de materiales injertados, con la finalidad de generar materiales tolerantes que contribuyan al incremento de la producción del cultivo de tomate disminuyendo el uso de agroquímico, costos de producción sin comprometer la rentabilidad, ya que un tratamiento puede ser mejor que otro, sin embargo los costos de inversión en infraestructura pueden ser altos.

Según Rodríguez et al. (2017) en su investigación sobre la evaluación de cultivares de tomate con resistencia a marchitez bacteriana, en dos localidades del departamento de Chiquimula, se construyeron estructuras tipo túnel con cubierta malla antiviral para evitar el ingreso de insectos vectores de enfermedades, y mantener un microclima que beneficiará el mejor desarrollo del cultivo, sin embargo, a pesar de estar herméticamente cerrado en sus cuatro costados, con puerta de entrada en uno de ellos, la severidad de marchitez bacteriana seguía siendo alta, ya que el microclima generado favorecía la proliferación de la enfermedad.

Pérez (2019) menciona que “en el cultivo de tomate es afectado por begomovirus, los cuales son transmitidos por mosca blanca (*Bemisia tabaci*) el cual supera ampliamente las pérdidas económicas para ello es necesario el buen manejo de la estructura utilizada para reducir los daños de este insecto en la producción ya que su distribución e incidencia está directamente asociada a la distribución y dinámica poblacional de su vector y sus biotipos”, a pesar de los esfuerzos para el control de la mosca blanca, esta plaga continúa causando pérdidas significativas de rendimiento y afectando a más regiones agrícolas.

Los daños que causan se deben tanto al efecto del insecto en las plantas atacadas y a su papel como vectores de enfermedades virales, en su alimentación, la mosca blanca provoca un debilitamiento en la planta por la extracción de nutrientes, afectan el crecimiento y producción del cultivo, desórdenes fisiológicos y la transmisión de virus.

Para ello, Rodriguez et al. (2017) plantearon una evaluación para el estudio de tolerancia a enfermedades, dicha evaluación de cuatro híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) tipo roma, bajo macrotúnel, Villa Nueva, Guatemala, evaluando la relación beneficio costo de los cuatro híbridos sometidos a evaluación bajo condiciones protegidas de macrotúnel son rentables, sin embargo al cultivar el híbrido Helios se alcanza una relación beneficio costo de Q 1.44, lo cual indica que por cada quetzal invertido en el proyecto se obtiene un beneficio de 44 centavos, seguida por el cultivar Ew 821 que presentó una relación de 3.43.

Los tratamientos evaluados se analizaron por medio del criterio relación benéfico-costos, se determinó mediante un análisis económico de los cuatro híbridos y la cobertura, la cual se realizó por ciclo de producción tomando en consideración que la vida útil de la malla antiviral es de cinco años.

Es evidente que por los factores del clima, la producción de tomate ha tenido un mayor riesgo de plagas y una reducción en rendimiento, lo cual lo posiciona como un cultivo con dificultades de rentabilidad, para ello en su investigación sobre análisis financiero de la implementación de macrotúneles con diversos tipos de cobertura en la producción de tomate, en el valle de Salamá, baja Verapaz donde se evaluaron los costos de producción de tomate por unidad de área (Q/ha), con macro túnel con relación al tipo de cobertura, Sel (2022).

Mencionando que para alcanzar un punto de equilibrio se necesita producir en macro túneles de malla anti vector 78,460 kg/ha de frutos, con ingreso total y un costo igual a Q. 223,453.00 y para macro túneles de agrípon, 76,880 kg/ha de frutos, con ingreso total y un costo igual a Q. 218,958.64 y evaluar mallas de mayores y menores densidades de hilos para cubiertas de macro túneles que contribuye eficazmente al control de plagas, Sel (2022).

En su estudio sobre la Evaluación agroeconómica del uso de cobertores de polipropileno en macrotúnel, para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*), en tres épocas del año, en el valle de Chiquimula. Villeda (2017) menciona que “en la actualidad la nueva modalidad de producción de tomates con la introducción de coberturas flotantes para las plantas (micro y macrotúneles) con telas no tejidas a base de polipropileno, sirviendo como barrera física para Áfidos y Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*).”

Es necesario conocer la viabilidad y estabilidad económica del uso de cobertura, especialmente en diferentes épocas del año, concluyendo que las condiciones de temperatura y humedad relativa del macrotúnel mostraron favorecer al desarrollo de la planta, obteniendo mayores alturas, menor número de días a floración y mayor cantidad de racimos florales, en cuanto al manejo, el macrotúnel ejerció un mejor control de plagas, debido a que registró menor cantidad de plantas viroticas, Villeda (2017).

## B. Cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Familia: Solanaceae

Género: Solanum

Especie: (*Solanum lycopersicum*)

### 1. Origen

Es un cultivo originario de América, más específicamente de la zona andina de Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, desde donde se extendió al resto de América del Sur y a América Central. Los españoles apreciaron rápidamente las cualidades organolépticas del tomate, que ya se consumía en México desde hace 700 años. Su introducción en Europa se produjo en el siglo XVI, CRIA (2022).

## 2. Sistema radicular

La planta está sujeta a una raíz de clasificación pivotante, en donde presenta una raíz principal que alcanza generalmente una profundidad de 50 a 60 cm de profundidad y seguidamente lignificado por un conjunto de raíces secundarias abundantes, estas tienen la capacidad de asociarse simbióticamente con bacterias del suelo, del género *Rhizobium* Guzmán (2023).

## 3. Tallo principal

Contiene un tallo ramificado con un tallo principal de un grosor que oscila entre los 2-4 cm, sobre esta salen otros ejes donde se van desarrollando las hojas y los frutos, al inicio del desarrollo es erecto, posteriormente se inclina por el peso de los frutos por lo que resulta necesario tutorarlo, llega a medir hasta 2.5 m dependiendo de la variedad utilizada, Guillermo (2007).

## 4. Hojas

Las hojas son de clasificación compuestas imparipinadas, forma palmatisecta, que contiene una nervadura principal y de ellas se desglosa los nervios secundarios con pecíolo de 1.5-6 cm y con folíolos que miden 4-60 por 3-40 mm, ovados, obtusos, pecioalados, enteros o lobados, muy desiguales, alternos, subopuestos u opuestos, en general verdes, glanduloso y pubescentes por el haz, cenicientos y tomentosos por el envés, Guillermo (2007).

## 5. Inflorescencia

La inflorescencia en la planta de tomate es una cima racimosa que está compuesta usualmente de dos a 12 flores perfectas (hermafroditas). La flor tiene un diámetro de alrededor de 1.90 centímetros que posee una corola amarilla en forma de estrella con seis pétalos. En algunos cultivares las flores tienen cinco sépalos y cinco pétalos. Usualmente la flor tiene seis estambres cuyas anteras amarillas están unidas para formar un tubo; rodeado por éstas se encuentra el pistilo, CUNORI (2020).

## 6. Fruta

La fruta es una baya carnosa, dividida en su interior en dos a 18 lóculos o celdas, presenta una variación en tamaño entre cultivares desde los 3 hasta 15 cm de diámetro, la superficie de la fruta es lisa o lobulada, y brillante al madurar, la fruta bien joven presenta en

su superficie una leve vellosidad que luego desaparece, forma usualmente globosa o deprimida en uno de los extremos, CUNORI (2020).

#### 7. Polinización

Según Fornaris (s. f.) “la anthesis apertura total de la flor ocurre durante el día, 24 horas después se inicia la salida del polen”. Este aparece en el lado interno de las anteras y por la posición pendiente de la flor el polen cae directamente sobre la superficie del estigma, al abrirse, las flores están receptivas a la polinización durante cuatro a ocho días, Según Fornaris (s. f.).

#### 8. Variedad Retana

Es un tomate de coloración rojo intenso fruto saladette alargado, uniforme y firme, ideal para transportarlo a largas distancias, con un peso de 90 a 120 gr, resistente a virus del mosaico del tomate (ToMV), (*Fusarium oxisporum*), virus bronceado del tomate (TSWV), Nematodo (*Meloidogyne incógnita*) y alto potencial de producción, Aldana (2022).

### C. Requerimientos agroclimáticos

#### 1. Temperatura

Necesita un período entre 3 y 4 meses entre su establecimiento y la cosecha del primer fruto. La temperatura media mensual óptima para su desarrollo varía entre 21 y 24°C, aunque se puede producir entre los 18 y 25°C. Cuando la temperatura media mensual sobrepasa los 27°C, las plantas de tomate no prosperan. Temperaturas sobre los 30-35 °C afectan directamente la fructificación, por mal desarrollo de óvulos, de la planta en general y del sistema radicular en particular, CUNORI (2020).

Las temperaturas inferiores a 12 - 15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta y pueden provocar frutos deformes. En general, con temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula, la maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, CUNORI (2020).

#### 2. pH

El tomate es moderadamente tolerante a la acidez del suelo; puede tolerar un pH de hasta 5.5, aunque el pH ideal del suelo para el cultivo es de 6.0 a 6.8. Niveles de pH menores de

5.5 pueden afectar la disponibilidad de algunos nutrientes tales como el calcio y el fósforo que son dos elementos importantes para el correcto desarrollo del cultivo, Martínez (2012).

### 3. Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre 60-80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores.

El rajado del fruto igualmente puede tener su origen desde el exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico, de la misma forma una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor, Infoagro (s. f.).

## D. Plagas

### 1. Trips (*Frankliniella occidentalis*).

Los principales daños de la plaga se producen a partir de huevos que generalmente lo hacen en las flores y las primeras larvas que se alimentan picando los tejidos, para extraer los jugos celulares. Estas picaduras producen en las hojas manchas plateadas.

Para ello es necesario un monitoreo de los botones florales, lugar donde las hembras depositan los huevos en el interior de los tejidos, provocando heridas que secan la zona afectada, además pueden aparecer agallas, que posteriormente pueden tener repercusión en la calidad de los frutos, Syngenta (2021).

### 2. Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Se colonizan en el envés de la hoja debido a que son insectos sensibles a la radiación solar, su principal síntoma es la aparición de telarañas en la planta indicando que el daño de la plaga ya es relativamente significativo, posee un aparato bucal succionador que lo permite alimentarse del contenido celular de la hoja ocasionando la formación de manchas pálidas, a medida que el daño vaya aumentando la hoja va adquiriendo un tono plateado, Álvarez (s. f.).

### 3. Pulgones

Son una plaga que debilitan la planta, ya que estos se alimentan directamente de la savia, ya sea en la etapa de almaciguera, o trasplante al aire libre, debido a estos daños las plántulas afectadas quedan sensibles ante el ataque de otras plagas y enfermedades.

En ataques intensos puede afectar la fotosíntesis, puesto que los pulgones pueden excretar exceso de mielecilla favoreciendo el desarrollo de fumagina, la mayor importancia y problemática de estos se debe a la capacidad de transmitir virus, Salas, et al. (2016).

#### 4. Ácaro del tomate (*Polyphagotarsonemus latus*)

Se alimenta del contenido celular de las hojas, de esta manera causando deformaciones y reduciendo la capacidad fotosintética de la planta, que va adquiriendo un color marrón oxidado y las hojas se van curvando ligeramente, con un brillo plateado en el envés, los daños se observan primero en las partes inferiores de las plantas y se desplazan hacia arriba cuando los ácaros van ascendiendo, Porres (2024).

#### 5. Mosca blanca (*Bemisia spp*)

La mosca blanca es un insecto que ataca a las plantas succionando la savia de estas, también se puede ubicar en los tallos de las plantas, en este contexto los daños pueden ser muy graves ya que debilita el desarrollo de manera más radical, cuando las poblaciones se incrementan se produce por la secreción de la melaza debido a la excreción de azúcares que generan después de asimilar el nitrógeno lo que provoca una asfixia vegetal, dificultad para que se efectúe la fotosíntesis y portadora de virus, ICTA (s. f.).

### E. Enfermedades

#### 1. Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*)

Es un síntoma visible de la enfermedad forma el marchitamiento de hojas en la parte superior de la planta durante las horas de calor con recuperación por la noche, manifestándose también amarillamiento de hojas.

En algunas ocasiones se observa una decoloración parda vetada de los tallos, que puede afectar a los ramilletes florales en tomate, cuando se corta el tallo, se observa un oscurecimiento de los haces vasculares y exudado bacteriano en los mismos, en condiciones óptimas de 29 a 35 g el desarrollo de la enfermedad produce un rápido colapso para la planta, Patrice (2009).

#### 2. Raíz podrida (*Rhizoctonia solani*)

Es un hongo patógeno de distribución mundial asociado a enfermedades de raíces de diferentes cultivos; ocasiona pérdidas económicas importantes en plantas perennes y

anuales, aislados pueden infectar en un rango de 19° C a 30 °C. Sin embargo, algunos aislados pueden permanecer activos a temperaturas que alcanzan los 30° La enfermedad es más severa en suelos moderadamente húmedos que en suelos secos o bajo condiciones favorables desarrollándose también bajo condiciones de luz continua directa SENASICA (s. f.).

### 3. Pudrición gris (*Botrytis cinerea*)

Se desarrolla en cualquier estado del cultivo, el patógeno es favorecido por condiciones de alta humedad y temperaturas cercanas a los 20°C, se pueden manifestar en pecíolos, tallos, hojas y frutos, dañados o senescente, apareciendo lesiones acuosas primeramente en el tallo y luego aparecen lesiones cancrosas y necróticas de color café claro, las que pueden estrangular el tallo parcial o totalmente, Sepulveda (s. f.).

### 4. Tizón temprano (*Alternaria solani*)

Ataca la parte aérea de la planta en todos sus estados de crecimiento y desarrollo, siendo las hojas maduras las que presentan una mayor incidencia de la enfermedad, los síntomas se caracterizan por lesiones circulares de color café a negro en hojas maduras, Sepulveda (s. f.).

Estas lesiones pueden estar rodeadas de un halo clorótico, lesiones circulares con un diámetro que varía entre 8 y 10 mm y pueden alcanzar varios centímetros cuando las condiciones climáticas son favorables, comprometiendo gran parte de la planta y adquiriendo un aspecto de tizón o quemado, Sepulveda (s. f.).

### 5. Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Es un hongo que coloniza en humedades de 90% y temperaturas entre 18 a 20 C, dando aparición en épocas de verano, presentando síntomas de color marrón a partir de los márgenes y la punta de la hoja, en los climas húmedos en las lesiones deja formado un moho gris a blanco, a medida que va aumentando la enfermedad la hoja adquiere un color marrón, se enrolla y se seca, de la misma forma apareciendo en los tallos, las ramas y pecíolos de la planta, Plantix (s. f.).

#### 6. Virus del bronceado del tomate (TSWV)

Es un virus transmitido principalmente por trips que son las que actúan como vectores cuando se alimentan de la planta, de esta manera se estarán formando manchas cloróticas o necróticas en las hojas en forma de anillos, en el fruto surge una reducción de su tamaño y deformación, Farmonaut (2024).

#### 7. Virus del rizado amarillo rugoso de la hoja de tomate (ToRYLCV)

Es un virus transmitido principalmente por mosca blanca, el síntoma se manifiesta por la reducción de crecimiento de la planta, abarquillamiento y la decoloración de las manchas cloróticas en las hojas, para ello el control inicia desde la acción ante la mosca blanca para evitar la transmisión de la misma, Romano, et al. (2020).

#### 8. Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV)

Es una enfermedad causada por geminivirus, se manifiesta cuando la planta tiende achaparrarse y las hojas tienden a arrugarse y encorvarse de los márgenes hacia arriba, formándose como cuchara, en casos más severos el aborto de las flores, Guerrero et al. (2016)

### F. Agricultura protegida

La agricultura protegida es una tecnología de producción agrícola en distintos espacios manejados bajo condiciones controladas de: temperatura, humedad, precipitación pluvial, heladas, plagas y enfermedades, etc. De esta manera se estará minimizando el impacto de estas condiciones en el cultivo, el cual tienden a ser de distintas instalaciones dependiendo de la finalidad del productor.

#### 1. Agricultura protegida en Guatemala

En Guatemala se ha vuelto una de las tecnologías con significativo avance, ya que la producción bajo este tipo de estructuras se tiende a tener una producción mejorada mucho mayor que al producir a campo abierto hasta un 80%, bajo este contexto se comprende que trae consigo beneficios como: ahorro de agua, generación de empleos, mayor disponibilidad de alimentos, productos con mayor calidad, un mejor control de la producción, la oportunidad de cultivar productos fuera de sus respectivas temporadas y mejoras en ganancias para los productores, Gomez (2021).

## 2. Beneficios

Según la Asociación de Organizaciones de los Cuchumatanes, las ventajas de la utilización de agricultura protegida son las siguientes:

- a. La disminución de la proliferación de plagas y enfermedades de esta manera se tiende a tener una mínima pérdida de la producción ya que es una estructura cerrada que limita la entrada de algunos patógenos.
- b. La obtención de una productividad elevada y constate.
- c. Se realiza una mayor eficiencia en uso de tierra, insumos y mano de obra.
- d. Mejora el control de las condiciones fitosanitarias como requisitos para cumplir en el mercado.
- e. Reducción de la vulnerabilidad y del riesgo asociado a condiciones meteorológicas adversas que afectan negativamente a los cultivos y la calidad del producto.
- f. Genera la sostenibilidad alimentaria y empleo para las personas.

## 3. Estructuras empleadas en agricultura protegida

- a. Invernadero: Es una estructura alta y fija que permite controlar condiciones meteorológicas construidas con materias como vidrio, plástico o policarbonato.
- b. Malla sombra: Es una estructura que se emplea para disminuir la cantidad de energía radiante en los cultivos, utilizando tejidas de plástico con entramados de cuadros de diferentes tamaños.
- c. Macrotúnel: Son estructuras que a diferencia del invernadero se puede movilizar y utilizar diferentes tipos de cubierta, para la producción de hortalizas que se protegen de lluvias, temperatura o patógenos, López et al. (2011).

## 4. Tipos de cubierta

Los macrotúneles pueden tener diferentes tipos de cubierta, como plástico transparente, malla antiviral, polietileno difuso de alta densidad, o policarbonato, malla antiáfidos, sarán, y agryl, Ruano (2021).

### a. Malla Antivirus:

Las telas anti insectos y antivirus, fabricadas con polipropileno representan una innovación crucial en la protección y seguridad en entornos diversos. Estos productos

ofrecen beneficios multifacéticos, siendo altamente eficaces tanto en la prevención de intrusiones de insectos como en la reducción del riesgo de transmisión de virus, Ruano (2021).

- b. Polietileno: Por sus características el plástico blanco funciona como un filtro que ayuda a evitar la quema de los cultivos de hortalizas que se produce por la exposición prolongada a los Rayos UV.
- c. Policarbonato: Por la coloración del policarbonato incide de manera directa en la cantidad de radiación que reciben las plantas, por su color claro permite que haya una mayor transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR), lo que favorece el desarrollo foliar y el rendimiento de frutos.

Agryl: Es una estructura de bajo costo y ligero, asegurando una producción de cultivos, evitando la aparición de virus y otros efectos, su coloración baja la intensidad de la luz solar accediendo a un mejor desarrollo de las plantas, Ruano (2021).

## 5. Manejo

- a. Ventilación: Para poder general ventilación en la estructura el manejo de las ventanas cenitales o paredes laterales son muy importantes para reducir la temperatura, orientando estas al barlovento para conseguir entre 35 a 60% más de circulación del aire.
- b. Temperatura: Para el control de temperatura se pueden emplear métodos como el uso de paredes que se puedan abrir, ventiladores o el tipo de cobertura esto dependiendo de la especie que se esté trabajando.
- c. Agua: Es indispensable para la producción, ya que se debe de mantener una humedad adecuada y bien distribuida en las plantas.
- d. Luz solar: Asegurar que la estructura este orientado de manera que no sólo reciba la mayor cantidad de luz solar, si no que ésta también tenga la oportunidad de distribuirse adecuadamente entre las hileras durante el día.
- e. Orientación: norte a sur la cual permite hileras más largas, comerciables y mayor uniformidad en la distribución de luz solar.
- f. Manejo de Plagas: El manejo de las plagas en los macrotúneles es de suma importancia para poder obtener los rendimientos deseados, ya que un descuido en el

control de las poblaciones puede llegar a causar daños económicos debido a que suelen ser estructuras cerradas, Ruano (2021).

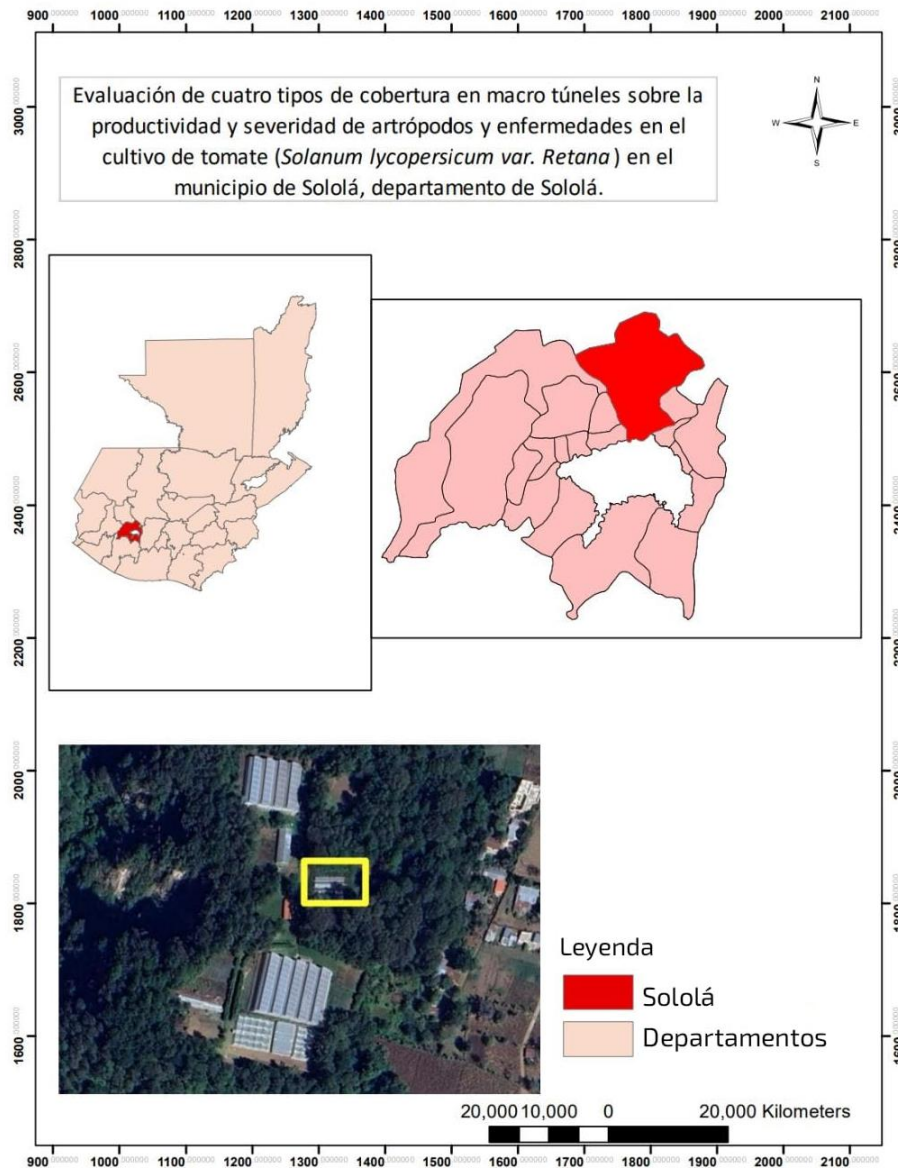
## VI. MARCO REFERENCIAL

### A. Ubicación del estudio

País de Guatemala, región del Altiplano Occidental, altitud promedio: entre 500 y 3,500 msnm, con un clima templado-húmedo de montaña, con variaciones micro climáticas por altitud con una temperatura promedio anual: 16–22 °C, precipitación anual: 1,500–2,500 mm, estación lluviosa: mayo a octubre y estación seca en los meses de noviembre a abril, Quiñonez (2018).

Figura 1. Mapa del municipio

Elaboración: propia, extraída de ArcGIS



El municipio de Sololá, según Quiñonez (2018), se encuentra a una altitud de 2114 msnm el cual cuenta con un clima que varía según la región, en el área del altiplano y central, su clima es frío y la parte baja, o sea a las orillas del lago, es templado. La temperatura mínima promedio anual registrada es de 9.1°C, los meses con menor temperatura son enero y febrero con 5.0 y 6.1°C.

Con base a la clasificación agrológica de Guatemala USDA, el uso potencial del suelo establece que 10,157.59 hectáreas, equivalentes al 9.58% del territorio del departamento de Sololá, pueden ser dedicadas a labores agrícolas; el 12.92% son tierras no cultivables, salvo para cultivos perennes y de montaña; el 30.36% son para fines de uso o explotación forestal.

## VII. MARCO METODOLOGICO

### A. Diseño experimental del estudio

Para evaluar el efecto de cuatro tipos de cubiertas en macrotúneles y un testigo absoluto en campo abierto sobre la productividad, así como la incidencia y severidad de artrópodos plaga y enfermedades en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana), se implementó un diseño experimental completamente al azar (DCA).

Dicho diseño incluyó cinco tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en cuatro materiales de cobertura para macrotúneles (especificados según sus propiedades físicas, como transmisión lumínica y permeabilidad térmica) y un control a campo abierto sin cobertura.

El análisis estadístico fue de tipo inferencial, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , lo que corresponde a un error tipo I del 5% y un nivel de confianza del 95%. La comparación de medias entre tratamientos se realizó mediante la prueba de Fisher (LSD, Diferencia Mínima Significativa) para identificar diferencias significativas en las variables respuesta, el análisis se procesó utilizando el software estadístico InfoStat, garantizando la robustez de los resultados mediante la verificación de supuestos estadísticos (normalidad y homogeneidad de varianzas).

El modelo aplicado de DCA está dado por la expresión condensada en la Ecuación

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = la respuesta obtenida a partir de la unidad experimental (planta) que recibe el tratamiento

$i$  (tipos de coberturas y campo abierto: A, B, C, D y E) de en la  $j$ -ésima repetición.

$\mu$  = el promedio general del conjunto de datos de la muestra.

$\tau_i$  = el efecto del tratamiento  $i$ : A, B, C, D y E

$\varepsilon_{ij}$  = error aleatorio

## B. Plan experimental

El estudio implementó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos, correspondientes a cuatro macrotúneles con diferentes tipos de cubiertas y un testigo a campo abierto, cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, totalizando 20 unidades experimentales. Este diseño permitió evaluar el efecto de las cubiertas sobre la productividad, la incidencia y severidad de artrópodos y enfermedades, y las condiciones micro climáticas en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el campo experimental de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Altiplano, Sololá.

### Unidades Experimentales

Cada unidad experimental tuvo una superficie de 18.37 m<sup>2</sup> (5.25 m de largo × 3.5 m de ancho), las cuatro repeticiones por tratamiento se plantearon de forma continua, conformando un área total de 73.5 m<sup>2</sup> por tratamiento (18.37 m<sup>2</sup> × 4 repeticiones).

## C. Variables

### 1. Variables independientes

Riego: aplicación intencional y controlada de agua a un suelo o cultivo para suplir sus necesidades hídricas y favorecer su desarrollo.

Fertilización: Aplicación de nutrientes esenciales para las plantas, para el mejoramiento de su desarrollo y rendimiento.

Aplicaciones de pesticidas: Sustancias químicas que se utilizan para prevenir, destruir, repeler o mitigar organismos indeseables en el campo.

Tipo de cobertura: Tipo de material utilizado para cubrir las estructuras, con el objetivo de proteger la plantación y modificar el microclima interno

### 2. Variables dependientes

Incidencia de enfermedades

Porcentaje de plantas que presentan signos o síntomas de enfermedades causadas por patógenos fúngicos, bacterianos o virales.

#### Metodología:

Muestreo: Evaluación quincenal de ocho plantas seleccionadas aleatoriamente por repetición en cada tratamiento (32 plantas por tratamiento).

Procedimiento: Inspección visual de hojas, tallos y frutos para identificar signos/síntomas de enfermedades, mediante lupa de campo.

Registro: Tabla de datos que registra presencia/ausencia de enfermedad por planta, expresada como porcentaje de plantas afectadas

Análisis estadístico: Análisis de varianza (ANOVA) para comparar la incidencia entre tratamientos, seguido de la prueba de Fisher (LSD) con  $\alpha = 0.05$ , en el software InfoStat.

2. Severidad de Enfermedades: Proporción de tejido vegetal afectado por enfermedades en plantas individuales, expresada como porcentaje de área foliar dañada o índice de severidad en frutos, según escalas estandarizadas.

#### Metodología:

Muestreo: Evaluación quincenal de las mismas ocho plantas seleccionadas por repetición en cada tratamiento.

Procedimiento: División de cada planta en tres estratos (inferior, medio, superior) para una evaluación representativa, utilizando diagrama de referencia visual (escalas fitopatológicas estandarizadas) se emplearán para garantizar consistencia en la evaluación.

Registro: Bitácora de campo con datos por planta, promediados por repetición y tratamiento.

Análisis estadístico: ANOVA para comparar severidad entre tratamientos, seguido de la prueba de Fisher (LSD) con  $\alpha = 0.05$ , utilizando InfoStat. Transformación de datos (e.g., arco seno para porcentajes) si no se cumple normalidad.

3. Incidencia de Artrópodos: Porcentaje de plantas afectadas por artrópodos plaga, definido como la presencia de individuos (adultos, ninfas o larvas) o daños visibles (perforaciones o clorosis).

#### Metodología:

Muestreo: Evaluación quincenal de las ocho plantas seleccionadas por repetición en cada tratamiento.

Procedimiento: Inspección visual de hojas (haz y envés), tallos, flores y frutos para detectar presencia de artrópodos o daños asociados. Identificación de plagas con lupa de campo registrando el porcentaje de plantas afectadas ( $\% \text{ incidencia} = [\text{número de plantas con plagas} / 8] \times 100$ ).

Herramientas: Lupa de campo, pinzas entomológicas, fichas de identificación de plagas, bitácora de campo.

Frecuencia: Quincenal, durante el ciclo de cultivo.

Análisis estadístico: ANOVA para comparar incidencia entre tratamientos, seguido de la prueba de Fisher (LSD) con  $\alpha = 0.05$ , utilizando InfoStat. Verificación de supuestos estadísticos.

#### 4. Severidad de artrópodos.

Definición: Evaluación del grado de afectación de mosca blanca cuantificado el porcentaje de individuos por planta, considerando que es una de las principales plagas que afecta el cultivo de tomate, su evaluación permite conocer su impacto bajo distintos tipos de cobertura.

#### Metodología:

Muestreo: Evaluación quincenal de las ocho plantas seleccionadas por repetición en cada tratamiento.

Procedimiento: Inspección detallada de cada planta seleccionada por cada repetición y tratamiento, estimación visual de adultos, usando una escala estandarizada, los datos se promediarán por planta y repetición.

Registro: Bitácora de campo con conteos y estimaciones de daño por planta.

Análisis estadístico: ANOVA para comparar severidad entre tratamientos, seguido de la prueba de Fisher (LSD) con  $\alpha = 0.05$ , utilizando InfoStat.

5. Microclima: Condiciones ambientales dentro de cada tratamiento, incluyendo temperatura (°C), humedad relativa (%).

Metodología:

Muestreo: Registro continuo en cada unidad experimental (macrotúneles y testigo).

Procedimiento: Instalación de *data loggers* en el centro de cada unidad experimental, a 1.5 m de altura, protegidos de la radiación directa, los cuales estarán registrando datos cada hora, con promedios diarios y mensuales descargados para análisis.

Registro: Base de datos digital con valores horarios, diarios y mensuales.

6. Rendimiento de Cosecha: Producción total de frutos comercializables por unidad experimental, expresada como rendimiento (kg/ha).

Metodología:

Muestreo: Cosecha total de frutos comercializables en cada unidad experimental (18.37 m<sup>2</sup>) por tratamiento y repetición.

Procedimiento: Pesaje de frutos por corte, utilizando una balanza.

Registro: Tabla de datos con peso total y rendimiento por repetición.

Frecuencia: Por corte de cosecha (aproximadamente semanal).

Análisis estadístico: ANOVA para comparar rendimientos entre tratamientos, con prueba de Fisher (LSD) a  $\alpha = 0.05$  en InfoStat.

Calidad: Clasificación de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) según su tamaño, expresado como diámetro ecuatorial (cm) o peso individual (g), para determinar la proporción de frutos que cumplen con categorías comerciales estandarizadas, esta variable refleja la calidad comercial del fruto, un factor crítico para la aceptación en el mercado y la rentabilidad de los productores.

#### Muestreo:

Evaluación de todos los frutos comercializables cosechados en cada unidad experimental (18.37 m<sup>2</sup>) por repetición y tratamiento, durante cada corte de cosecha (estimado: 4-6 cortes por ciclo, según el cultivar Retana).

#### Procedimiento:

Peso individual: Pesaje total de frutos por repetición de cada una de las medidas con una balanza.

#### Clasificación por tamaño:

Los frutos se clasificaron en categorías comerciales basadas en estándares según, MAGA (2017).

Pequeño: Diámetro < 4 cm o peso < 50 g.

Mediano: Diámetro 4-6 cm o peso 50-100 g.

Grande: Diámetro > 6 cm o peso > 100 g.

#### Registro:

Tabla de datos con diámetro (cm), peso (kg) y categoría asignada para cada fruto muestreado, seguidamente la consolidación de porcentajes con promedios por repetición y tratamiento.

#### Frecuencia:

Evaluación en cada corte de cosecha (aproximadamente semanal, dependiendo de la madurez del fruto), durante todo el ciclo productivo.

#### Análisis Estadístico:

Comparación de tamaños: Análisis de varianza (ANOVA) para comparar el peso promedio de los frutos entre tratamientos, seguido de la prueba de Fisher (LSD) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

Distribución por categorías: ANOVA para comparar los porcentajes de frutos en cada categoría (pequeño, mediano, grande) entre tratamientos, con transformación de datos (e.g., arco seno para porcentajes) si es necesario para cumplir con normalidad.

## 7. Análisis Económico por Tratamiento

Es la evaluación de la viabilidad económica de cada tratamiento mediante indicadores financieros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio-Costo (B/C).

Metodología:

Costos: Registro de costos fijos (instalación de macrotúneles, materiales de cobertura, sensores) y variables (mano de obra, riego, fertilizantes, manejo fitosanitario) por tratamiento.

Ingresos: Estimación basada en el rendimiento y precio de mercado del tomate var. Retana, ajustado a precios locales.

Cálculos:

VAN: Mide el valor absoluto del proyecto en términos monetarios.

TIR: Tasa que iguala el VAN a cero, indicando la rentabilidad del investimento.

### D. Tratamientos

Se evaluaron 4 tipos de cubierta en macrotúnel (tratamientos a evaluar) más un tratamiento de testigo absoluto de producción a campo abierto.

Túneles con las siguientes dimensiones: 3.5 m de ancho, 21 m de largo.

Tratamiento 1: Cobertura de malla antivírus

Tratamiento 2: Cobertura de agryl

Tratamiento 3: Techo de plástico con laterales descubiertos

Tratamiento 4: Testigo absoluto-campo abierto

Tratamiento 5: Malla más plástico

#### 1. Tratamiento 1: paredes y techo de malla antiviral

Es un material fabricado con hilos de monofilamentos de polietileno de alta densidad de colores cristal, lo cual la hace más resistente comparada con otras mallas antiviral, dando un paso de 85% de luz solar, permitiendo beneficiar a la planta en el proceso de fotosíntesis y cuajado de flor, con una duración estimada de 5 a 7 años, utilizada como una barrera contra la entrada de insectos o plagas, como la mosca blanca, trips y otros que ejercen alta presión a los cultivos afectando su desarrollo fenológico, desviando a los insectos por medio de la refracción de luz, efecto precisamente de aditivos ópticos, Ayanava (2014).

#### 2. Tratamiento 2: paredes y techo de agryl

Es un material agro textil desarrollado para su utilización de la agricultura, compuestas de pequeñas fibras de polipropileno, diseñado para el aumento de producción de los cultivos ya que es una estructura que los protege de factores como la variabilidad climática, ataque de plagas y enfermedades, y el traspaso de la luz solar de un 85% ayudando a mantener una temperatura homogénea dentro de la estructura, sin embargo, la vida útil de este material varía de los 2 a 3 años dependiendo el manejo y cuidados que se le dé, Tecnologías (s. f.).

#### 3. Tratamiento 3: Techo de plástico con laterales descubiertos

Es un material hecho por cadenas largas de moléculas elásticas con naturalezas variadas, a estas se les pueden agregar aditivos especiales. fibras y pigmentos, para acondicionarlos para usos y situaciones específicas, contiene inhibidores UV que le brindan resistencia a la degradación causada por la radiación solar. Tiene una alta capacidad de difusión de luz, de esta manera eliminando sombras dentro de la estructura y una luminosidad y microclima uniforme en el área, reduciendo el riesgo de ataque de plagas, enfermedades, y distintos factores climáticos, generando así mayores rendimientos en la producción agrícola, Vasquez et al (s. f.).

#### 4. Tratamiento 4, testigo absoluto-Campo abierto

El testigo absoluto fue una producción de tomate realizado a campo abierto, el cual no contó con ninguna cobertura.

#### 5. Tratamiento 5: Malla más plástico

Se trabajó una combinación de dos tipos de cubiertas, utilizando como cubierta completa para el macrotúnel el material de malla y seguidamente en el techo el material de plástico.

## VIII. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan a continuación de manera sistemática, agrupados por variable evaluada. Se incluyen los valores medios por tratamiento, así como los análisis estadísticos correspondientes, entre ellos el análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de comparación de medias, el análisis estadístico de los datos recolectados se realizó mediante el software InfoStat, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , lo que corresponde a un 95% de confianza. Este nivel permitió establecer criterios rigurosos para determinar si las diferencias observadas entre tratamientos fueron estadísticamente significativas.

Para la comparación de medias se empleó la prueba de Fisher (LSD), seleccionada por su sensibilidad y capacidad para detectar diferencias específicas entre, esta prueba fue adecuada dado que se trabajó con un número limitado de tratamientos y se buscaba identificar con precisión cuáles coberturas generaron efectos diferenciados sobre las variables evaluadas.

Estos análisis permitieron establecer si las diferencias observadas entre tratamientos fueron estadísticamente significativas, y en qué medida cada tipo de cobertura influyó sobre el comportamiento agronómico del cultivo.

### A. Incidencia de artrópodos

El análisis de varianza ANOVA determinó que el valor de  $F = 31.07$  con un  $p < 0.0001$  significa que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos, el tipo de cobertura influye de forma muy marcada en la presencia de mosca blanca (*Bemisia tabaci*).

$R^2 = 0.89$ , quiere decir que el 89% de la variación en la incidencia de mosca blanca se explica por los tratamientos los cuales son los tipos de cobertura,  $CV = 6.11\%$  el coeficiente de variación bajo, lo que indica que los datos fueron consistentes y confiables, sin demasiada dispersión entre repeticiones, el cual da confianza en que el experimento estuvo bien controlado y los resultados son sólidos.

Figura 1 Análisis estadístico sobre incidencia de artrópodos

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% incidencia artrópodos	20	0,89	0,86	6,11

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2522,70	4	630,68	31,07	<0,0001
Trat	2522,70	4	630,68	31,07	<0,0001
Error	304,50	15	20,30		
Total	2827,20	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,79060

Error: 20,3000 gl: 15

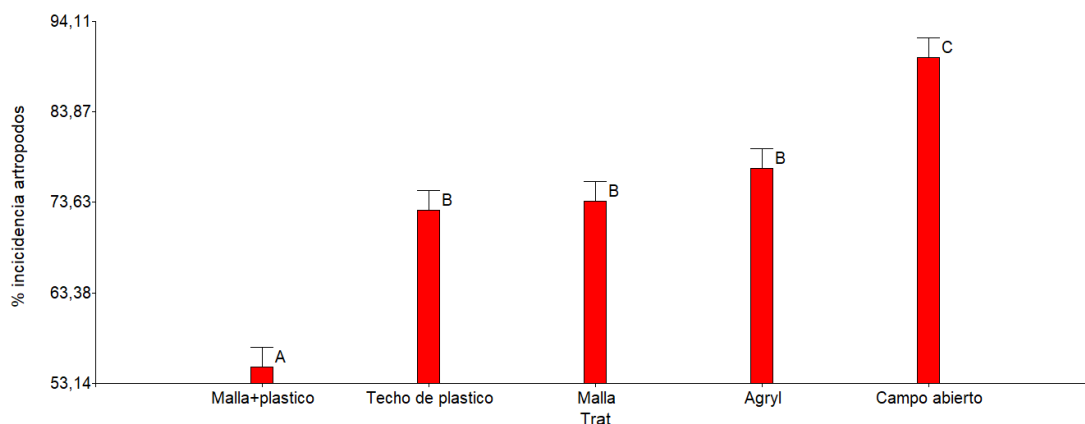
Trat	Medias	n	E.E.	
Malla-plastico	55,00	4	2,25	A
Techo plastico	72,75	4	2,25	B
Malla	73,75	4	2,25	B
Agryl	77,50	4	2,25	B
Campo abierto	90,00	4	2,25	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Se observa una comparación de medias de (Test LSD Fisher) en donde se analiza cuál de las coberturas fueron mejores en el control de la incidencia de artrópodos, durante el ensayo se identificó que el único insecto presente era mosca blanca, en el tratamiento 5 de cobertura malla con plástico (55%): presentó la menor incidencia, correspondiente al grupo

Techo plástico (72.75%), Malla (73.75%) y Agryl (77.5%): quedaron en un grupo B los cuales son intermedios, sin diferencias estadísticas entre ellos, pero sí menos efectivos que la malla plástica, seguidamente campo abierto (90%): fue el tratamiento con mayor incidencia, y aparece como grupo C el cual es el menos recomendable en términos de control natural.

Figura 2 Presentación gráfica sobre la incidencia de artrópodos, mosca blanca (*Bemisia tabaci*)



### B. Severidad de artrópodo mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

El análisis de varianza ANDEVA se determina que el modelo presenta diferencias altamente significativas entre los tratamientos para el control de severidad de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) con un ( $p < 0.0001$ ), con un coeficiente de variación de 5.52 el cual refleja una buena precisión experimental y un coeficiente de determinación del 0.98, que indica el 98% de la variabilidad en la severidad de artrópodos puede explicarse por los tratamientos aplicados.

Figura 3 Análisis estadístico sobre severidad de artrópodo mosca blanca (*Bemisia tabaci*)

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% severidad general de art..	20	0,98	0,98	5,52

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4706,67	4	1176,67	208,67	<0,0001
Trat	4706,67	4	1176,67	208,67	<0,0001
Error	84,58	15	5,64		
Total	4791,25	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,57892

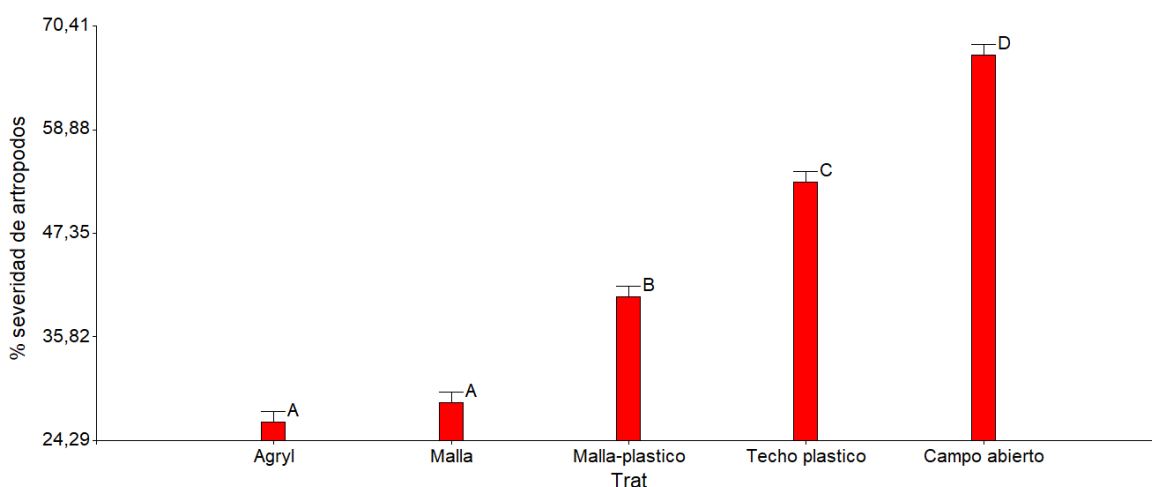
Error: 5,6388 gl: 15

Trat	Medias	n	E.E.	
Agryl	26,39	4	1,19	A
Malla	28,47	4	1,19	A
Malla-plastico	40,28	4	1,19	B
Techo plastico	53,00	4	1,19	C
Campo abierto	67,13	4	1,19	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Según el test LSD Fisher de comparación de medias y la gráfica indican los porcentajes que oscilan entre 24.29% a 70.41%, el cual los tratamientos de cobertura agryl y malla presentan niveles de severidad más bajos, alrededor de 24.29%, agrupados en la categoría A, el tratamiento Malla con plástico muestra una severidad del (47.35%) agrupado en la categoría B y por otro lado los tratamientos de cobertura techo de plástico y campo abierto presentan los niveles más altos de severidad, agrupados en la letra C.

Figura 4 Presentación gráfica sobre la severidad de artrópodo mosca blanca (*Bemisia tabaci*)



#### E. Incidencia de enfermedades

El modelo mostró un efecto altamente significativo de los tratamientos ( $p < 0.0001$ ) sobre el porcentaje de incidencia general de enfermedades los cuales se identificaron, tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y pudrición gris (*Botrytis cinerea*) en el cultivo. El coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj} = 0.93$ ) indica que el modelo explica el 93% de la variación total observada, lo cual refleja un ajuste muy adecuado. El coeficiente de variación ( $CV = 4.15\%$ ) es bajo, lo que respalda la confiabilidad y precisión de los datos experimentales.

Figura 5 Análisis estadístico sobre la incidencia de enfermedades

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
% incidencia general enfer..	20	0,94	0,93	4,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1831,32	4	457,83	64,15	<0,0001
Trat	1831,32	4	457,83	64,15	<0,0001
Error	107,06	15	7,14		
Total	1938,37	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,02648

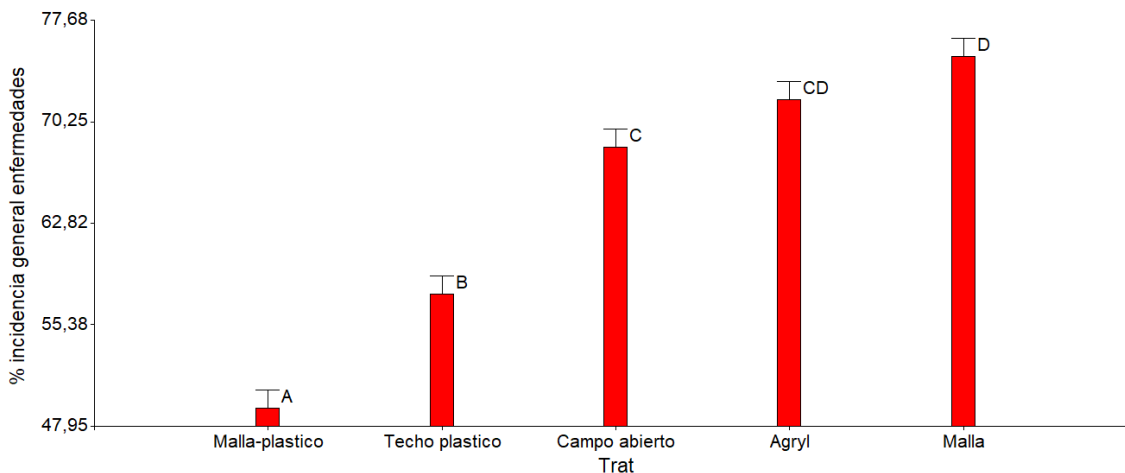
Error: 7,1372 gl: 15

Trat	Medias	n	E.E.	
Malla-plastico	49,30	4	1,34	A
Techo plastico	57,63	4	1,34	B
Campo abierto	68,40	4	1,34	C
Agryl	71,87	4	1,34	C D
Malla	75,00	4	1,34	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la gráfica se muestra que el T5 de cobertura malla con plástico (49.30%) presentó la menor incidencia de enfermedades y se ubicó en el grupo estadístico A, siendo el tratamiento más eficiente en la reducción del problema fitosanitario, seguidamente el T3 techo plástico (57.63%) se ubicó en el grupo B, con incidencia intermedia, significativamente mayor que malla con plástico pero menor que los tratamientos descubiertos el de campo abierto (68.40%) se agrupó en C, mostrando un aumento considerable en la incidencia, agryl (71.87%) y Malla (75.00%) se situaron en los grupos C–D y D respectivamente, presentando los mayores porcentajes de incidencia de enfermedades.

Figura 6 Expresión gráfica sobre la incidencia de enfermedades



## F. Severidad de enfermedades

El modelo estadístico refleja que el  $R^2$  ajustado fue de 0.90, el cual significa que el 90% de la variabilidad en la severidad de enfermedades fue explicada por los tratamientos aplicados. Esto indicó que el tipo de tratamiento tuvo un impacto muy fuerte en el comportamiento sanitario del cultivo.

El valor de F fue de 42.95 y el p-valor fue menor a 0.0001, lo que confirmó que hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos, los tratamientos no se comportaron igual frente a las enfermedades, y esas diferencias fueron estadísticamente confiables.

Las medias de severidad (en porcentaje) para cada tratamiento fueron, T5 Malla-plástico: 3.00%, T3 Techo plástico: 5.00% T4 Campo abierto: 17.75% T2 Agryl: 20.50% y T1 Malla: 24.75%.

Figura 7 Análisis estadístico sobre severidad de enfermedades

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%Severidad general de enfe..	20	0,92	0,90	20,77

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1494,70	4	373,68	42,95	<0,0001
Trat	1494,70	4	373,68	42,95	<0,0001
Error	130,50	15	8,70		
Total	1625,20	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,44549

Error: 8,7000 gl: 15

Trat	Medias	n	E.E.	
Malla-plastico	3,00	4	1,47	A
Techo plastico	5,00	4	1,47	A
Campo abierto	17,75	4	1,47	B
Agryl	20,50	4	1,47	B C
Malla	24,75	4	1,47	C

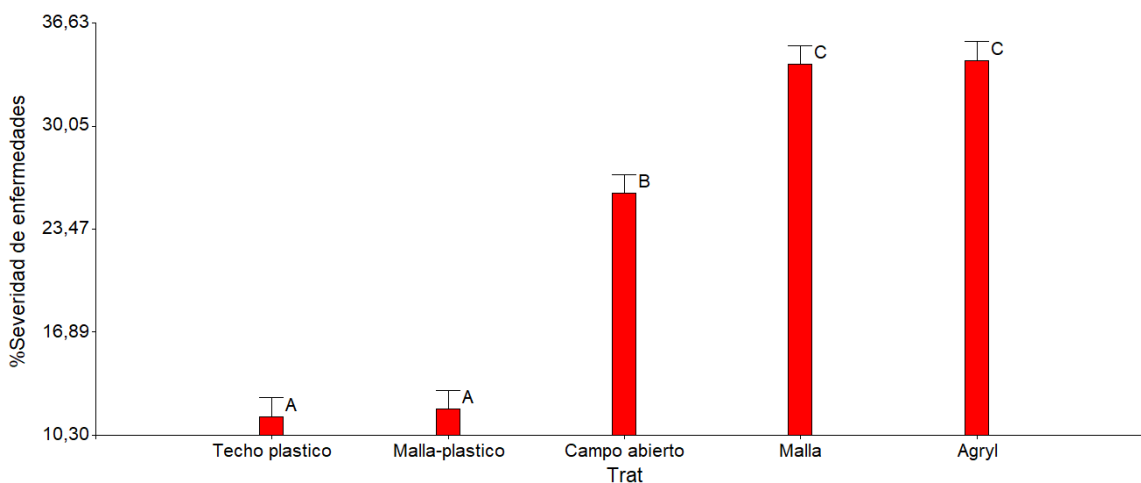
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La prueba LSD de Fisher agrupó los tratamientos en tres niveles de severidad: Malla-plástico y Techo plástico compartieron la letra "A", lo que indicó que fueron los tratamientos más efectivos para reducir la severidad de enfermedades, sin diferencias

significativas entre ellos, el de campo abierto y Agryl compartieron letras "B" y "C", lo que mostró que tuvieron una severidad intermedia, con Agryl ligeramente más afectado.

Malla recibió la letra "C", lo que significó que fué el tratamiento con mayor severidad de enfermedades, significativamente más alto que los demás.

Figura 8 Presentación gráfica sobre la severidad de enfermedades



#### G. Productividad de tomate

El modelo estadístico determinó el 90% de la variabilidad en el rendimiento, el cual fue muy alto y demostró que los tratamientos influyeron fuertemente en los resultados. El valor de F fue de 33.47 y el p-valor fue menor a 0.0001, lo que indicó que sí hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados.

Las medias de rendimiento obtenidas fueron: T2 Agryl: 24.40 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 3,319 kg/ha, T1 Malla: 26.92 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 3,662 kg/ha, T4 testigo absoluto en campo abierto: 31.00 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 4,217 kg/ha, T3 techo plástico: 50.85 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 6,918 kg/ha y T5 malla-plástico: 54.03 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 7,351kg/ha.

Figura 9 Análisis estadístico sobre productividad de tomate por tratamiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (kg/R 26.25m2) ..	20	0,90	0,87	12,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3086,02	4	771,51	33,47	<0,0001
Trat	3086,02	4	771,51	33,47	<0,0001
Error	345,81	15	23,05		
Total	3431,83	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=7,23654

Error: 23,0538 gl: 15

Trat	Medias	n	E.E.	
Agryl	24,40	4	2,40	A
Malla	26,92	4	2,40	A
Campo abierto	31,48	4	2,40	A
Techo plastico	50,85	4	2,40	B
Malla-plastico	54,03	4	2,40	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

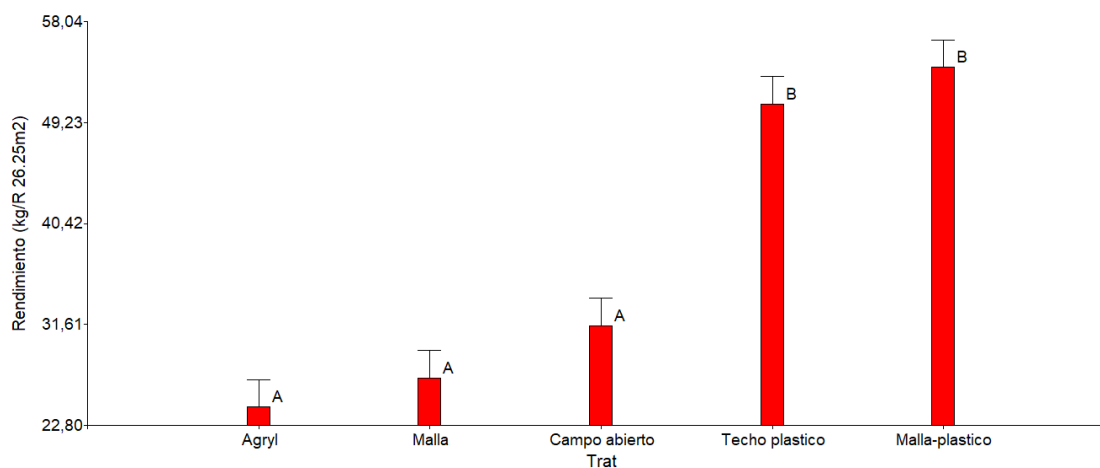
La prueba LSD de Fisher agrupó los tratamientos en dos categorías:

Agryl, Malla y Campo abierto compartieron la letra "A", lo que significó que no hubo diferencias significativas entre ellos.

Techo plástico y Malla-plástico compartieron la letra "B", indicando que estos dos tratamientos fueron significativamente superiores en rendimiento comparados con los tres anteriores.

La diferencia mínima significativa fue de 7.23 kg, lo que permitió distinguir claramente entre los grupos.

Figura 10 Presentación gráfica sobre la productividad de tomate por tratamiento



#### H. Calidad de frutos representado en mm de diámetro.

Categorías de: Menor de 35 mm de diámetro (calibre 1), de 35 a 50 mm de diámetro (calibre 2), de 50 a 70 mm de diámetro (calibre 3), ICTA, (2020)

##### 1. T1 cobertura de malla

El análisis de varianza determinó que el modelo solo explicó con 20% de la variabilidad en los datos, lo cual fue relativamente bajo. El valor de F fue de 2.35 y el p-valor fue de 0.1507, lo que indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tamaños de fruto evaluados, indicando que las variaciones observadas en el peso no fueron lo suficientemente grandes como para atribuir las al efecto del tamaño, en donde las medias obtenidas para cada tamaño fueron las siguientes: para el tamaño 1: se obtuvieron 10.84 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,474 kg/ha, el tamaño 2: 9.09 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,236 kg/ha y el tamaño 3 con 6.76 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 919 kg/ha.

Figura 11 Análisis estadístico sobre calidad (tamaño) de tomate en T1 cobertura de malla

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso-kg	12	0,34	0,20	29,96

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33,42	2	16,71	2,35	0,1507
Calidad-tamaño	33,42	2	16,71	2,35	0,1507
Error	63,92	9	7,10		
Total	97,35	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,26300

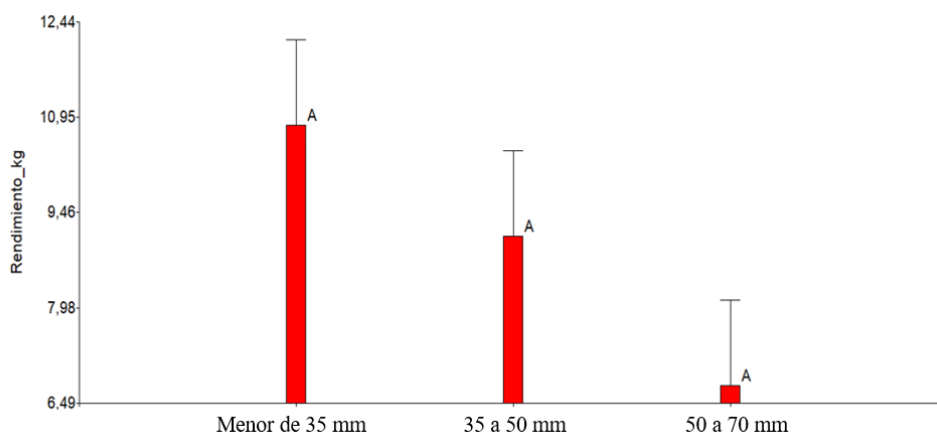
Error: 7,1026 gl: 9

Calidad-tamaño	Medias	n	E.E.
3	6,76	4	1,33 A
2	9,09	4	1,33 A
1	10,84	4	1,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Aunque las medias mostraron una tendencia clara, el de tamaño 1 tuvo el mayor rendimiento y el tamaño 3 el menor, la prueba de LSD de Fisher asignó la misma letra "A" a todos los tamaños. Esto significó que ninguno de los tamaños fue estadísticamente diferente de los otros.

Figura 12 Presentación gráfica sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T1 cobertura de malla



### T2 cobertura de agryl

El modelo estadístico determinó el 43% de la variabilidad en el tamaño, en donde el valor de F fue de 5.07 y el p-valor fue de 0.0335, lo que indica que sí hubo diferencias significativas entre los tamaños evaluados.

La prueba de comparación de medias con LSD de Fisher permitió identificar cuales tamaños fueron diferentes entre sí, para tamaño 1 fue de: 6.60 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 897 kg/ha, tamaño 3: 7.74 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,053 kg/ha y tamaño 2: 10.02 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,363 kg/ha.

Figura 13 Análisis estadístico sobre calidad (tamaño) de tomate en T2 cobertura de agryl

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso-kg	12	0,53	0,43	18,98

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,18	2	12,09	5,07	0,0335
Calidad-tamaño	24,18	2	12,09	5,07	0,0335
Error	21,45	9	2,38		
Total	45,63	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,46940

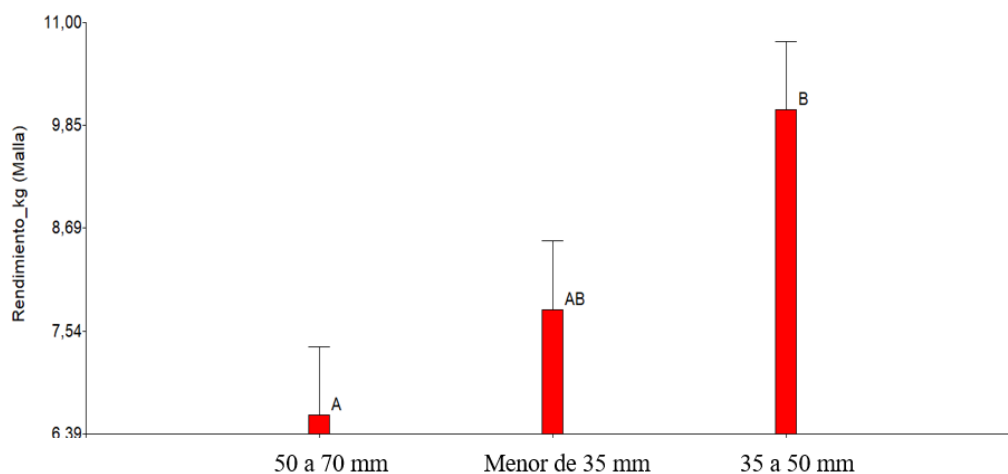
Error: 2,3832 gl: 9

Calidad-tamaño	Medias	n	E.E.	
1	6,60	4	0,77	A
3	7,78	4	0,77	A B
2	10,02	4	0,77	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

En la gráfica se presenta que el tamaño 2 tuvo frutos significativamente con mayor rendimiento que el tamaño 1, el de tamaño 3 se ubicó en una posición intermedia, sin diferencias claras con los otros dos. Esto se confirmó con las letras asignadas en el análisis: el tamaño 1 y el 3 compartieron la letra "A", mientras que el tamaño 2 corresponde a la letra "B", lo que indicó que el tamaño 2 fue estadísticamente diferente y superior en peso.

Figura 14 Presentación gráfica sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T2 cobertura de agryl



### T3 cobertura techo de plástico

El análisis de varianza determinó que el modelo reflejó 50% de la variabilidad en el rendimiento, lo cual fue una proporción considerable. El valor de F fue de 6.59 y el p-valor fue de 0.0173, lo que indicó que sí hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tamaños de fruto evaluados, en donde se obtuvieron medias de: tamaño 1: 24.83 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 3,378.23 kg/ha, tamaño 3: 14.34 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,951 kg/ha y el tamaño 2: 11.70 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,591 kg/ha, por lo tanto, el tamaño 1 representa aproximadamente el 48.82% del total, el tamaño 2 el 22.99% y el tamaño 3 el 28.19% de los rendimientos.

Figura 15 Análisis estadístico sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T3 techo de plástico

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento kg	12	0,59	0,50	31,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	386,11	2	193,06	6,59	0,0173
Tamaño	386,11	2	193,06	6,59	0,0173
Error	263,73	9	29,30		
Total	649,84	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=8,65892

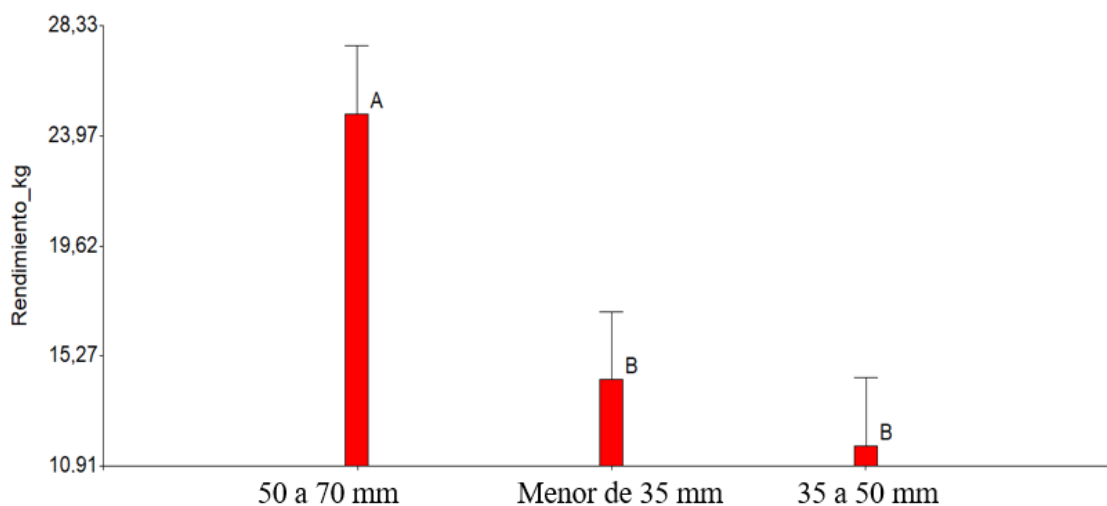
Error: 29,3030 gl: 9

Tamaño	Medias	n	E.E.	
1	24,83	4	2,71	A
3	14,32	4	2,71	B
2	11,70	4	2,71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la gráfica se presenta que el tamaño 1 tuvo un rendimiento significativamente mayor que los tamaños 2 y 3. La prueba LSD de Fisher confirmó esta diferencia, asignando la letra "A" al tamaño 1 y la letra "B" a los tamaños 2 y 3. Esto significó que el tamaño 1 fue estadísticamente superior, mientras que los tamaños 2 y 3 no fueron significativamente diferentes entre sí.

Figura 16 Presentación gráfica sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T3 cobertura techo de plástico



## T4 testigo absoluto, campo abierto

El análisis de varianza determinó que, el modelo reflejó un 64% de la variabilidad en el rendimiento, lo cual fue una proporción alta. El valor de F fue de 10.70 y el p-valor fue de 0.0042, lo que indicó que sí hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tamaños de fruto evaluados, las medias obtenidas fueron: tamaño 3: 17.78 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 2,419 kg/ha, tamaño 2: 9.94 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 1,352.38 kg/ha y tamaño 1: 6.08 kg/73.5m<sup>2</sup> equivalentes a 827.21 kg/ha

Figura 17 Análisis estadístico sobre el rendimiento por tamaño en T4 testigo absoluto campo abierto

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento kg	12	0,70	0,64	32,35

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	284,54	2	142,27	10,70	0,0042
Tamaño	284,54	2	142,27	10,70	0,0042
Error	119,62	9	13,29		
Total	404,15	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=5,83149

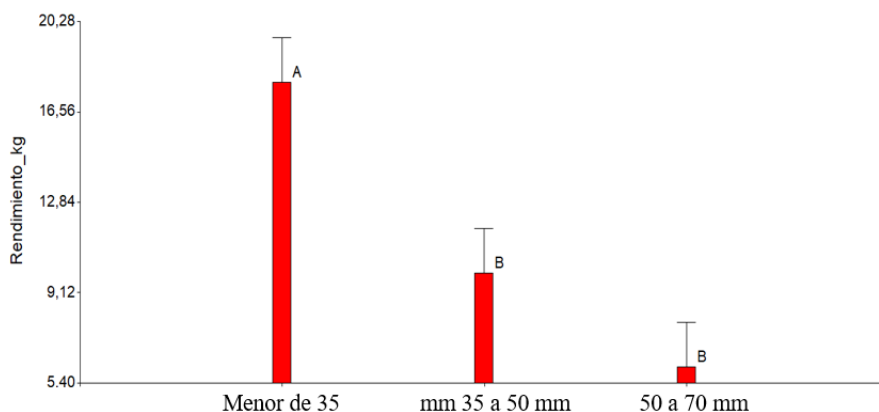
Error: 13,2906 gl: 9

Tamaño	Medias	n	E.E.	
3	17,78	4	1,82	A
2	9,94	4	1,82	B
1	6,08	4	1,82	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

La gráfica muestra que el tamaño 3 tuvo un rendimiento significativamente mayor que los tamaños 2 y 1. La prueba LSD de Fisher confirmó esta diferencia, asignando la letra "A" al tamaño 3 y la letra "B" a los tamaños 2 y 1. Esto significó que el tamaño 3 fue estadísticamente superior, mientras que los tamaños 2 y 1 no fueron significativamente diferentes entre sí.

Figura 18 Presentación gráfica sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T4 testigo absoluto a campo abierto



#### T5 cobertura de malla con plástico

El análisis de varianza determinó que el modelo solo explicó el 18% de la variabilidad en el rendimiento, y el  $R^2$  ajustado fue prácticamente cero (0.00045), lo que indica que el tamaño del fruto no tuvo un efecto relevante sobre el rendimiento.

El valor de F fue de 1.00 y el p-valor fue de 0.4045, lo que significa que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tamaños evaluados ( $p > 0.05$ ). Las medias de rendimiento para cada tamaño fueron, tamaño 2: -22.27 kg, Tamaño 3: -16.88 kg y tamaño 1: -15.17 kg

Figura 19 Análisis estadístico sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T5 cobertura de malla con plástico

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento kg	12	0,18	4,5E-04	40,90

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	109,98	2	54,99	1,00	0,4045
Tamaño	109,98	2	54,99	1,00	0,4045
Error	493,67	9	54,85		
Total	603,65	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,84693

Error: 54,8525 gl: 9

Tamaño	Medias	n	E.E.
2	22,27	4	3,70 A
3	16,88	4	3,70 A
1	15,17	4	3,70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La tabla presenta que todas las medias compartieron la letra "A", confirmando que no hubo diferencias significativas entre ellas según la prueba LSD de Fisher. Aunque los valores numéricos fueron distintos, estadísticamente no se pudo afirmar que un tamaño rindiera más que otro.

Figura 20 Presentación gráfica sobre el rendimiento por tamaño de tomate en T4 cobertura de plástico con malla.

Categorías de: Menor de 35 mm (calibre 1), de 35 a 50 mm (calibre 2), de 50 a 70 mm (calibre 3)

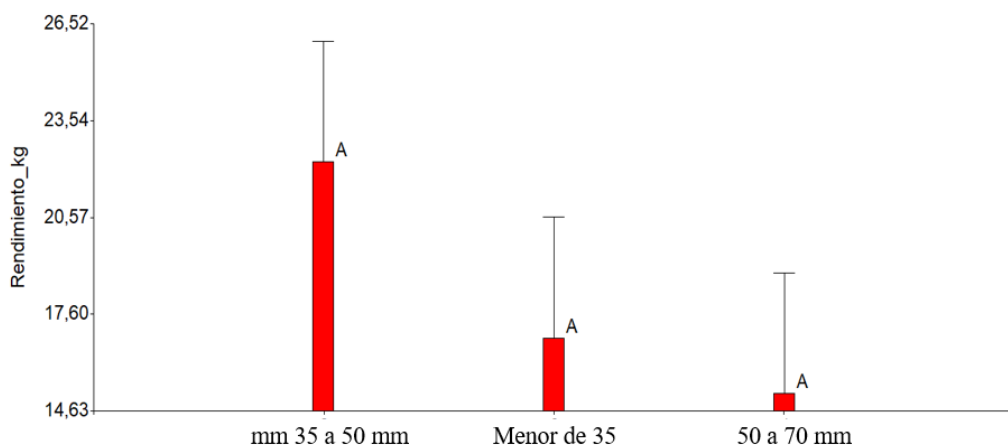
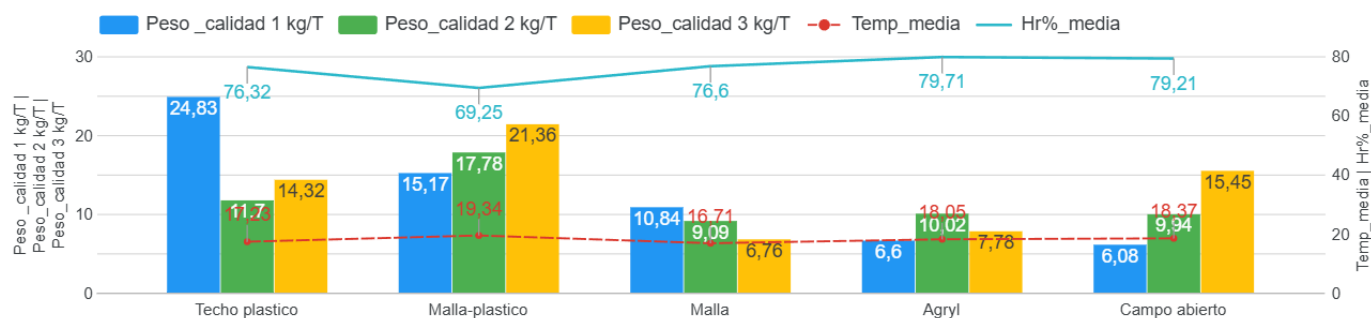


Figura 21 Grafica sobre el rendimiento de tomate en peso



*Tabla 1 Flujo de caja para la producción de tomate con Tl cobertura de malla expresada en quetzales por hectárea*

Flujo de caja	Ciclo de cultivo-Cobertura de malla					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversiones	Q 67,201.00					
Total de ingresos		Q108,313.67	Q108,313.67	Q108,313.67	Q108,313.67	Q108,313.67
Costos variables		Q66,304.00	Q66,304.00	Q66,304.00	Q66,304.00	Q66,304.00
Costos fijos		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Total de costos		Q67,104.00	Q67,104.00	Q67,104.00	Q67,104.00	Q67,104.00
Flujo económico	-Q67,201.00	Q41,209.67	Q41,209.67	Q41,209.67	Q41,209.67	Q41,209.67
<b>VAN</b>	<b>Q 89,016.07</b>				<b>10%</b>	TIR
<b>TIR</b>	<b>54%</b>				<b>Q 67,201.00</b>	Inversion inicial
<b>B.C.</b>	<b>1.25</b>					

#### Indicadores Financieros:

VAN (Valor Actual Neto): Q89,016.07.

Un valor positivo que demuestra que el proyecto genera una ganancia de Q89,016.07 en términos de valor presente, tras descontar al 10%. Esto confirma que el uso de malla es económicamente viable, aunque su rentabilidad es menor en comparación con coberturas que generan mayores ingresos.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 54%.

La TIR del 54% supera con gran margen la tasa de descuento (10%), indicando que la inversión en malla ofrece un retorno atractivo para el productor. Este resultado refleja que el sistema mejora las condiciones productivas respecto al campo abierto.

B.C. (Relación Beneficio-Costo): 1.25,

Significa que por cada Q1.00 invertido se obtienen 25 centavos adicionales en beneficios. Al ser un valor mayor a 1, confirma nuevamente que la cobertura de malla es rentable y recomendada desde el punto de vista financiero.

Tabla 2 Flujo de caja para producción de tomate con T2 cobertura de agryl (tela no tejida)

Flujo de caja	Ciclo de cultivo-Cobertura de agryl					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversiones	Q 75,601.00					
Total de ingresos		Q91,004.00	Q91,004.00	Q91,004.00	Q91,004.00	Q91,004.00
Costos variables		Q66,284.00	Q66,284.00	Q66,284.00	Q66,284.00	Q66,284.00
Costos fijos		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Total de costos		Q67,084.00	Q67,084.00	Q67,084.00	Q67,084.00	Q67,084.00
Flujo económico	-Q75,601.00	Q23,920.00	Q23,920.00	Q23,920.00	Q23,920.00	Q23,920.00
<b>VAN</b>	<b>Q 15,074.62</b>		<b>10%</b>	TIR		
<b>TIR</b>	<b>18%</b>		<b>Q 75,601.00</b>	Inversion inicial		
<b>B.C.</b>	<b>1.18</b>					

#### Indicadores Financieros:

VAN (Valor Actual Neto): Q 19,756.44.

A pesar de ser positivo, este valor evidencia una rentabilidad moderada, pues el proyecto únicamente genera Q19,756.44 en valor actual tras descontar al 10%, lo que indica un margen más reducido de beneficios.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 18%.

Una TIR del 18% supera la tasa de descuento (10%), lo que confirma la viabilidad del proyecto; sin embargo, el retorno es significativamente menor en comparación con otras tecnologías analizadas.

B.C. (Relación Beneficio-Costo): 1.18,

lo que significa que por cada Q1 invertido, se obtienen 18 centavos adicionales en beneficios. Si bien es un resultado favorable (>1), refleja una eficiencia económica más baja.

Tabla 3 Flujo de caja para producción de tomate en T3 techo de plástico

Flujo de caja	Ciclo de cultivo-Techo de plástico					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversiones	Q 53,201.00					
Total de ingresos		Q100,853.32	Q100,853.32	Q100,853.32	Q100,853.32	Q100,853.32
Costos variables		Q49,623.80	Q49,623.80	Q49,623.80	Q49,623.80	Q49,623.80
Costos fijos		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Total de costos		Q50,423.80	Q50,423.80	Q50,423.80	Q50,423.80	Q50,423.80
Flujo económico	-Q53,201.00	Q50,429.52	Q50,429.52	Q50,429.52	Q50,429.52	Q50,429.52
<b>VAN</b>	<b>Q 137,966.56</b>		<b>10%</b>	<b>TIR</b>		
<b>TIR</b>	<b>91%</b>		<b>Q 52,201.00</b>	<b>Inversion inicial</b>		
<b>B.C.</b>	<b>0.48</b>					

Indicadores Financieros:

VAN (Valor Actual Neto): Q 137,966.56

Este valor positivo y significativo indica que el proyecto genera Q 137,966.56 en valor actual descontado al 10%, demostrando una alta rentabilidad y creación de valor económico.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 91%.

Una TIR del 91% revela un retorno financiero muy atractivo, ya que supera considerablemente la tasa de descuento (10%), lo cual respalda la conveniencia de la inversión.

B.C. (Relación Beneficio-Costo): 0.48

lo que significa que por cada Q1 invertido, se recuperan 48 centavos, por debajo del umbral de rentabilidad (>1). Esto indica que, a pesar de los buenos resultados del VAN y la TIR, la relación beneficio-costo no es favorable bajo las condiciones evaluadas.

Tabla 4 Flujo de caja para producción de tomate en T4 testigo absoluto- campo abierto

Flujo de caja	Ciclo de cultivo-Campo abierto					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversiones	Q 10,001.00					
Total de ingresos		Q79,536.64	Q79,536.64	Q79,536.64	Q79,536.64	Q79,536.64
Costos variables		Q71,059.00	Q71,059.00	Q71,059.00	Q71,059.00	Q71,059.00
Costos fijos		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Total de costos		Q71,859.00	Q71,859.00	Q71,859.00	Q71,859.00	Q71,859.00
Flujo económico	-Q10,001.00	Q7,677.64	Q7,677.64	Q7,677.64	Q7,677.64	Q7,677.64
<b>VAN</b>	<b>Q 19,103.30</b>		<b>10%</b>	<b>TIR</b>		
<b>TIR</b>	<b>72%</b>		<b>Q 10,001.00</b>	<b>Inversion inicial</b>		
<b>B.C.</b>	<b>0.48</b>					

Indicadores Financieros:

VAN (Valor Actual Neto): Q19,103.30

Este valor positivo evidencia que el proyecto sí genera beneficios económicos, obteniendo una ganancia de Q19,103.30 en valor presente al aplicar una tasa de descuento del 10%. Esto indica que el cultivo a campo abierto puede resultar rentable bajo las condiciones analizadas, aunque en menor proporción que otras coberturas.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 72%

Indica que el proyecto es altamente rentable, y se obtiene un retorno equivalente al 72%, al superar ampliamente la tasa mínima esperada de inversión, demuestra que el proyecto es financieramente viable.

B.C. (Relación Beneficio-Costo): 0.48

Indica que, por cada Q1.00 invertido solo se recupera Q0.48 en beneficios. Es decir, los costos son mayores que los ingresos, lo cual indica no viabilidad del proyecto según este criterio.

Tabla 5 Flujo de caja para producción de tomate en T5 cobertura de malla con plástico

Flujo de caja	Ciclo de cultivo-Cobertura de malla con plástico					
	0	1	2	3	4	5
Flujo de inversiones	Q 73,201.00					
Total de ingresos		Q138,140.04	Q138,140.04	Q138,140.04	Q138,140.04	Q138,140.04
Costos variables		Q65,519.00	Q65,519.00	Q65,519.00	Q65,519.00	Q65,519.00
Costos fijos		Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00	Q800.00
Total de costos		Q66,319.00	Q66,319.00	Q66,319.00	Q66,319.00	Q66,319.00
Flujo económico	-Q73,201.00	Q71,821.04	Q71,821.04	Q71,821.04	Q71,821.04	Q71,821.04
<b>VAN</b>	<b>Q 199,057.25</b>		<b>10%</b>	<b>TIR</b>		
<b>TIR</b>	<b>95%</b>		<b>Q 73,201.00</b>	<b>Inversion inicial</b>		
<b>B.C.</b>	<b>0.61</b>					

Indicadores Financieros:

VAN (Valor Actual Neto): Q199,057.25.

El valor positivo y elevado del VAN indica que el proyecto genera Q199,057.25 en términos de valor presente, después de descontar los flujos al 10%. Esto confirma que el sistema de producción bajo malla con plástico es altamente rentable y genera ganancias adicionales sobre la inversión inicial.

TIR (Tasa Interna de Retorno): 95%.

La TIR del 95% es muy superior a la tasa de descuento del 10%, lo que evidencia que la inversión en esta tecnología proporciona un rendimiento muy favorable. Sin embargo, un valor tan alto podría reflejar un escenario de altos ingresos constantes, por lo que debe interpretarse con cautela dentro de las condiciones evaluadas.

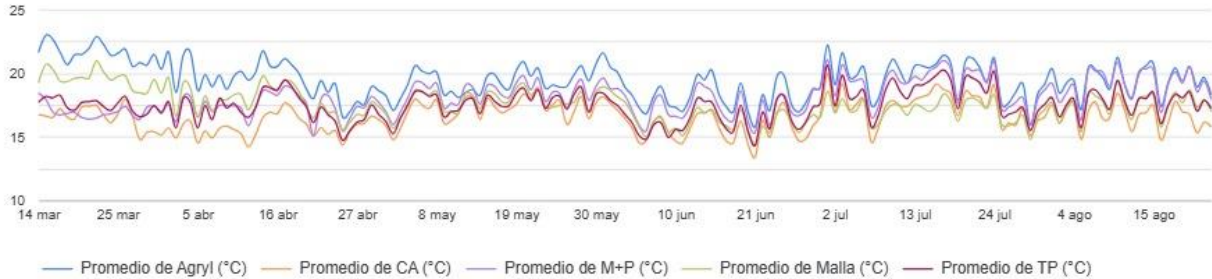
B.C. (Relación Beneficio-Costo): 0.61

Indica que, por cada Q1.00 invertido solo se recupera Q0. 61 en beneficios, el cual indica que los costos son mayores que los ingresos, resumiendo que no hay viabilidad del proyecto según este criterio.

## IX. IX DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### A. Microclima

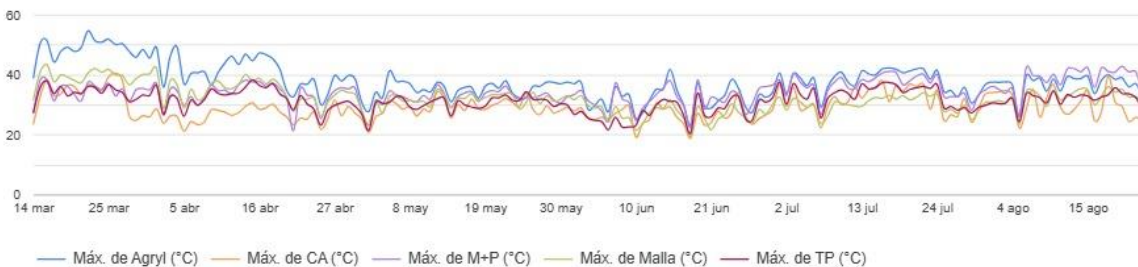
Figura 22 Presentación gráfica de temperatura promedio generado por cada estructura



En general, se observa que el tratamiento Agryl mantiene las temperaturas más elevadas a lo largo del tiempo, superando regularmente los 20 °C, lo que sugiere una mayor retención térmica. Por el contrario, el tratamiento CA presenta las temperaturas más bajas dentro del conjunto, con valores que se mantienen entre 15 y 18 °C, indicando una menor acumulación de calor.

Los tratamientos Malla con plástico, Malla y Techo de plástico muestran un comportamiento intermedio, con fluctuaciones similares y convergencia de valores a medida que avanza el periodo evaluado. Se identifica además una marcada variabilidad diaria asociada a las condiciones ambientales, aunque las diferencias entre tratamientos permanecen consistentes, lo que evidencia la influencia del tipo de cobertura en la regulación térmica sobre los cultivos.

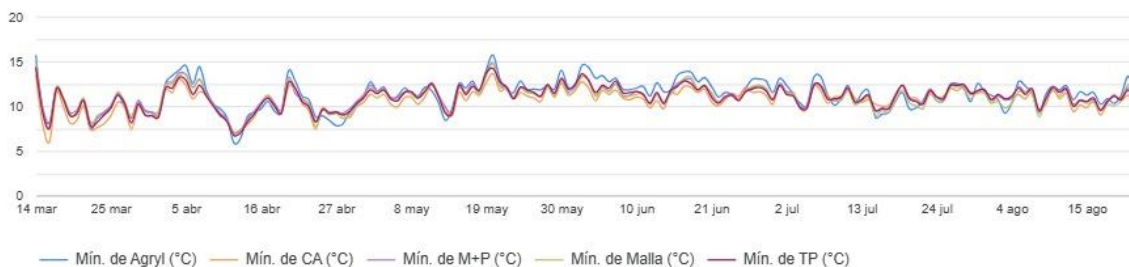
Figura 23 Presentación gráfica de temperatura máxima generada por cada estructura



Se observa que la estructura Agryl alcanza los valores máximos más elevados, superando en varios momentos los 50 °C al inicio del monitoreo, lo que evidencia un mayor efecto de acumulación de calor bajo este tipo de cobertura. En contraste, la estructura CA presenta las temperaturas máximas más bajas dentro del conjunto, manteniéndose usualmente entre 30 °C y 40 °C, reflejando una menor retención térmica.

Los tratamientos M+P, Malla y TP muestran variaciones más moderadas y patrones similares, indicando un comportamiento térmico intermedio. A pesar de la variabilidad diaria propia de las condiciones climáticas, se mantiene una tendencia clara donde la elección del tipo de estructura influye significativamente en el incremento de la temperatura máxima en el interior, aspecto relevante para la gestión del estrés térmico y el desarrollo del cultivo.

Figura 24 Presentación gráfica de temperatura mínima generada por cada estructura

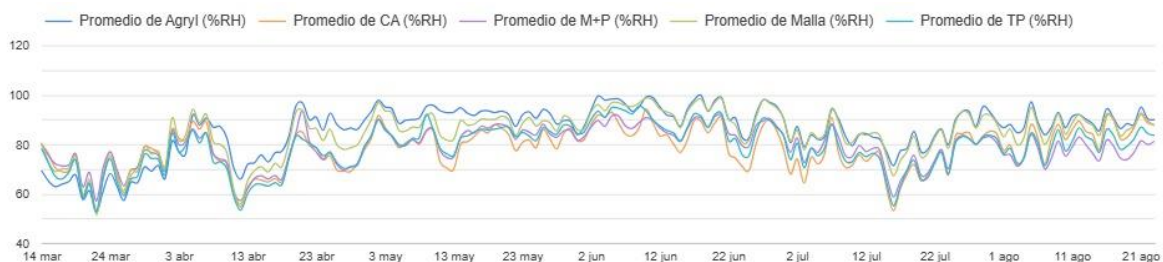


Se observa que las diferencias entre tratamientos son menos marcadas en comparación con las temperaturas máximas y promedios, manteniéndose todas las estructuras dentro de un rango relativamente estrecho de entre 8 °C y 13 °C durante la mayor parte del periodo evaluado. Agryl tiende a presentar ligeramente las temperaturas mínimas más elevadas, lo que indica una mejor capacidad de aislamiento térmico nocturno, mientras que CA muestra los valores más bajos en varias ocasiones, reflejando una mayor pérdida de calor durante la noche.

A medida que avanza el tiempo, las curvas de todos los tratamientos se vuelven más estables y convergentes, lo que sugiere una menor variabilidad estacional en las temperaturas mínimas. Estos resultados indican que, si bien las estructuras influyen con mayor intensidad en la acumulación de calor durante el día, su efecto sobre la retención

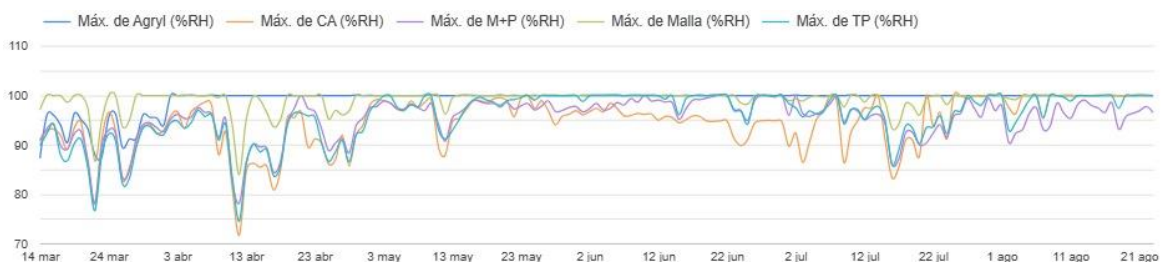
térmica nocturna es más limitado, aunque aún presenta diferencias relevantes para el manejo del cultivo y la prevención de daños por bajas temperaturas.

Figura 25 Presentación gráfica de humedad relativa promedio generado por cada estructura



La gráfica demuestra que las estructuras de protección modifican de forma significativa la humedad relativa, siendo esta una variable crucial en la fisiología y sanidad del cultivo. Mientras que el T5 de doble cobertura malla con plástico y T3 de techo de plástico otorgan ventajas agronómicas por mejorar las condiciones de desarrollo y rendimiento, dichas estructuras requieren estrategias más rigurosas de manejo fitosanitario para contrarrestar la incidencia de enfermedades asociadas a humedades altas. Por el contrario, malla, agryl y campo abierto muestran una mejor ventilación, pero con menor control sobre los factores ambientales limitantes del cultivo, lo cual reduce el potencial productivo. Por lo tanto, el manejo integral del microclima debe orientarse a un equilibrio que asegure la eficiencia productiva sin comprometer la sanidad del cultivo.

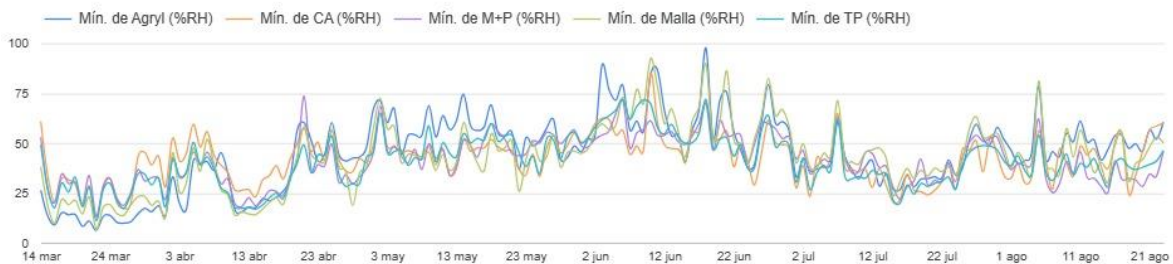
Figura 26 Presentación gráfica de humedad relativa máxima generada por cada tratamiento



Se observa que todos los tratamientos mantienen niveles altos de humedad relativa máxima, con valores que se aproximan o superan el 95% en la mayoría de los días, lo cual es característico de condiciones de saturación de humedad durante las primeras horas del día o en presencia de precipitación. Sin embargo, se identifican episodios puntuales en los que algunos tratamientos experimentan descensos más marcados, como en CA y M+P, que en ocasiones disminuyen hasta alrededor del 80%, reflejando una mayor ventilación o

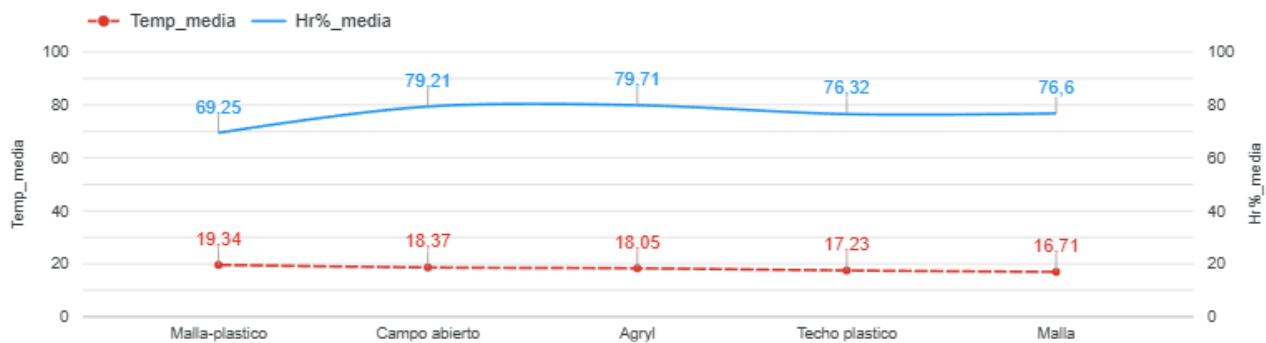
menor retención de humedad en esos sistemas. Por el contrario, Malla y TP muestran una tendencia más estable y elevada, indicando mayor acumulación de humedad dentro de estas estructuras. Estas variaciones sugieren que el tipo de cobertura influye en la capacidad del sistema para mantener niveles altos de humedad máxima, lo que puede incidir en procesos como la formación de rocío, la aparición de enfermedades fúngicas y el confort micro climático del cultivo.

Figura 27 Presentación gráfica de humedad relativa mínima generada por cada tratamiento



Se observa que los cinco tratamientos mantienen valores altos y cercanos a la saturación (95–100% RH), lo cual es característico de las horas frías o lluviosas; sin embargo, CA y M+P presentan descensos más notorios en algunos episodios, sugiriendo menor retención de humedad. En la humedad relativa mínima, la variabilidad es mayor y se observan diferencias más claras: CA tiende a registrar los mínimos más bajos (ambiente más seco en los momentos de mayor evaporación), mientras que Malla y TP conservan mayores niveles de humedad mínima, lo que indica una mejor retención de humedad diurna. Agryl y M+P se ubican en un punto intermedio.

Figura 20 Presentación gráfica del microclima generada por cada estructura consolidado



La gráfica presentada muestra cómo las diferentes coberturas utilizadas en el cultivo de tomate modifican las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro del sistema de producción, dos variables críticas que determinan tanto la productividad como la sanidad del cultivo. El tomate es una especie exigente en cuanto a microclima, requiriendo temperaturas promedio en el rango de 18 a 25 °C y humedades relativas cercanas al 60–70% para garantizar procesos fisiológicos óptimos, como la fotosíntesis, el cuajado floral, la absorción de nutrientes y el llenado de frutos, Castilla (2007), bajo este contexto, los tratamientos evaluados demostraron contrastes significativos que explican los resultados productivos y fitosanitarios observados en el ensayo.

El tratamiento de malla con plástico presentó una temperatura media de 19.34 °C y una humedad relativa de 69.25%, condiciones que se encuentran muy cercanas al rango ideal para el tomate. Esta estabilidad micro climática no solo favoreció el equilibrio entre transpiración y fotosíntesis, sino que también limitó la proliferación de patógenos dependientes de altos niveles de humedad libre en el follaje. De igual forma, bajo este ambiente se reportaron las incidencias más bajas de enfermedades y una reducción significativa de la población de mosca blanca, lo cual coincide con lo reportado por Morales et al. (2018), quienes destacan que los sistemas de protección combinados reducen el ingreso de vectores y modifican las condiciones internas de manera que no son favorables para su multiplicación.

Por otro lado, el techo plástico mantuvo una temperatura ligeramente menor (17.23 °C) y una humedad relativa de 76.32%, valores que, si bien están dentro de la tolerancia del tomate, implican un riesgo mayor de enfermedades debido al incremento de la humedad ambiental.

No obstante, este sistema proporcionó frutos de mayor calidad comercial, lo cual puede explicarse por la reducción de estrés térmico y una mayor uniformidad en el llenado de los frutos, aspectos que han sido señalados por García et al. (2019) como determinantes en la obtención de frutos de primera categoría. La calidad, en este caso, se privilegió sobre la cantidad, en contraste con la malla con plástico, que generó el mayor rendimiento total.

En condiciones de campo abierto y bajo agryl, la humedad relativa alcanzó valores superiores al 79%, acompañados de temperaturas en el rango de 18.05–18.37 °C. Este ambiente excesivamente húmedo es altamente favorable para la proliferación de enfermedades como (*Botrytis cinérea*) y (*Alternaria solani*), las cuales encuentran en estas condiciones un entorno ideal para esporular y diseminarse, López et al., (2012).

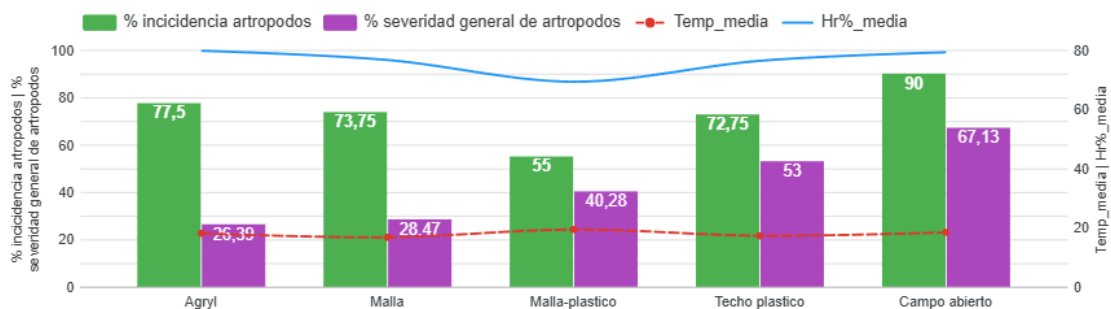
La alta presión sanitaria registrada en estos tratamientos explica las reducciones drásticas tanto en el rendimiento como en la calidad, sumado a que la falta de barreras físicas facilitó el ingreso de artrópodos plaga.

La malla, con la temperatura más baja (16.71 °C) y una humedad relativa de 76.6%, reflejó un ambiente fresco, pero con riesgo elevado de enfermedades debido a la humedad. Aunque puede reducir el estrés térmico en condiciones extremas, este sistema por sí solo no fue capaz de limitar adecuadamente la incidencia de plagas ni de generar frutos de alta calidad (tamaño), mostrando que no basta con amortiguar la temperatura si no se controla también el exceso de humedad y la entrada de vectores.

En conjunto, la gráfica evidencia que el microclima es un factor decisivo en la sostenibilidad del cultivo de tomate bajo agricultura protegida. La regulación de temperatura y humedad relativa no solo determina la eficiencia fotosintética y la transpiración, sino que condiciona directamente la presión de plagas y enfermedades. Tal como señalan Valera et al. (2016), la capacidad de las coberturas de modificar el ambiente interno es uno de los pilares de la agricultura protegida, pues permite optimizar rendimientos y reducir pérdidas fitosanitarias

### 1. incidencia y severidad de artrópodos

Figura 28 Presentación gráfica del comportamiento de incidencia y severidad de mosca blanca

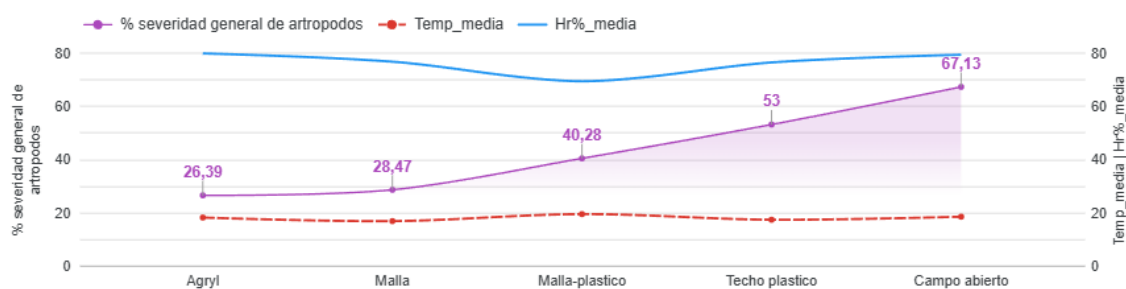


En la gráfica se presenta que el tratamiento de malla con plástico es el más eficiente en reducir la incidencia y severidad de artrópodos, gracias a su capacidad de aislamiento físico y regulación del microclima, aunque el T3 de techo plástico también ofrece protección, su mayor severidad sugiere que el ambiente cerrado puede favorecer plagas específicas si no se maneja adecuadamente.

El T4 testigo relativo de campo abierto representa el escenario más vulnerable, con alta incidencia y severidad, lo que se traduce en mayores costos fitosanitarios y pérdidas de rendimiento, las coberturas simples como T2 de cobertura de agryl y T1 de cobertura de malla ofrecen beneficios parciales, pero no suficientes para un control fitosanitario efectivo.

Esto evidencia que el tipo de cobertura utilizado influye directamente en la presión de plagas dentro del sistema productivo ya que las estructura como el T5 de cobertura de malla con plástico o malla antiáfidos reducen el ingreso de artrópodos, lo que permite disminuir la frecuencia y dosis de aplicación de insecticidas, de esta manera, al reducirse las aplicaciones químicas, también disminuye el riesgo de que los frutos excedan los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos por los mercados de exportación. En el caso del tomate guatemalteco destinado a mercados como Estados Unidos o la Unión Europea, los LMR permitidos se encuentran comúnmente en un rango aproximado de 0.01 a 1 mg/kg, dependiendo del ingrediente activo evaluado según Codex Alimentarius, EPA y EFSA.

Figura 29 Presentación gráfica de la incidencia de artrópodos



Los resultados obtenidos del análisis de varianza ANOVA se reflejan en la gráfica que el T5 cobertura de malla con plástico presentó la menor incidencia de mosca blanca (55.00%), mientras que el T1 de malla registró la mayor infestación (73.5%), seguida el T2 cobertura de agryl (77.5%), T4 testigo absoluto en campo abierto (90%) y T3 techo de plástico (72.75%). Esta diferencia está estrechamente vinculada con las condiciones micro climáticas que cada tipo de cobertura generó, principalmente en cuanto a temperatura y humedad relativa.

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) se desarrolla de manera óptima en temperaturas entre 20 y 30 °C, con tasas de reproducción más aceleradas en ambientes cálidos y con humedades relativas moderadas a altas, generalmente entre 70 y 80%. Dentro de estos rangos, los ciclos biológicos de la plaga se acortan y las poblaciones aumentan rápidamente, especialmente cuando existen condiciones de humedad que favorecen la longevidad de los adultos y la viabilidad de los huevos, Proain (2020).

En este contexto, el T5 de la malla con plástico registró una temperatura media de (19.34 °C) y una humedad relativa de (69.25%), condiciones menos favorables para la reproducción acelerada de la mosca blanca en comparación con las otras coberturas. La temperatura ligeramente más baja y una humedad por debajo del rango óptimo redujeron la capacidad reproductiva de la plaga y, al mismo tiempo, la barrera física del plástico limitó su ingreso al cultivo.

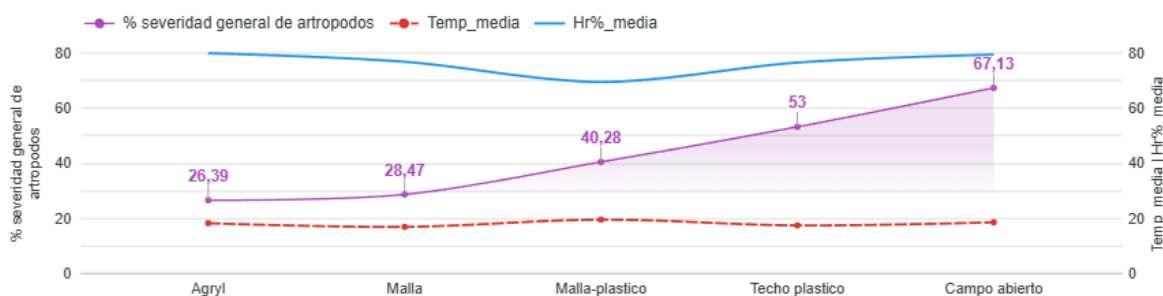
Por el contrario, el T1 de cobertura de malla, presentó la mayor incidencia, el cual alcanzó condiciones micro climáticas de (76.6%) de humedad relativa y temperaturas dentro del rango favorable para la plaga, lo que promovió una rápida multiplicación de individuos. De forma similar, el T2 cobertura de agryl (79.71%) de humedad y el campo abierto (79.21%) de humedad, crearon ambientes muy propicios para la plaga, además de permitir un ingreso más directo de insectos adultos desde el exterior, lo que explica las altas medias de incidencia.

El techo de plástico, a pesar de no tener paredes protectoras, logró reducir la incidencia de mosca blanca, en comparación con campo abierto y agryl, gracias a que disminuyó el impacto directo de la lluvia y mantuvo una humedad relativa intermedia (76.32%). Sin

embargo, al no ser una cobertura totalmente cerrada, permitió el ingreso de insectos desde los alrededores, lo que explica que no fuera tan eficiente como la malla con plástico.

Estos resultados confirman que el control de plagas bajo condiciones protegidas depende no solo de la barrera física contra el ingreso de insectos, sino también del microclima generado en el interior del cultivo. La malla con plástico logró crear un ambiente menos favorable para la mosca blanca, tanto por mantener niveles de humedad por debajo del rango óptimo como por actuar como barrera efectiva frente a la presión externa de la plaga, lo que la convierte en la cobertura más eficiente para la reducción de incidencia.

Figura 30 Presentación gráfica sobre la severidad de artrópodos con respecto a la temperatura



Los resultados obtenidos del análisis de varianza ANOVA reflejan en la gráfica indicando que, la severidad de artrópodos bajo las condiciones de T1 cobertura de malla y T2 cobertura de agryl evidencia diferencias relevantes en el comportamiento de artrópodos, correspondiente a la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y en la respuesta de las plantas al microclima generado por cada cobertura.

En el caso del T2 cobertura de agryl, la severidad registrada fue de (26.39%), mientras que en malla se observó un valor ligeramente superior (28.47%). Aunque ambas coberturas presentan un efecto positivo en la reducción del daño en comparación con otros sistemas como el campo abierto (67.13%), las diferencias entre T2 cobertura de agryl y T1 cobertura de malla se atribuye principalmente a la interacción entre la dinámica de la plaga, en este caso la mosca blanca y el estado fisiológico del cultivo bajo las condiciones micro ambientales particulares.

Durante el desarrollo de la investigación se identificó que la incidencia y la severidad de la mosca blanca coincidió con un estado avanzado de necrosis en las plantas en ambos tratamientos, el cual la necrosis redujo la capacidad de transporte y generación de savia elaborada, lo que limitó la alimentación del insecto.

Según estudios de Hernández et al. (2016), “la mosca blanca requiere tejidos activos con flujo de foto asimilados para establecer colonias y reproducirse, de modo que en plantas debilitadas por enfermedades y estrés ambiental su impacto en severidad tiende a disminuir”, aun cuando logren establecerse sobre el cultivo, esto explica el por qué, pese a la presencia de la plaga, los niveles de severidad bajo Agryl y malla se mantuvieron bajos en comparación con otros tratamientos.

En contraste, la malla ofrece un grado de ventilación mayor, lo que puede favorecer variaciones térmicas más marcadas dentro del microclima. Aunque estas fluctuaciones ayudan a reducir humedad excesiva, también pueden incrementar el estrés fisiológico en periodos de calor, volviendo al cultivo más susceptible a daños indirectos.

Por otra parte, los tratamientos T5 cobertura de malla con plástico y T3 techo de plástico ocuparon posiciones intermedias, con valores de severidad de (40.28%) y (53%), respectivamente. En ambos casos, las plantas mantuvieron suficiente producción de savia, lo que facilitó la alimentación de la mosca blanca y, en consecuencia, una mayor expresión de daño en comparación con Agryl y malla.

El recubrimiento de plástico tendió en aumentar la temperatura interna y redujo la ventilación, generando microclimas más cálidos y húmedos que favorecen tanto a la fisiología de la planta como al desarrollo de plagas, Teitel et al. (2008). Esta explicación donde la ventilación fue más limitada, la mosca blanca encontró condiciones más favorables para su desarrollo.

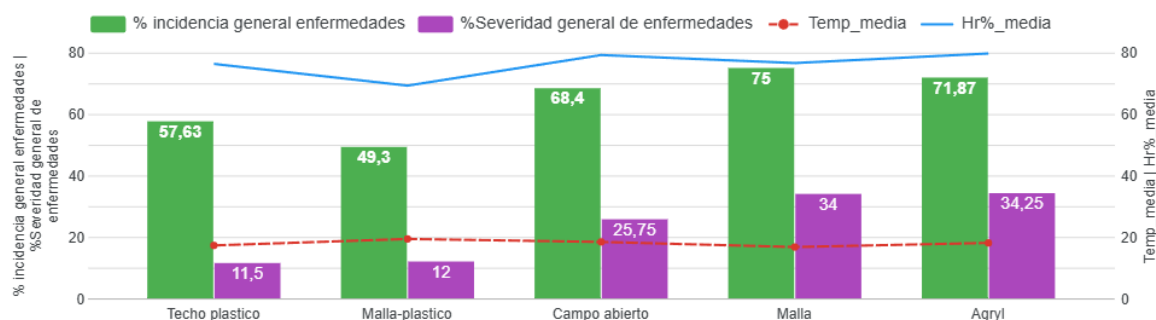
En contraste, la combinación de T5 cobertura malla con plástico actuó como un punto intermedio: aunque permitió el ingreso de luz y cierta ventilación, la cobertura plástica adicional generó un ambiente con mayor disponibilidad de foto asimilados, que sirvió de alimento para la plaga, incrementando la severidad respecto a la malla sola.

El escenario más crítico se observó en T4 testigo absoluto en campo abierto, con una severidad de (67.13%). Aquí, la ausencia total de barreras físicas facilitó el ingreso y colonización de artrópodos, y al mismo tiempo las condiciones de mayor radiación y variabilidad climática generaron estrés en las plantas.

De acuerdo con Morales et al. (2018), menciona que “los cultivos a campo abierto suelen presentar mayor incidencia de plagas debido a la exposición directa, la cual, combinada con las fluctuaciones ambientales, debilita los mecanismos de defensa de las plantas”, Además, la mayor humedad relativa registrada en este tratamiento cercana al (80%) favoreció la actividad de la mosca blanca, ya que este insecto encuentra condiciones óptimas de dispersión y colonización en ambientes cálidos y húmedos, Polston y Capobianco (2013).

## 2. Incidencia y severidad de enfermedades

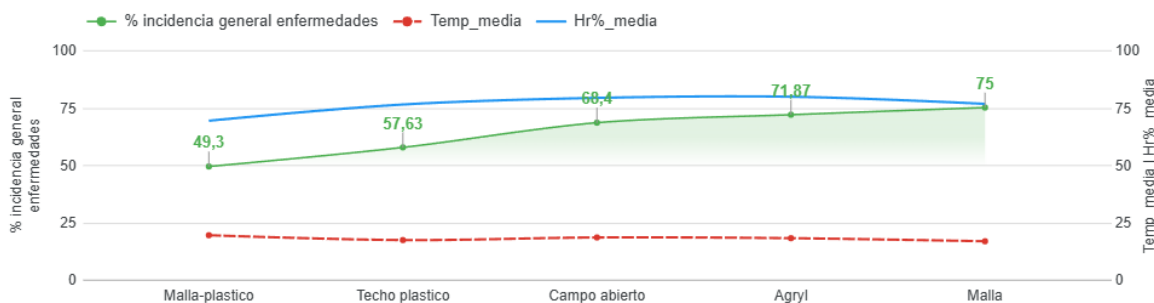
Figura 31 Gráfica de la progresión de la incidencia y severidad de enfermedades asociada a cambios en la temperatura y humedad relativa en los tratamientos evaluados.



La gráfica muestra que el T5 de cobertura malla con plástico y T3 techo plástico tienen los valores más bajos de enfermedades, lo que indica que ofrecen mejor protección, mientras que el T1 de cobertura de malla y agryl presentan los valores más altos, lo que sugiere mayor exposición o menor control de condiciones ambientales.

El T4 testigo absoluto en campo abierto está en un punto intermedio, pero con una severidad relativamente alta, las líneas de temperatura y humedad muestran que las condiciones más controladas Como el T5 de cobertura malla con plástico tiende a tener temperaturas más estables y humedad más alta, lo cual puede estar relacionado con menor incidencia de enfermedades.

Figura 32 Gráfica de la progresión de la incidencia de enfermedades asociada a cambios en la temperatura y humedad relativa en los tratamientos evaluados.



Los resultados obtenidos del análisis de varianza ANOVA reflejan en la gráfica que la menor incidencia se presentó en el T5 de cobertura malla con plástico, alcanzando valores considerablemente más bajos en comparación con las demás coberturas.

En contraste, el nivel más alto de incidencia se registró en el T1 cobertura de malla, lo cual indica que no todas las coberturas físicas ofrecen la misma eficacia para reducir la presión de patógenos en el cultivo.

El efecto positivo del T5 cobertura malla con plástico es debido a su capacidad de generar una barrera física más eficiente frente a la entrada de esporas, insectos vectores y otros agentes causales de enfermedades, con menor contacto directo con el entorno exterior, reduciendo así la dispersión de patógenos transmitidos por viento, lluvia o insectos.

así mismo dicho tratamiento generó un microambiente más regulado de (19.34° C y 69.5 Rh), el cual el porcentaje de incidencia corresponde solo al (53.14%), por otra parte, el techo plástico mostró una reducción intermedia en la incidencia de enfermedades.

Aunque esta cobertura protege parcialmente al cultivo de la lluvia directa y de ciertos factores climáticos, no logra un control tan efectivo como el T5 cobertura malla con plástico, debido a que no impide totalmente el ingreso de insectos vectores ni regula en la misma medida el microclima alrededor de las plantas.

El T4 testigo absoluto en campo abierto presentó valores más altos de incidencia que las coberturas mencionadas anteriormente, ya que el cultivo expuesto directamente al ambiente

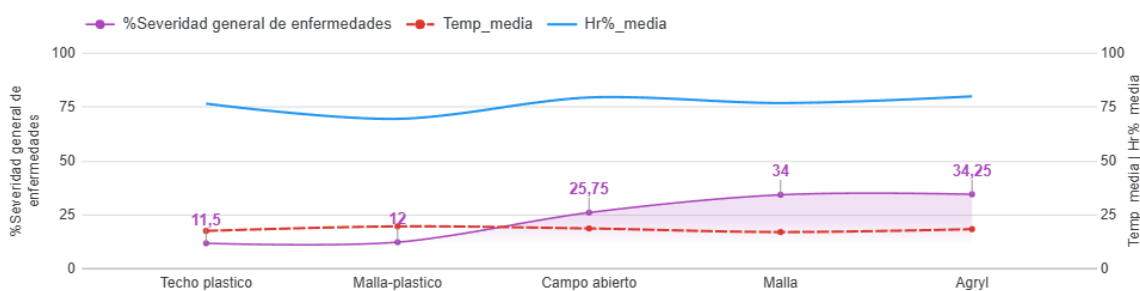
se encuentra en condiciones más favorables para el desarrollo de patógenos, dado que la dispersión de esporas y el ingreso de insectos vectores ocurren sin restricción.

Además, las condiciones de humedad relativa y temperatura no se regulan, generando un microclima favorable para la proliferación de enfermedades fúngicas y bacterianas, lo cual explica la diferencia estadísticamente significativa en relación con los tratamientos con cobertura.

En el caso del Agryl, los resultados muestran una incidencia relativamente elevada, con valores comparables a los obtenidos en campo abierto. Aunque este tipo de cobertura ligera se utiliza para disminuir el ataque de insectos y modificar ligeramente la temperatura, su efectividad es menor frente a enfermedades de origen fúngico y bacteriano, debido a que el material no siempre logra mantener una barrera física lo suficientemente densa para frenar la dispersión de esporas o reducir la acumulación de humedad el cual se registró con (70.71%).

Finalmente, el T1 de cobertura malla evidenció la mayor incidencia de enfermedades, ya que este tipo de cobertura, aunque actúa como barrera contra algunos insectos, no regula adecuadamente el microclima interno, ya que durante la investigación se evidencio la acumulación de humedad debajo de la estructura y la menor ventilación, seguidamente esto generó condiciones favorables para la proliferación de patógenos.

Figura 33 Gráfica de la progresión de la severidad de enfermedades asociada a cambios en la temperatura y humedad relativa en los tratamientos evaluados.



De acuerdo al análisis de varianza ANOVA existen diferencias significativas entre tratamientos, reflejada en la gráfica, Cherlinka (2025) menciona que << la severidad de

enfermedades tendrá lugar si hay un cultivo susceptible a un determinado agente patógeno y las condiciones son favorables para que la enfermedad se propague.>>.

Por ello en el T5 de cobertura malla con plástico mantuvo una temperatura promedio de 19.34 °C y una humedad relativa de 69.25%, condiciones menos favorables para la proliferación de hongos y bacterias en comparación con las demás coberturas, por ejemplo, el T1 de cobertura de malla alcanzó la mayor severidad (24.75), con una humedad relativa elevada (76.6%) y temperaturas que propiciaron una mayor condensación y permanencia de agua en las hojas, lo cual favoreció la germinación de esporas.

De manera similar, el T2 cobertura de agryl y el T4 testigo absoluto de campo abierto presentaron humedades relativas superiores al 79%, lo que, junto con las lluvias intensas ocurridas durante el periodo experimental, generó un microclima altamente favorable para el desarrollo de enfermedades foliares como tizón tardío (*Phytophthora infestans*), podredumbre gris (*Botrytis cinerea*), y bacteria del género de las xantomonas.

En contraste, el T5 de la cobertura malla con plástico actuó como una barrera física contra el impacto directo de las lluvias y, al mismo tiempo, permitió una regulación más equilibrada de la temperatura y humedad. Esto redujo el periodo de humedad libre en el follaje, limitando la infección y dispersión de patógenos.

Aunque el T3 cobertura techo de plástico también redujo en cierta medida la severidad (5.00), su humedad relativa (76.32%) fue más elevada que la registrada en la malla con plástico, lo que explica la diferencia en la efectividad.

Adicionalmente, las lluvias intensas incrementaron el riesgo de dispersión de esporas y salpicaduras de patógenos desde el suelo hacia la parte aérea del cultivo. Bajo estas condiciones, el T5 de la cobertura de malla con plástico se mostró más eficiente al limitar tanto la entrada de inóculo proveniente del exterior como la acumulación excesiva de humedad dentro del microambiente del cultivo.

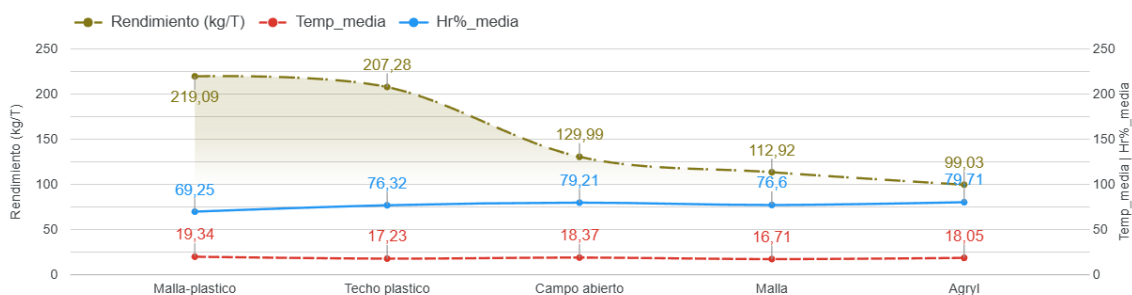
Asimismo, es importante destacar que el desarrollo de la investigación coincidió con los meses de mayor acumulación de lluvia en el área de estudio. Durante el periodo experimental, comprendido entre marzo y septiembre, se registraron precipitaciones que incrementaron progresivamente hasta alcanzar 327.4 mm en junio y 346.3 mm en

septiembre, valores que superan los niveles críticos para el cultivo de tomate, ya que se considera que volúmenes superiores a 60 mm por evento o más de 100 mm semanales aumentan significativamente el periodo de humedad libre sobre el follaje.

Bajo estas condiciones, los tratamientos con mayor exposición, como T1 de cobertura de malla y T4 de producción a campo abierto, mostraron incrementos en la dispersión de inóculo, salpicadura de suelo y condensación sobre hojas, factores que favorecieron el establecimiento de patógenos como (*Phytophthora infestans*) y (*Botrytis cinerea*) Por el contrario, el T5 de cobertura malla con plástico mitigó los efectos negativos de estas lluvias intensas al actuar como una barrera contra el impacto directo del agua y mantener un microclima menos propicio para el desarrollo de enfermedades, lo que explica la menor severidad registrada en este tratamiento.

### 3. Productividad/Rendimiento

Figura 34 Presentación gráfica sobre el rendimiento de tomate en kilogramos por tratamiento



El comportamiento fenológico del cultivo mostró variaciones estrechamente asociadas al microclima generado por cada sistema de protección. Estos cambios ambientales influyeron en la velocidad de acumulación térmica, lo cual se reflejó en el inicio de la fase reproductiva. Los tratamientos que mantuvieron las temperaturas más elevadas, tales como malla-plástico (19.34 °C) y campo abierto (18.37 °C), presentaron una activación reproductiva más temprana, indicando que el incremento térmico favoreció un avance más rápido de la etapa vegetativa hacia floración. Por el contrario, los sistemas con condiciones más frescas, como malla (16.71 °C) y techo plástico (17.23 °C), prolongaron ligeramente el desarrollo inicial, aunque proporcionaron condiciones más estables para un crecimiento sostenido del cultivo.

Estas diferencias térmicas repercutieron directamente sobre el proceso de fructificación y cosecha. Los tratamientos con condiciones micro climáticas más equilibradas entre temperatura y humedad relativa lograron iniciar la producción con mejores características de firmeza, tamaño y uniformidad, debido a la optimización de la fotosíntesis y translocación de fotoasimilados hacia los frutos. Conforme avanzó el ciclo, la interacción higrótérmica dentro de cada estructura determinó el comportamiento productivo, mostrando divergencias marcadas entre los tratamientos con protección eficiente y aquellos más expuestos al ambiente exterior.

En términos de productividad, la respuesta del cultivo fue contundente. El tratamiento malla-plástico obtuvo el mayor rendimiento con 219.09 kg/T, seguido de techo plástico con 207.28 kg/T, ambos representando una superioridad significativa frente al resto. En contraste, sistemas menos protegidos como campo abierto, malla y agryl alcanzaron valores considerablemente menores: 129.99 kg/T, 112.92 kg/T y 99.03 kg/T, respectivamente. Esta tendencia demuestra que la protección física contra los factores ambientales adversos permite una mayor eficiencia fisiológica y una prolongación del periodo productivo.

Un factor determinante en esta diferenciación fue la humedad relativa del aire. El tomate requiere condiciones óptimas de 65–75% para mantener un balance adecuado entre intercambio gaseoso y control fitosanitario. Solo el tratamiento malla-plástico (69.25%) se mantuvo dentro de este rango ideal, mientras que los demás tratamientos superaron los límites superiores: techo plástico 76.32%, malla 76.60%, y especialmente campo abierto 79.21% y agryl 79.71%, propiciando condiciones favorables para enfermedades foliares, desbalance hídrico y reducción del área fotosintéticamente activa.

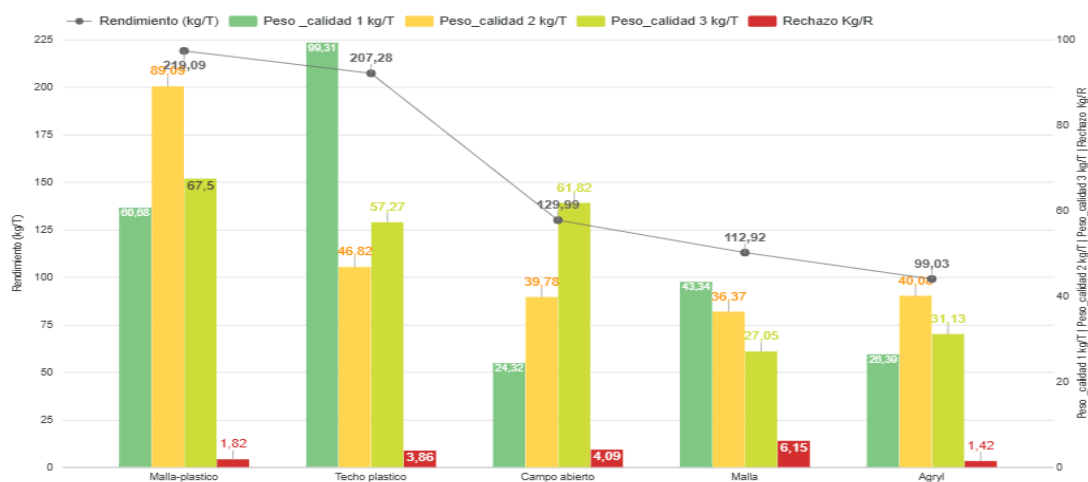
La elevada saturación de humedad en los sistemas más expuestos generó microclimas restrictivos, acelerando la senescencia, disminuyendo el cuajado y provocando mayor proporción de frutos no comerciales. A medida que aumentaron los ciclos de cosecha, se acentuaron las diferencias productivas entre tratamientos, observándose pérdidas prematuras de follaje y reducción del calibre del fruto en agryl, malla y campo abierto. Por el contrario, las coberturas semicerradas permitieron una estabilidad productiva más prolongada, manteniendo frutos con mayor peso y consistencia hacia el final del ciclo.

La relación inversa entre humedad y rendimiento se evidencia claramente en la gráfica: conforme aumentó la saturación hídrica del microclima, disminuyó la productividad del cultivo. Estos resultados se corresponden con el alto nivel de presión biótica en la región, donde el uso de protecciones físicas se vuelve indispensable para reducir el estrés ambiental y sanitario, maximizando el potencial productivo del tomate.

En síntesis, la integración del análisis del microclima con el rendimiento confirma que la eficiencia de las coberturas radica no solo en proteger al cultivo de factores climáticos extremos, sino también en mantener un equilibrio higrotérmico que limite el desarrollo de enfermedades y optimice la productividad. Bajo las condiciones evaluadas, malla-plástico demostró ser la alternativa más eficiente para estabilizar el microambiente y asegurar altos niveles de producción, seguido por techo plástico, mientras que malla, agryl y campo abierto presentaron limitaciones significativas para sostener un desarrollo competitivo del cultivo.

#### 4. Calidad de tomate

Figura 35 Gráfica del rendimiento de tomate por tamaño por tratamiento



La figura presentada mostró el efecto de diferentes tipos de coberturas (malla-plástico, techo plástico, campo abierto, malla y agryl) sobre el peso de frutos de tomate distribuidos en tres categorías de calidad (tamaño 1, 2 y 3), así como el porcentaje de frutas rechazadas. Estos parámetros permiten comprender cómo las condiciones micro climáticas generadas por cada cobertura influyeron en la productividad y calidad del cultivo.

Se observó que el T3 techo de plástico presentó el mayor peso de frutos de calidad 1 (99.31 kg/T), lo que indica que esta cobertura generó un ambiente favorable para la formación de frutos con características comerciales superiores. Este resultado puede atribuirse a la mayor estabilidad micro climática proporcionada por este tipo de cubierta, ya que la humedad relativa alcanzó alrededor del 76%, lo cual reduce el estrés hídrico y favorece los procesos fisiológicos de la planta, como la fotosíntesis y la translocación de fotoasimilados hacia los frutos, Castilla (2007). Además, temperaturas moderadas contribuyen a una adecuada polinización y reducción de abortos florales, Peet y Willits (1998), lo que explicaría la mayor proporción de frutos de primera calidad.

En contraste, en el tratamiento de malla-plástico, aunque el peso de frutos de calidad 1 fue menor (80.88 kg/T), se observó el mayor aporte en frutos de calidad 2 y 3 (84.19 y 67.5 kg/T, respectivamente). Este patrón sugiere que, si bien la cobertura combinada permitió una excelente producción total, las condiciones de microclima promovieron una distribución más amplia en la clasificación de frutos, manteniendo una proporción elevada de tomates comerciales. La humedad relativa registrada en esta estructura fue la más baja entre tratamientos (69%), lo que pudo generar un ligero estrés moderado, pero sin afectar de manera negativa la calidad global, Medrano et al. (2005).

Por su parte, el T1 de malla mostró valores más reducidos en frutos de calidad 1 (43.34 kg/T) y calidad 2 (27.05 kg/T), aunque se presentó una mejora relativa en frutos de calidad 3 (33.37 kg/T). Esto se explica porque las mallas reducen parcialmente la radiación y la incidencia de plagas, pero no controlan adecuadamente la humedad y variaciones térmicas. La HR en malla (76–77%) y una temperatura más baja limitaron la eficiencia fotosintética y aumentaron la tasa respiratoria de las plantas. Estudios previos señalan que fluctuaciones micro climáticas afectan negativamente el cuajado y el llenado de frutos, Patané et al. (2011).

El uso de agryl mostró un comportamiento similar al anterior, con bajo aporte en calidad 1 (40.10 kg/T), aunque con incrementos en calidad 2 (31.13 kg/T) y calidad 3 (29.39 kg/T). Esto podría deberse a que el agryl, al ser una manta permeable, ofrece cierta protección frente a radiación y lluvias, pero no regula efectivamente la humedad relativa, Orozco et al.

(2013). En consecuencia, la fisiología del cultivo pudo verse afectada, disminuyendo la proporción de frutos de mayor categoría comercial.

Finalmente, el tratamiento testigo en campo abierto presentó el comportamiento más desfavorable en frutos de calidad 1 (61.82 kg/T) y calidad 2 (39.78 kg/T), acompañado de un peso todavía más bajo en frutos de calidad 3 (24.32 kg/T). La ausencia de protección expone al cultivo a fluctuaciones ambientales severas (lluvias, viento, plagas y radiación directa), lo que afecta negativamente la uniformidad y calidad de los frutos, Valera et al. (2016). El mayor porcentaje de rechazo en este sistema (4.09 kg/T) confirma que las condiciones adversas incrementan la presencia de defectos fisiológicos, como quemaduras, rajaduras y desórdenes asociados al estrés.

Al relacionar estos resultados con la humedad relativa promedio, se observa que los tratamientos con mayor estabilidad hídrica (techo plástico y malla con plástico) favorecieron la productividad total y la obtención de frutos de mayor calidad. La HR por encima de 70% es reportada como favorable para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas, ya que reduce la transpiración excesiva y mantiene un balance hídrico adecuado en la planta, Medrano et al., (2000). Por otro lado, temperaturas y HR menos estables en malla, agril y campo abierto explican la reducción en la proporción de frutos de primera calidad.

Estos hallazgos son consistentes con estudios realizados en ambientes protegidos, donde se ha demostrado que la implementación de coberturas plásticas incrementa el rendimiento y la calidad de los frutos en comparación con el cultivo a cielo abierto, Valera et al., (2016). En particular, el techo plástico se perfila como el tratamiento más adecuado para obtener tomates de calidad comercial superior, dado que su microclima interno proporciona mejores condiciones para la fisiología reproductiva del cultivo.

Los resultados obtenidos permiten analizar de manera conjunta el impacto de los diferentes sistemas de cobertura no solo sobre la producción y calidad de frutos, sino también en la severidad general de enfermedades. Ambas variables están íntimamente relacionadas, ya que la incidencia de patógenos afectó de manera directa la calidad comercial de los frutos, y las condiciones micro climáticas de cada cobertura determinan tanto el desarrollo de las plantas como la proliferación de enfermedades.

En la primera gráfica se evidenció que el T3 generó la mayor proporción de frutos de calidad 1, mientras que tratamientos como malla, agryl y campo abierto se asociaron con mayores cantidades de frutos de calidad 3. Estos resultados encuentran soporte en la segunda gráfica, donde se observa que la severidad de enfermedades fue mínima en techo plástico (11,5%) y malla con plástico (12%), mientras que los valores más altos ocurrieron en agryl (34,25%) y malla (34%), con el campo abierto en un nivel intermedio (25,75%).

Este patrón indica que la reducción de enfermedades bajo techo plástico y malla con plástico fue un factor determinante en la obtención de frutos de mayor calidad. Según García et al. (2019), la presencia de enfermedades como podredumbre gris, tizón temprano y bacterianas que reducen la fotosíntesis foliar y compromete la translocación de carbohidratos hacia los órganos reproductivos, resultando en frutos más pequeños, deformes o con menor firmeza. Así, el bajo nivel de enfermedades en los sistemas más protegidos explica por qué se obtuvo un mayor peso de frutos de calidad 1 y 2 en comparación con el campo abierto y las coberturas de menor control.

En el caso de T2 agryl y T1 malla, la alta severidad de enfermedades concuerda con la baja proporción de frutos de calidad 1 y la predominancia de frutos de menor calidad. Estas coberturas, al no aislar de manera suficiente al cultivo, permiten un mayor ingreso de inóculo y facilitan la dispersión de patógenos transmitidos por el viento, la lluvia o vectores insectiles, López et al. (2012). Adicionalmente, la elevada HR (superior al 75% en todos los tratamientos) favorece el desarrollo de patógenos como (*Botrytis cinérea*) y (*Alternaria solani*), siendo más marcada su incidencia cuando no existen barreras físicas más herméticas, como sucede en la tela no tejida y la malla.

El campo abierto presentó un nivel intermedio de severidad (25,75%), lo que explica por qué, aunque se alcanzó una alta producción de frutos de calidad 3 los frutos de calidad superior fueron escasos. La falta de protección expone a la planta a lluvias que facilitan infecciones foliares y a insectos vectores de virus, lo cual repercute en pérdidas significativas de calidad comercial, Jones et al. (2014).

Estos hallazgos resaltan la importancia del microclima en la relación entre sanidad vegetal y rendimiento. En techo plástico y malla con plástico, la menor severidad de enfermedades se asocia a una mayor protección física contra la dispersión de patógenos y a

la posibilidad de mantener condiciones micro climáticas más estables, que además favorecen la fisiología del cultivo. En contraste, los sistemas más expuestos presentan mayores limitaciones en sanidad y, por ende, producen frutos de calidad inferior.

En síntesis, la producción de frutos de calidad en tomate depende tanto del microclima (temperatura y HR) como del manejo de enfermedades influenciado por el tipo de cobertura. La interacción de ambos factores explica por qué el T3 techo plástico fue el sistema más eficiente para obtener frutos de primera calidad, mientras que las coberturas menos herméticas o el campo abierto propiciaron mayor incidencia de enfermedades y una reducción en la calidad del rendimiento.

## 6. Análisis económico

*Tabla 6 Resumen de la expresión de los indicadores económicos por tratamiento*

Indicadores económicos	TRATAMIENTOS				
	Malla	Agryl	Techo de plástico	Campo abierto	Malla con plástico
VAN	Q 89,016	Q 15,075	Q 137,967	Q 327094.71	Q 199,057
TIR	54%	18%	91%	889%	95%
B.C.	1.25	1.18	0.48	0.93	0.61

### 1. T1-Cobertura de malla

El análisis del flujo de caja correspondiente al sistema de cultivo bajo malla revela una estructura financiera sólida y una rentabilidad atractiva para el agricultor. El proyecto alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de Q89,016.07, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 54% y una relación Beneficio/Costo (B.C.) de 1.25. Un valor positivo del VAN demuestra que el proyecto genera una ganancia de Q89,016.07 en términos de valor presente, tras descontar al 10%. Esto confirma que el uso de malla es económicamente viable, aunque su rentabilidad es menor en comparación con coberturas que generan mayores ingresos. La TIR del 54% supera con gran margen la tasa de descuento (10%), indicando que la inversión en malla ofrece un retorno atractivo para el productor. Además, significa que por cada Q1.00 invertido se obtienen 25 centavos adicionales en beneficios. Al ser un valor mayor a 1, confirma nuevamente que la cobertura de malla es rentable y recomendada desde el punto de vista financiero.

Sin embargo, la rentabilidad no puede analizarse de forma aislada del contexto agronómico y fitosanitario ya que el uso de mallas en la agricultura protegida ha

demostrado ser una estrategia eficaz para reducir la incidencia de plagas y enfermedades, aunque se ha observado que ciertos tipos de malla pueden modificar el microclima y favorecer el desarrollo de algunas plagas secundarias, también se ha documentado un aumento en la presencia de enemigos naturales, lo que permite un manejo integrado más equilibrado, Buenahora et al. (2023).

En términos de manejo agronómico, el cultivo bajo malla permite un mayor control del ambiente edafoclimático, lo que se traduce en una mejor eficiencia en el uso del agua, fertilizantes y otros insumos. La literatura especializada en agricultura protegida, señala que estas estructuras permiten extender los ciclos de cultivo, mejorar la calidad del producto y reducir la dependencia de agroquímicos, lo cual es especialmente relevante en contextos donde se busca cumplir con estándares de inocuidad y sostenibilidad. Además, el manejo técnico bajo malla facilita la implementación de prácticas como el fertirriego, el monitoreo fitosanitario y la producción escalonada, lo que mejora la planificación y reduce riesgos productivos, Santos et al. (2024).

Desde la perspectiva del agricultor, este sistema representa una inversión estratégica. Si bien requiere un capital inicial mayor que el cultivo a campo abierto, los beneficios en términos de estabilidad productiva, reducción de pérdidas por plagas y enfermedades, y acceso a mercados de mayor valor justifican ampliamente la inversión.

No obstante, es importante considerar que el éxito del sistema depende de un manejo técnico adecuado, la instalación de la malla debe ser hermética, con puertas trampa y protocolos de bioseguridad que limiten la entrada de plagas. También se requiere capacitación en monitoreo, manejo integrado de plagas (MIP) y control del microclima. En este sentido, el acompañamiento técnico y el acceso a información son factores clave para garantizar la sostenibilidad del sistema González et al. (2014).

Por otra parte, la clasificación del tomate por calidad se convierte en un elemento determinante para fortalecer los ingresos económicos del sistema bajo malla. El precio de venta varía según el nivel de calidad del fruto: el tomate de primera calidad puede comercializarse a Q10.00/kg, el de segunda a Q7.00/kg y el de tercera en un promedio de Q4.00/kg. Debido a las mejores condiciones de sanidad y presentación que se obtienen bajo malla, la proporción de fruta de primera y segunda calidad es mayor en comparación con

campo abierto, lo que mejora los ingresos totales del productor. En este sentido, el impacto económico directo se refleja no solo en la cantidad producida, sino en el incremento del valor de venta por kilogramo, lo cual contribuye significativamente al buen desempeño financiero evidenciado en el VAN, TIR y relación B/C.

## 2. T2-Cobertura de agryl

El análisis del flujo de caja correspondiente al sistema de cultivo con cobertura de agryl muestra una estructura financiera más conservadora en comparación con el sistema bajo malla. El proyecto alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de Q19,756.44, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 18% y una relación Beneficio/Costo (B.C.) de 1.18.

A pesar de ser positivo, este valor evidencia una rentabilidad moderada, pues el proyecto únicamente genera Q19,756.44 en valor actual tras descontar al 10%, lo que indica un margen más reducido de beneficios. Una TIR del 18% supera la tasa de descuento (10%), lo que confirma la viabilidad del proyecto; sin embargo, el retorno es significativamente menor en comparación con otras tecnologías analizadas. Además, significa que por cada Q1 invertido, se obtienen 18 centavos adicionales en beneficios. Si bien es un resultado favorable ( $>1$ ), refleja una eficiencia económica más baja.

Comparado con el sistema de malla, que presentaba un VAN de Q195,345.10, una TIR del 100% y un B.C. de 1.51, el sistema con agryl es menos rentable, pero también puede implicar menores costos de instalación y mantenimiento. Desde el punto de vista agronómico, la agryl ofrece beneficios similares en cuanto a la protección contra plagas y enfermedades, aunque con menor durabilidad y resistencia estructural. Estudios como los de López et al. (2022) han demostrado que este tipo de cobertura reduce la incidencia de insectos vectores y mejora la sanidad del cultivo, aunque su efectividad depende del tipo de cultivo, condiciones climáticas y calidad del material utilizado.

En cuanto al manejo agronómico, la agryl permite una mejora en el microclima, especialmente en zonas con alta radiación solar o vientos fuertes. Sin embargo, su uso requiere un monitoreo constante, ya que puede generar acumulación de humedad si no se ventila adecuadamente, lo que favorece enfermedades fúngicas. A diferencia de la malla, que permite una ventilación más controlada y duradera, la agryl suele utilizarse en ciclos más cortos o como complemento temporal.

Desde la perspectiva del agricultor, este sistema puede ser una opción viable para quienes buscan una alternativa de bajo costo a la agricultura protegida tradicional. Es especialmente útil en zonas donde las condiciones climáticas no justifican una inversión mayor o donde se requiere una solución rápida y flexible. No obstante, su menor vida útil y la necesidad de reemplazo frecuente pueden afectar la rentabilidad a largo plazo.

Adicionalmente, la proporción de frutos por calidad tiene un impacto directo en el ingreso neto. Tomando como referencia los precios indicados (Q7/kg para tomates de primera calidad, Q5/kg para segunda y Q3/kg para tercera), el sistema bajo agryl genera una mayor cantidad de fruto comercializable que el campo abierto, pero menor calidad que el sistema bajo malla. Esto implica que una mayor proporción del rendimiento se vende a precios más bajos, reduciendo el ingreso total por ciclo. Por lo tanto, aunque el sistema con agryl ofrece un mejor desempeño que el campo abierto, su aporte económico se ve limitado por su menor capacidad para producir tomates de alta clasificación comercial.

### T3. T3 techo de plástico

La inversión inicial es de Q52,201.00, destinada a la instalación de la infraestructura de protección. A partir del primer año, se generan ingresos constantes de Q248,571.00 anuales, mientras que los costos totales por año (Q51,473.80 en costos variables y Q600.00 en costos fijos) ascienden a Q52,073.80, lo que deja un flujo económico neto de Q196,497.20 por año.

En términos acumulados, el proyecto genera Q982,486.00 en utilidad neta durante cinco años, descontando la inversión inicial. El Valor Actual Neto (VAN) de Q137,966.56 indica que el proyecto genera una ganancia significativa en términos de valor presente, considerando el costo de oportunidad del 10%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 91% revela un retorno altamente atractivo al superar ampliamente la tasa de descuento. Sin embargo, la Relación Beneficio/Costo (B.C.) de 0.48 señala que por cada quetzal invertido únicamente se recuperan 48 centavos, lo cual se encuentra por debajo del umbral de rentabilidad ( $>1$ ) y refleja una eficiencia económica limitada. Esta condición implica que, aunque el VAN y la TIR resultan favorables, la proporción entre beneficios y costos no justifica plenamente la inversión bajo las condiciones evaluadas.

Desde el punto de vista comercial, los ingresos generados no provienen de un precio único de venta, ya que no todos los tomates se comercializan bajo la misma categoría de calidad. El sistema bajo techo mejora sustancialmente la uniformidad y apariencia del fruto, por lo que se logra una mayor proporción de tomates clasificados como primera calidad, cuyo valor de venta es mayor. En este modelo se considera una clasificación donde el tomate de primera calidad alcanza un precio de Q10.00 por kilogramo, el de segunda calidad Q7.00 por kilogramo, y el de tercera calidad un valor promedio de Q4.00 por kilogramo, lo que influye directamente en el ingreso final. La mejora en manejo fitosanitario, la reducción de daños mecánicos y el ambiente controlado permiten una mayor proporción de tomates de alta calidad, contribuyendo así a mantener los ingresos en Q248,571.00 anuales.

Desde el punto de vista fitosanitario, el uso de techo de plástico tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos. Al crear un ambiente protegido, se limita la entrada de vectores de enfermedades altamente perjudiciales en cultivos de tomate y la reducción de la presión de plagas permite disminuir la frecuencia y cantidad de aplicaciones de insecticidas y fungicidas, lo que se traduce en una reducción directa de los costos variables, estimados en Q51,473.80 anuales.

En condiciones de campo abierto, estos costos pueden superar los Q70,000.00 anuales debido a la necesidad de tratamientos más intensivos y frecuentes. Bajo techo, se estima una reducción de hasta 25% en costos fitosanitarios, lo que representa un ahorro aproximado de Q12,000.00 por año, acumulando Q60,000.00 en cinco años, que se reflejan en la eficiencia del flujo económico neto. Además, la mejora en la sanidad del cultivo permite obtener frutos de mejor calidad, lo que facilita el acceso a mercados diferenciados y precios más altos, especialmente en temporadas de baja oferta.

El ambiente controlado también reduce el estrés hídrico y térmico, lo que mejora la fisiología del cultivo y reduce la incidencia de enfermedades fúngicas, el cual no solo mejora el rendimiento, sino que prolonga la vida útil del cultivo y reduce las pérdidas postcosecha. Técnicamente, esto se traduce en una mayor estabilidad de ingresos, que en este modelo se mantienen constantes en Q248,571.00 anuales, considerando no solo el volumen de producción, sino también la distribución por calidades que determina el precio final de venta.

#### 4.T4-testigo absoluto, campo abierto

El análisis del sistema de cultivo a campo abierto, en comparación con los sistemas protegidos, permite observar diferencias significativas tanto en los resultados financieros como en las condiciones agronómicas y fitosanitarias. Bajo este contexto, el cultivo a campo abierto presenta una inversión inicial baja de Q10,001.00 y alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de Q19,103.30, lo que evidencia que el proyecto sí genera beneficios económicos, obteniendo una ganancia en valor presente al aplicar una tasa de descuento del 10%. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 72% indica que el proyecto es financieramente viable, al superar ampliamente la tasa mínima esperada de inversión. Sin embargo, la relación Beneficio/Costo (B.C.) de 0.63 señala que por cada Q1.00 invertido únicamente se recuperan Q0.63 en beneficios, es decir, los costos son mayores que los ingresos, lo cual indica ineficiencia económica según este criterio. Esta condición refleja que, aunque el VAN y la TIR muestran rentabilidad, la estructura del flujo económico no resulta del todo favorable frente a otras tecnologías evaluadas.

A diferencia de los sistemas protegidos, el cultivo a campo abierto está más expuesto a condiciones climáticas adversas y a una mayor presión de plagas y enfermedades. Durante el ciclo evaluado, se observó una mayor severidad de daños causados por insectos como (*Bemisia tabaci*), así como enfermedades fúngicas como (*Botrytis spp.*) y (*Phytophthora infestans*), especialmente en épocas de alta humedad.

Esta mayor incidencia fitosanitaria no solo incrementó los costos por aplicaciones de agroquímicos, sino que también redujo la calidad y cantidad de la producción comercializable. Según estudios de FAO (2020) y el IICA (2023), los cultivos a campo abierto pueden perder entre el 20% y el 40% de su rendimiento potencial debido a la exposición y el manejo no controlado, lo que coincide con las observaciones de este análisis.

Además, se registró una mayor proporción de frutos clasificados como segunda y tercera calidad, los cuales tienen menor valor de mercado, con precios aproximados de Q7.00/kg y Q4.00/kg respectivamente, en comparación con el tomate de primera calidad, que puede alcanzar hasta Q10.00/kg. Esta distribución por calidades afecta directamente el nivel de ingresos generados por el productor.

Económicamente, si se estima que el costo fitosanitario representa el 30% de los costos variables, y que este porcentaje se incrementa en campo abierto por la falta de barreras físicas, el productor podría estar gastando entre Q20,000 y Q25,000 anuales solo en control de plagas y enfermedades. Además, la pérdida de calidad del producto puede reducir el precio de venta en mercados exigentes, afectando aún más los ingresos.

Otro aspecto económico relevante es la variabilidad de precios del tomate en Guatemala, que puede oscilar entre Q3.00 y Q10.00 por kilogramo dependiendo de la temporada. En campo abierto, la producción está más expuesta a eventos climáticos que pueden afectar la cosecha justo en los momentos de mayor precio, lo que limita la capacidad del productor para aprovechar las ventanas de mercado más rentables.

#### 5.T5-Cobertura de malla con plástico

El análisis financiero del sistema de producción bajo malla con plástico demuestra que esta tecnología representa una alternativa económicamente rentable y agrónomicamente eficiente frente al cultivo en condiciones más expuestas. El Valor Actual Neto (VAN) de Q199,057.25 indica que el proyecto genera beneficios en términos de valor presente, después de descontar los ingresos al 10%, lo cual confirma su viabilidad económica. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 95% supera ampliamente la tasa mínima aceptable de inversión, evidenciando que el capital se recupera con un rendimiento considerablemente atractivo para el productor. No obstante, la relación Beneficio/Costo (B/C) de 0.61 revela que por cada quetzal invertido únicamente se obtienen 61 centavos de beneficio directo, lo cual podría interpretarse como una baja eficiencia desde este indicador; sin embargo, se debe analizar en conjunto con un VAN elevado y una TIR alta, que en su combinación demuestran la conveniencia del proyecto en el largo plazo.

Desde el punto de vista productivo y comercial, el sistema bajo malla con plástico favorece la obtención de frutos con mejor apariencia, mayor firmeza y menos daños físicos o por plagas. Esta mejora es determinante porque no todos los tomates se venden al mismo precio, ya que su valor depende de la categoría comercial alcanzada durante la cosecha. En el contexto guatemalteco, el tomate de primera calidad se comercializa a Q10.00/kg, el de segunda calidad a Q7.00/kg y el de tercera calidad a Q4.00/kg. Bajo este sistema de protección se obtiene un mayor porcentaje de tomates clasificados como de primera

calidad, incrementando de forma directa los ingresos del productor al poder acceder a mejores mercados y precios estables.

Asimismo, la estructura de malla con plástico crea un microclima más adecuado para el cultivo, reduciendo el estrés térmico y actuando como una barrera física contra insectos vectores y enfermedades, lo que se traduce en un menor uso de agroquímicos, reducción de pérdidas y una producción más inocua. Esto repercute positivamente tanto en la economía del productor como en la calidad final del producto. En conjunto, los indicadores financieros y los beneficios agronómicos evidencian que el sistema con malla y plástico es una opción sólida para mejorar la competitividad del cultivo de tomate, especialmente en regiones donde los factores climáticos y fitosanitarios limitan la producción a campo abierto.

## X. CONCLUSIONES

1. La investigación demostró que el uso de coberturas en macrotúneles influye de manera significativa en la productividad, sanidad y rentabilidad del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Retana) en el municipio de Sololá. Entre las alternativas evaluadas, la combinación de malla con plástico y el techo de plástico se posicionaron como las opciones más eficientes, al reducir la incidencia de plagas y enfermedades y, al mismo tiempo, incrementar los rendimientos y la viabilidad económica frente al cultivo a campo abierto.

2. La cobertura de malla con plástico resultó ser la más efectiva para reducir la incidencia y severidad de artrópodos, en particular de mosca blanca (*Bemisia tabaci*). En cuanto a las enfermedades, los tratamientos de malla con plástico y techo de plástico presentaron los niveles más bajos de severidad, demostrando que el uso de coberturas cerradas contribuye significativamente a limitar la presión de plagas y patógenos en el cultivo de tomate.

3. Los mayores rendimientos se alcanzaron en los tratamientos de techo de plástico (6,918 kg/ha) y malla con plástico (7,351 kg/ha), superando de manera significativa al testigo a campo abierto, así como a las coberturas de malla y agryl. Aunque la calidad de fruto no presentó diferencias significativas en todos los casos, el techo de plástico y el campo abierto produjeron frutos de mayor tamaño comercial, evidenciando que el microclima generado por las coberturas influye en la uniformidad y peso de los frutos.

4. Las coberturas evaluadas modificaron las condiciones internas de temperatura y humedad relativa de forma diferenciada. La malla con plástico mantuvo un microclima menos favorable para el desarrollo de plagas, con temperaturas promedio de 19.34 °C y humedades relativas de 69.25%. En contraste, la malla y el agryl generaron ambientes más húmedos, lo que favoreció la proliferación de artrópodos y enfermedades. Estos resultados evidencian que la regulación del microclima es determinante para el comportamiento agronómico y fitosanitario del cultivo.

5. La evaluación de los sistemas de producción de tomate evidencia que las coberturas protegidas representan una estrategia efectiva para incrementar la rentabilidad en comparación con el cultivo a campo abierto. Todos los tratamientos presentaron VAN

positivo; sin embargo, la eficiencia económica varía entre ellos. El sistema con malla y plástico destacó con mayor VAN y TIR superior al 90%, demostrando alta generación de excedentes. La malla sola también resultó rentable y con riesgo moderado. En contraste, el campo abierto, aunque con TIR alta por su baja inversión, mostró una relación B/C menor a 1, evidenciando menor eficiencia financiera. Agronómicamente, los sistemas protegidos redujeron significativamente plagas y enfermedades, mejorando la calidad comercial del fruto. Esto permite acceder a precios más altos, ya que el valor del tomate depende de su clasificación por calidad. En cambio, en campo abierto se observaron mayores pérdidas por factores climáticos y fitosanitarios. En conclusión, los sistemas protegidos, especialmente malla con plástico, ofrecen mayor estabilidad productiva y retorno económico para el productor.

6. Los resultados experimentales permitieron rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), la cual planteaba que ninguno de los cuatro tipos de cobertura generaba diferencias significativas en la productividad y sanidad del cultivo. En consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), que establece que al menos uno de los tratamientos de cobertura en macrotúnel presenta efectos diferenciados en las variables evaluadas. En este caso, los tratamientos de malla con plástico y techo de plástico confirmaron un impacto positivo y estadísticamente significativo en comparación con los demás tratamientos.

## XI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar la cobertura de malla con plástico, ya que reduce significativamente la incidencia y severidad de artrópodos y enfermedades en el cultivo de tomate, dicha estructura actúa como barrera física y regula el microclima, disminuyendo la presión de mosca blanca, el cual es uno de los agentes con mayor relevancia en las solanáceas y patógenos fúngicos, su temperatura promedio de 19.34 °C y humedad relativa de 69.25% son óptimas para el cultivo, además, limita el ingreso de vectores externos, el cual es ideal para zonas con alta presión biótica.

2. Se recomienda la implementación de sistemas de cultivo protegidos, especialmente bajo malla con plástico, debido a su mayor rentabilidad y mejor desempeño agronómico. Este sistema reduce la incidencia de plagas y enfermedades, mejora la calidad del fruto y permite acceder a mejores precios en el mercado. Aunque su inversión inicial es más elevada, los beneficios económicos a largo plazo compensan el gasto. El uso de malla también es una alternativa viable para productores con menor capital, ya que mejora los ingresos y disminuye riesgos productivos.

En cambio, el cultivo a campo abierto presenta menores rendimientos y mayores costos fitosanitarios, lo que limita su rentabilidad. Independientemente del sistema utilizado, es fundamental aplicar un manejo integrado de plagas y una adecuada clasificación del producto por calidad para maximizar los ingresos. Además, se recomienda fortalecer la capacitación técnica del productor para asegurar un manejo eficiente y sostenible. Por tanto, la decisión debe considerar los recursos disponibles y las condiciones locales, priorizando sistemas que incrementen la rentabilidad y estabilidad económica del cultivo de tomate.

3. Se recomienda el uso de malla con recubrimiento plástico como sistema de protección óptimo para la producción de tomate bajo condiciones similares a las del ensayo, ya que permite mantener un microclima estable dentro de los rangos ideales de temperatura y humedad relativa, favoreciendo tanto el rendimiento como la sanidad del cultivo.

Asimismo, se sugiere continuar con estudios complementarios que evalúen el comportamiento de esta cobertura en diferentes épocas del año y su interacción con el manejo integrado de plagas, a fin de consolidar un sistema de producción sostenible y eficiente.

4. Para maximizar la productividad, se recomienda el uso de cobertura de malla con plástico ya que en dicha investigación alcanzó un rendimiento equivalente a 7,351 kg/ha, el mayor rendimiento entre los demás tratamientos evaluados, aunque el techo plástico produjo frutos de mayor calidad comercial, la malla con plástico equilibró cantidad y calidad, bajo este contexto se sugiere combinar esta cobertura con prácticas de fertirriego y manejo integrado ya que esto garantiza frutos uniformes y reducirá pérdidas por enfermedades.

5. El sistema de malla con plástico presenta una alta rentabilidad, con un VAN de Q715,335.72 y una TIR de 284%. Aunque su inversión inicial es mayor, los ingresos anuales constantes y la reducción de costos fitosanitarios lo hacen sostenible. Se recomienda este sistema para productores que buscan estabilidad financiera y acceso a mercados exigentes ya que su relación beneficio/costo de 1.16 confirma su eficiencia económica.

6. Se recomienda priorizar sistemas de agricultura protegida frente al cultivo a campo abierto, especialmente en zonas con alta variabilidad climática, las coberturas como malla en combinación con plástico y techo plástico ofrecen ventajas en sanidad, rendimiento y rentabilidad, además, permiten extender ciclos de cultivo y mejorar la inocuidad del producto, el cual se sugiere acompañamiento técnico en instalación, monitoreo y manejo para garantizar sostenibilidad.

7. Se recomienda continuar desarrollando investigaciones orientadas a la evaluación de sistemas de producción con coberturas como agryl (tela no tejida), malla y combinaciones con plástico, incorporando nuevas variedades de tomate que puedan responder de manera más eficiente a las condiciones micro ambientales generadas por cada tipo de estructura.

La caracterización de materiales genéticos con mayor resistencia a enfermedades, mejor desempeño en ambientes protegidos y mayor calidad comercial podría mejorar significativamente la rentabilidad observada. Asimismo, se sugiere ampliar los estudios incluyendo diferentes densidades de siembra, periodos de producción y análisis costo-beneficio a largo plazo, considerando la vida útil real de las coberturas y su impacto en la sostenibilidad económica. La evaluación de otras tecnologías complementarias, como sistemas de fertirriego o control biológico, también podría fortalecer los resultados

agronómicos y financieros. De esta forma, la investigación futura permitirá identificar alternativas más competitivas y adaptadas a las condiciones productivas locales, ofreciendo a los agricultores opciones más eficientes y con menor riesgo asociada.

## XII. CRONOGRAMA

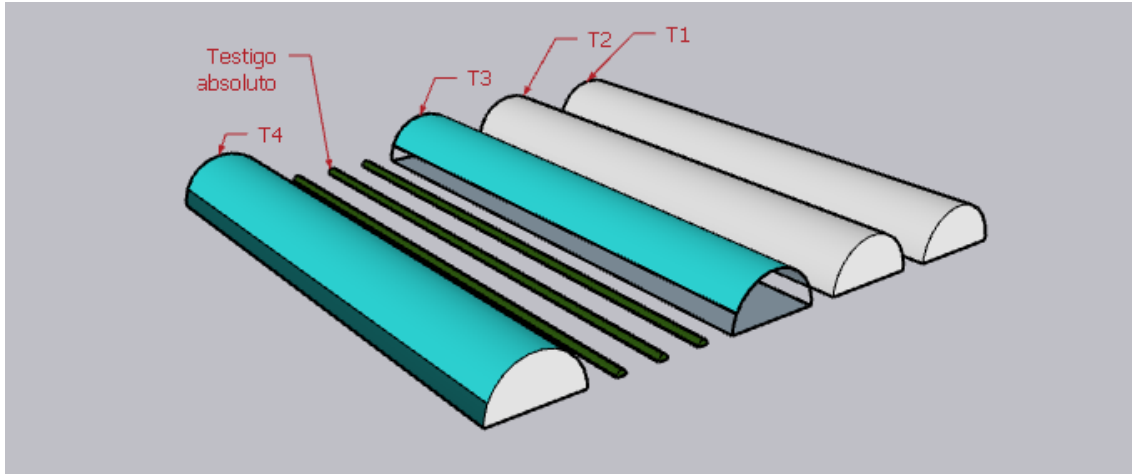
Tabla 7 Cronograma

Actividad	Meses																							
	1			2			3			4			5			6			7			8		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
<b>Objetivo 1: Identificar el efecto del tipo de cobertura sobre la incidencia y severidad de plagas, artrópodos y enfermedades.</b>																								
Limpieza de estructuras	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Desinfección de estructuras y materiales	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Preparación del suelo	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Establecimiento de mulch y riego	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siembra	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manejo del cultivo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Monitoreo de plagas y enfermedades	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
<b>Objetivo 2: Determinar el efecto del tipo de cobertura sobre la productividad y calidad de tomate y Objetivo 3: Determinar el efecto del tipo de cobertura sobre el microclima</b>																								
Siembra	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Manejo del cultivo	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Cosecha y calidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Monitoreo de microclima	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<b>Objetivo 4: Analizar la viabilidad económica de la producción de tomate bajo cubierta.</b>																								
Registro de costos de preparación de suelo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

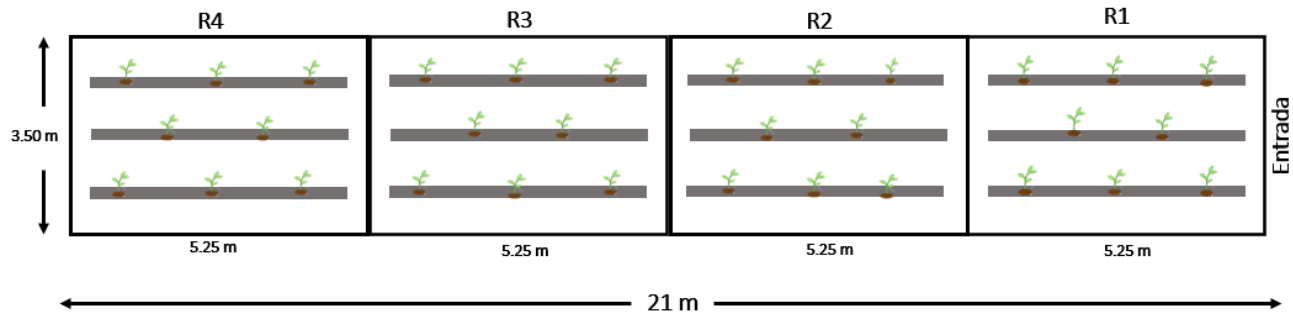
<b>Registro de costo de la estructura</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Costo del mulch y riego</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Costo de siembra y manejo</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Análisis de datos</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<b>Elaboración de informe final</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
<b>Presentación de resultados</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

# XIII. ANEXOS

## Anexo 1 Croquis



## Anexo 2 Propia extraída de SketchUp



## Anexo 3 Preparación de terreno





Anexo 4 Delimitación de las unidades experimentales e identificación de plantas



Anexo 5 Siembra



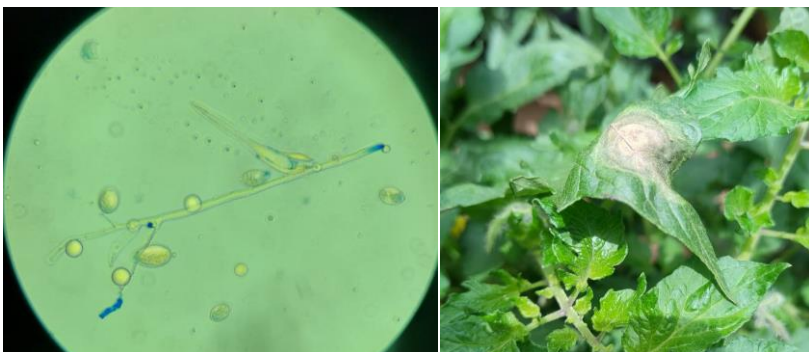
Anexo 6 Manejo agronómico (Fertilización, tutorado, limpieza, aplicaciones químicas,



Anexo 7 lecturas



Anexo 8 Esporangios de (*Phytophthora infestans*)



Anexo 9 Esporas de (*Botrytis sp.*)



Anexo 10 Esporas semejantes a (*Fusarium spp.*)



Anexo 11 Bitácora de fichas de lecturas

Fecha:				Tratamiento:									
Repetición	No. De planta	Altura en cm	Incidencia	Severidad de patógeno						Observaciones	Etapa fisiológica		
				Estrato									
				B	M	A	B	M	A				
1	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
2	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
3	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												

	7										
	8										
<b>4</b>	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										

Anexo 12 Bitácora de registro de artrópodos

Fecha:		Tratamiento:												
Repetición	No. De planta	Incidencia de plaga	Severidad de artrópodos									Observaciones	Etapa fisiológica	
			Estrato											
			B	M	A	B	M	A	B	M	A			
<b>1</b>	1													
	2													
	3													
	4													
	5													
	6													
	7													
	8													
<b>2</b>	1													
	2													
	3													
	4													
	5													
	6													
	7													
	8													
<b>3</b>	1													
	2													
	3													
	4													
	5													
	6													
	7													
	8													
<b>4</b>	1													
	2													



Sub total: 

--	--	--	--

**TOTAL:** \_\_\_\_\_

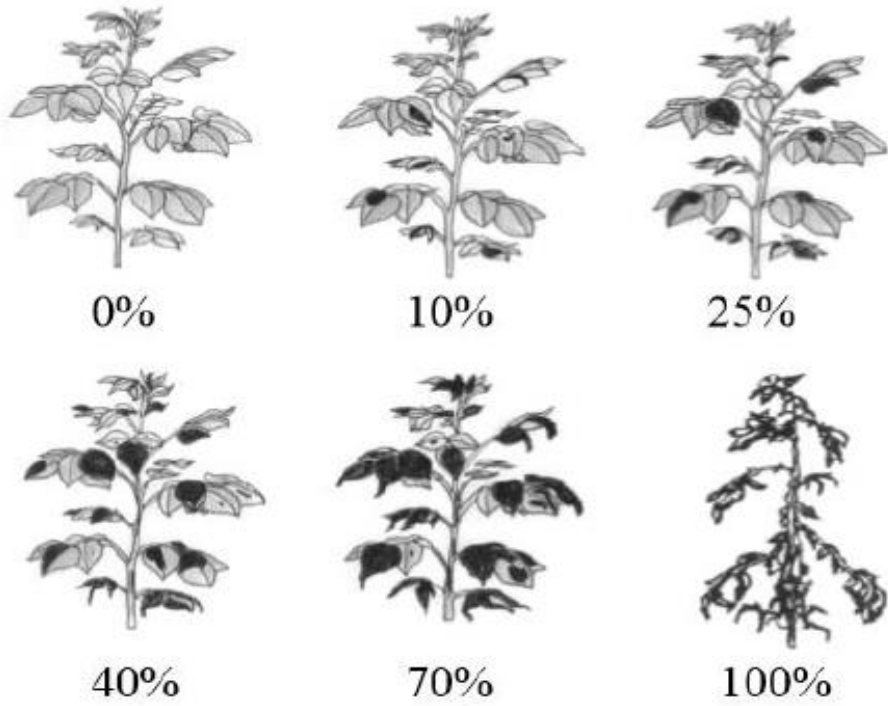
Fecha:		Campo abierto			
Rep.	Calidad			Descarte	Comentarios
	1	2	3		
1					
2					
3					
4					
Sub total:					

**TOTAL:** \_\_\_\_\_

Fecha:		Malla con plástico			
Rep.	Calidad			Descarte	Comentarios
	1	2	3		
1					
2					
3					
4					
Sub total:					

**TOTAL:** \_\_\_\_\_

Anexo 14 Diagrama de severidad de enfermedades



Anexo 15 Tabla de análisis financiero del tratamiento 1 cobertura de malla, proyectado por ha

<b>Inversión inicial</b>				
<b>Infraestructura/ha</b>				
Descripción	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
Malla	5	Rollo de 5 m ancho	5,200	Q 26,000.00
Alambre galvanizado	100	Libra	12	Q 1,200.00
Arcos	3	1 ciento	10000	Q 30,000.00
<b>Sistema hidráulico</b>				
Tubos PVC de 1 1/4 "	48	Unidad de 6 mts	Q 12.50	Q 600.00
Manguera de goteo 8 mm	1	Rollo 500 m largo	Q 330.00	Q 330.00
Conector de arranque pvc para manguera de goteo con llave de paso	54	Unidad	Q 7.00	Q 378.00
Empaques para conector	54	Unidad	Q 1.00	Q 54.00
<b>Ventury completo</b>				
Ventury completo	1	Unidad	Q 600.00	Q 600.00
Broca de 3/8 para perforar	1	Hora	Q 10.00	Q 10.00
Pegamento para PVC	50	ml	Q 0.28	Q 14.00
<b>INSUMOS</b>				
Mulch	2	1 rollo mil metros	Q 400.00	Q 800.00
Azadon	1	Unidad	Q 115.00	Q 115.00
Materia orgánica	55	kg	Q 75.00	Q 4,125.00
Nematicida	1	Kilogramo	Q 200.00	Q 200.00
<b>MANO DE OBRA INICIAL</b>				
Preparacion de terreno	15	dias	150	Q 2,250.00
Colocacion de riego	10	Hora	15	Q 150.00
Colocacion de mulch	15	Hora	15	Q 225.00
Trasplante	10	Hora	15	Q 150.00
				Q 67,201.00

Anexo 16 Tabla de costos fijos para tratamiento 1 cobertura de malla.

COSTOS FIJOS/ ha				
Alquiler de terreno	8	mensual	50	Q 400.00
Pago de agua	8	meses	50	Q 400.00
Total				Q 800.00

Anexo 17 Tabla de costos variables para tratamiento 1 cobertura de malla.

COSTOS VARIABLES/ha					
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total	
<b>Insecticida</b>					
Imidacloprid + betaciflutrina.	1	litro	Q 140.00	Q	140.00
Abamectina	2	litro	Q 125.00	Q	250.00
flupiradifurona SL	1	litro	Q 125.00	Q	125.00
beta-ciflutrina, tiacloprid SE	1	litro	Q 180.00	Q	180.00
espiromesifeno SC	1	litro	Q 150.00	Q	150.00
espirotetramat OD	1	litro	Q 200.00	Q	200.00
Aceite mineral	1	litro	Q 40.00	Q	40.00
Isocast TM	2	litro	Q 200.00	Q	400.00
<b>Fungicida</b>					
Azoxistrobina	1	kg	Q 190.00	Q	190.00
Paecilomyces fumosoroseus y Leca	2	kg	Q 150.00	Q	300.00
Cimoxanilo más Mancozeb	2	litro	Q 100.00	Q	200.00
Suspo Emulsión SE	2	litro	Q 360.00	Q	720.00
Hidrogenooxalato de tiociclam de p	1	Kg	Q 70.00	Q	70.00
Pyraclostrobin y Difenconazole	2	litro	Q 150.00	Q	300.00
Mandipropamida	3	litro	Q 90.00	Q	270.00
Tiabendazol SC	1	litro	Q 115.00	Q	115.00
Triazol + Strobirulina SC	2	litro	Q 190.00	Q	380.00
Pilones	20000	unidad	Q 1.50	Q	30,000.00
<b>Fertilizacion</b>					
Nitrato de potasio	80	kg	Q 43.75	Q	3,500.00
Nitrato de calcio	100	kg	Q 3.00	Q	300.00
Nitrato de amonio	150	Kg	Q 2.66	Q	399.00
Sulfato de magnesio	200	Kg	Q 1.75	Q	350.00
<b>MANO DE OBRA</b>					
Manejo agronomico	700	hora	20	Q	14,000.00
Cosecha	330	Hora	20	Q	6,600.00
<b>OTROS GASTOS</b>					
Alquiler de mochila para asperjar	700	Hora	2	Q	1,400.00
Alquiler de balanza	350	Hora	2	Q	700.00
Alquiler de cajas	350	Hora	2	Q	700.00
Total				Q	66,304.00

Anexo 18 Tabla de análisis financiero del tratamiento 2 cobertura de agryl, proyectado por ha.

Inversión inicial				
Infraestructura/ha				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
Agryl	2	Rollo de 6 m ancho	2,200	Q 4,400.00
Alambre galvanizado	100	Libra	12	Q 1,200.00
Arcos	600	1 ciento	100	Q 60,000.00
Sistema hidráulico				
Tubos PVC de 1 1/4 "	48	Unidad de 6 mts	Q 12.50	Q 600.00
Manguera de goteo 8 mm	1	Rollo 500 m largo	Q 330.00	Q 330.00
Conector de arranque pvc para manguera de goteo con llave de paso	54	Unidad	Q 7.00	Q 378.00
Empaques para conector	54	Unidad	Q 1.00	Q 54.00
Ventury completo				
Ventury completo	1	Unidad	Q 600.00	Q 600.00
Broca de 3/8 para perforar	1	Hora	Q 10.00	Q 10.00
Pegamento para PVC	50	ml	Q 0.28	Q 14.00
INSUMOS				
Mulch	2	1 rollo mil metros	Q 400.00	Q 800.00
Azadon	1	Unidad	Q 115.00	Q 115.00
Materia orgánica	55	kg	Q 75.00	Q 4,125.00
Nematicida	1	Kilogramo	Q 200.00	Q 200.00
MANO DE OBRA INICIAL				
Preparacion de terreno	15	dias	150	Q 2,250.00
Colocacion de riego	10	Hora	15	Q 150.00
Colocacion de mulch	15	Hora	15	Q 225.00
Trasplante	10	Hora	15	Q 150.00
				Q 75,601.00

Anexo 19 Tabla de costos fijos para tratamiento 2 cobertura de agryl.

COSTOS FIJOS/ha				
Alquiler de terreno	8	mensual	50	Q 400.00
Pago de agua	8	meses	50	Q 400.00
Total				Q 800.00

Anexo 20 Tabla de costos variables para tratamiento 2 cobertura de agryl.

<b>COSTOS VARIABLES/ha</b>				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
<b>Insecticida</b>				
Imidacloprid + betaciflutrina.	1	litro	Q 140.00	Q 140.00
Abamectina	2	litro	Q 125.00	Q 250.00
flupiradifurona SL	1	litro	Q 125.00	Q 125.00
beta-ciflutrina, tiacloprid SE	1	litro	Q 180.00	Q 180.00
espiromesifeno SC	1	litro	Q 150.00	Q 150.00
espirotetramat OD	1	litro	Q 200.00	Q 200.00
Aceite mineral	1	litro	Q 20.00	Q 20.00
Isocast TM	2	litro	Q 200.00	Q 400.00
<b>Fungicida</b>				
Azoxistrobina	1	kg	Q 190.00	Q 190.00
Paecilomyces fumosoroseus y Leca	2	kg	Q 150.00	Q 300.00
Cimoxanilo más Mancozeb	2	litro	Q 100.00	Q 200.00
Suspo Emulsión SE	2	litro	Q 360.00	Q 720.00
Hidrogenooxalato de tiociclám de p	1	Kg	Q 70.00	Q 70.00
Pyraclostrobin y Difenconazole	2	litro	Q 150.00	Q 300.00
Mandipropamida	3	litro	Q 90.00	Q 270.00
Tiabendazol SC	1	litro	Q 115.00	Q 115.00
Triazol + Strobirulina SC	2	litro	Q 190.00	Q 380.00
Pilonas	20000	unidad	Q 1.50	Q 30,000.00
<b>Fertilizacion</b>				
Nitrato de potasio	80	kg	Q 43.75	Q 3,500.00
Nitrato de calcio	100	kg	Q 3.00	Q 300.00
Nitrato de amonio	150	Kg	Q 2.66	Q 399.00
Sulfato de magnesio	200	Kg	Q 1.75	Q 350.00
<b>MANO DE OBRA</b>				
Manejo agronomico	700	hora	20	Q 14,000.00
Cosecha	330	Hora	20	Q 6,600.00
<b>OTROS GASTOS</b>				
Alquiler de mochila para asperjar	700	Hora	2	Q 1,400.00
Alquiler de balanza	350	Hora	2	Q 700.00
Alquiler de cajas	350	Hora	2	Q 700.00
Total				Q 66,284.00

Anexo 21 Tabla de análisis financiero del tratamiento 3 techo de plástico, proyectado por ha.

Inversión inicial				
Infraestructura/ha				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
Plastico	5	Rollo de 6 m ancho	2,400	Q 12,000.00
Alambre galvanizado	100	Libra	12	Q 1,200.00
Arcos	3	1 ciento	10000	Q 30,000.00
Sistema hidráulico				
Tubos PVC de 1 1/4 "	48	Unidad de 6 mts	Q 12.50	Q 600.00
Manguera de goteo 8 mm	1	Rollo 500 m largo	Q 330.00	Q 330.00
Conector de arranque pvc para manguera de goteo con llave de paso	54	Unidad	Q 7.00	Q 378.00
Empaques para conector	54	Unidad	Q 1.00	Q 54.00
Ventury completo				
Ventury completo	1	Unidad	Q 600.00	Q 600.00
Broca de 3/8 para perforar	1	Hora	Q 10.00	Q 10.00
Pegamento para PVC	50	ml	Q 0.28	Q 14.00
INSUMOS				
Mulch	2	1 rollo mil metros	Q 400.00	Q 800.00
Azadon	1	Unidad	Q 115.00	Q 115.00
Materia orgánica	55	kg	Q 75.00	Q 4,125.00
Nematicida	1	Kilogramo	Q 200.00	Q 200.00
MANO DE OBRA INICIAL				
Preparacion de terreno	15	dias	150	Q 2,250.00
Colocacion de riego	10	Hora	15	Q 150.00
Colocacion de mulch	15	Hora	15	Q 225.00
Trasplante	10	Hora	15	Q 150.00
				Q 53,201.00

Anexo 22 Tabla de costos fijos del tratamiento 3 techo de plástico.

COSTOS FIJOS/ha				
Alquiler de terreno	8	mensual	50	Q 400.00
Pago de agua	8	meses	50	Q 400.00
Total				Q 800.00

Anexo 23 Tabla de costos variables del tratamiento 3 techo de plástico

COSTOS VARIABLES/ha				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
<b>Insecticida</b>				
Imidacloprid + betaciflutrina.	1	litro	Q 140.00	Q 140.00
Abamectina	1.1	litro	Q 125.00	Q 137.50
flupiradifurona SL	0.88	litro	Q 125.00	Q 110.00
beta-ciflutrina, tiacloprid SE	0.44	litro	Q 180.00	Q 79.20
espiromesifeno SC	0.66	litro	Q 150.00	Q 99.00
espirotetramat OD	0.22	litro	Q 200.00	Q 44.00
Aceite mineral	0.88	litro	Q 20.00	Q 17.60
Isocast TM	1.54	litro	Q 200.00	Q 308.00
<b>Fungicida</b>				
Azoxistrobina	1	kg	Q 190.00	Q 190.00
Paecilomyces fumosoroseus y Leca	1	kg	Q 150.00	Q 150.00
Cimoxanilo más Mancozeb	1.32	litro	Q 100.00	Q 132.00
Suspo Emulsión SE	0.5	litro	Q 360.00	Q 180.00
Hidrogenooxalato de tiociclam de p	0.25	Kg	Q 70.00	Q 17.50
Pyraclostrobin y Difenconazole	0.5	litro	Q 150.00	Q 75.00
Mandipropamida	1	litro	Q 90.00	Q 90.00
Tiabendazol SC	1	litro	Q 115.00	Q 115.00
Triazol + Strobirulina SC	1	litro	Q 190.00	Q 190.00
Pilonos	20000	unidad	Q 1.50	Q 30,000.00
<b>Fertilizacion</b>				
Nitrato de potasio	80	kg	Q 43.75	Q 3,500.00
Nitrato de calcio	100	kg	Q 3.00	Q 300.00
Nitrato de amonio	150	Kg	Q 2.66	Q 399.00
Sulfato de magnesio	200	Kg	Q 1.75	Q 350.00
<b>MANO DE OBRA</b>				
Manejo agronomico	250	hora	20	Q 5,000.00
Cosecha	300	Hora	20	Q 6,000.00
<b>OTROS GASTOS</b>				
Alquiler de mochila para asperjar	300	Hora	2	Q 600.00
Alquiler de balanza	350	Hora	2	Q 700.00
Alquiler de cajas	350	Hora	2	Q 700.00
Total				Q 49,623.80

Anexo 24 Tabla de análisis financiero del tratamiento 4 testigo absoluto campo abierto, proyectado por ha.

<b>Inversión inicial</b>				
<b>Sistema hidráulico</b>				
Tubos PVC de 1 1/4 "	48	Unidad de 6 mts	Q 12.50	Q 600.00
Manguera de goteo 8 mm	1	Rollo 500 m largo	Q 330.00	Q 330.00
Conector de arranque pvc para manguera de goteo con llave de paso	54	Unidad	Q 7.00	Q 378.00
Empaques para conector	54	Unidad	Q 1.00	Q 54.00
<b>Ventury completo</b>				
Ventury completo	1	Unidad	Q 600.00	Q 600.00
Broca de 3/8 para perforar	1	Hora	Q 10.00	Q 10.00
Pegamento para PVC	50	ml	Q 0.28	Q 14.00
<b>INSUMOS</b>				
Mulch	2	1 rollo mil metros	Q 400.00	Q 800.00
Azadon	1	Unidad	Q 115.00	Q 115.00
Materia orgánica	55	kg	Q 75.00	Q 4,125.00
Nematicida	1	Kilogramo	Q 200.00	Q 200.00
<b>MANO DE OBRA INICIAL</b>				
Preparacion de terreno	15	días	150	Q 2,250.00
Colocacion de riego	10	Hora	15	Q 150.00
Colocacion de mulch	15	Hora	15	Q 225.00
Trasplante	10	Hora	15	Q 150.00
				Q 10,001.00

Anexo 25 Tabla de costos fijos del tratamiento 4 testigo absoluto campo abierto.

<b>COSTOS FIJOS/ha</b>				
Alquiler de terreno	8	mensual	50	Q 400.00
Pago de agua	8	meses	50	Q 400.00
Total				Q 800.00

Anexo 26 Tabla de costos variables de tratamiento 4 testigo absoluto campo abierto.

COSTOS VARIABLES/ha				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
<b>Insecticida</b>				
Imidacloprid + betaciflutrina.	2	litro	Q 140.00	Q 280.00
Abamectina	2	litro	Q 125.00	Q 250.00
flupiradifurona SL	1	litro	Q 125.00	Q 125.00
beta-ciflutrina, tiacloprid SE	1	litro	Q 180.00	Q 180.00
espiromesifeno SC	2	litro	Q 150.00	Q 300.00
espirotetramat OD	2	litro	Q 200.00	Q 400.00
Aceite mineral	1	litro	Q 20.00	Q 20.00
Isocast TM	2	litro	Q 200.00	Q 400.00
<b>Fungicida</b>				
Azoxistrobina	3	kg	Q 190.00	Q 570.00
Paecilomyces fumosoroseus y Leca	1	kg	Q 150.00	Q 150.00
Cimoxanilo más Mancozeb	2	litro	Q 100.00	Q 200.00
Suspo Emulsión SE	1	litro	Q 360.00	Q 360.00
Hidrogenooxalato de tiociclam de p	1	Kg	Q 70.00	Q 70.00
Pyraclostrobin y Difenconazole	2	litro	Q 150.00	Q 300.00
Mandipropamida	3	litro	Q 90.00	Q 270.00
Tiabendazol SC	2	litro	Q 115.00	Q 230.00
Triazol + Strobirulina SC	2	litro	Q 190.00	Q 380.00
Pilonos	20000	unidad	Q 1.50	Q 30,000.00
<b>Fertilizacion</b>				
Nitrato de potasio	80	kg	Q 43.75	Q 3,500.00
Nitrato de calcio	100	kg	Q 3.00	Q 300.00
Nitrato de amonio	150	Kg	Q 2.66	Q 399.00
Sulfato de magnesio	200	Kg	Q 1.75	Q 350.00
<b>MANO DE OBRA</b>				
Manejo agronomico	900	hora	20	Q 18,000.00
Cosecha	330	Hora	20	Q 6,600.00
<b>OTROS GASTOS</b>				
Alquiler de mochila para asperjar	800	Hora	2	Q 1,600.00
Alquiler de balanza	400	Hora	2	Q 800.00
Alquiler de cajas	350	Hora	2	Q 700.00
Total				Q 71,059.00

Anexo 27 Tabla de análisis financiero del tratamiento 5 cobertura de malla con plástico, proyectado por ha.

Inversión inicial				
Infraestructura/ha				
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total
Plastico	5	Rollo de 6 m ancho	2,200	Q 11,000.00
Malla	5	Rollo de 5 m ancho	4,200	Q 21,000.00
Alambre galvanizado	100	Libra	12	Q 1,200.00
Arcos	3	1 ciento	10000	Q 30,000.00
Sistema hidráulico				
Tubos PVC de 1 1/4 "	48	Unidad de 6 mts	Q 12.50	Q 600.00
Manguera de goteo 8 mm	1	Rollo 500 m largo	Q 330.00	Q 330.00
Conector de arranque pvc para manguera de goteo con llave de paso	54	Unidad	Q 7.00	Q 378.00
Empaques para conector	54	Unidad	Q 1.00	Q 54.00
Ventury completo				
Ventury completo	1	Unidad	Q 600.00	Q 600.00
Broca de 3/8 para perforar	1	Hora	Q 10.00	Q 10.00
Pegamento para PVC	50	ml	Q 0.28	Q 14.00
INSUMOS				
Mulch	2	1 rollo mil metros	Q 400.00	Q 800.00
Azadon	1	Unidad	Q 115.00	Q 115.00
Materia orgánica	55	kg	Q 75.00	Q 4,125.00
Nematicida	1	Kilogramo	Q 200.00	Q 200.00
MANO DE OBRA INICIAL				
Preparacion de terreno	15	dias	150	Q 2,250.00
Colocacion de riego	10	Hora	15	Q 150.00
Colocacion de mulch	15	Hora	15	Q 225.00
Trasplante	10	Hora	15	Q 150.00
				Q 73,201.00

Anexo 28 Tabla de costos fijos del tratamiento 5 cobertura de malla con plástico.

COSTOS FIJOS/ha				
Alquiler de terreno	8	mensual	50	Q 400.00
Pago de agua	8	meses	50	Q 400.00
Total				Q 800.00

Anexo 29 Tabla de costos variables del tratamiento 5 cobertura de malla con plástico.

COSTOS VARIABLES/ha					
Descripcion	Cantidad	U de medida	Precio U	Total	
<b>Insecticida</b>					
Imidacloprid + betaciflutrina.	1	litro	Q 140.00	Q	140.00
Abamectina	1.1	litro	Q 125.00	Q	137.50
flupiradifurona SL	1	litro	Q 125.00	Q	125.00
beta-ciflutrina, tiacloprid SE	0.5	litro	Q 180.00	Q	90.00
espiromesifeno SC	0.5	litro	Q 150.00	Q	75.00
espirotetramat OD	0.5	litro	Q 200.00	Q	100.00
Aceite mineral	1	litro	Q 20.00	Q	20.00
Isocast TM	1.5	litro	Q 200.00	Q	300.00
<b>Fungicida</b>					
Azoxistrobina	1	kg	Q 190.00	Q	190.00
Paecilomyces fumosoroseus y Leca	1	kg	Q 150.00	Q	150.00
Cimoxanilo más Mancozeb	1.5	litro	Q 100.00	Q	150.00
Suspo Emulsión SE	0.5	litro	Q 360.00	Q	180.00
Hidrogenooxalato de tiociclam de p	0.25	Kg	Q 70.00	Q	17.50
Pyraclostrobin y Difenconazole	0.5	litro	Q 150.00	Q	75.00
Mandipropamida	1	litro	Q 90.00	Q	90.00
Tiabendazol SC	1	litro	Q 115.00	Q	115.00
Triazol + Strobirulina SC	1	litro	Q 190.00	Q	190.00
Pilones	20000	unidad	Q 1.50	Q	30,000.00
<b>Fertilizacion</b>					
Nitrato de potasio	80	kg	Q 43.75	Q	3,500.00
Nitrato de calcio	100	kg	Q 3.00	Q	300.00
Nitrato de amonio	150	Kg	Q 2.66	Q	399.00
Sulfato de magnesio	200	Kg	Q 1.75	Q	350.00
<b>MANO DE OBRA</b>					
Manejo agronomico	500	hora	20	Q	10,000.00
Cosecha	600	Hora	20	Q	12,000.00
<b>OTROS GASTOS</b>					
Alquiler de mochila para asperjar	500	Hora	2	Q	1,000.00
Alquiler de balanza	350	Hora	2	Q	700.00
Alquiler de cajas	400	Hora	2	Q	800.00
Total				Q	65,519.00

#### XIV. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar. (2021). *scielo.org*. Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2077-99172021000100007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-99172021000100007)
- Aldana. (octubre de 2022). *url.edu.gt*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://biblior.url.edu.gt/wp-content/uploads/publiwavg/Tesis/2022/06/17/Quisquina-Marco.pdf>
- Allende . (s. f.). *biblioteca.inia.cl*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/21592963-55e3-43bb-9426-bd9ec288ae07/content>
- Àlvarez . (s. f.). *entoma.org*. Obtenido de <https://www.entoma.org/blog/arana-roja-danos/>
- ASOCUCH. (s. f.). *www.asocuh.gt*. Obtenido de <https://www.asocuch.com/wp-content/uploads/2020/06/Modulo-Produccio%CC%81n-en-Macrotuneles.pdf>
- Ayala. (2012). *repositorio.utn*. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2038/2/03%20AGP%20147%20TESIS.pdf>
- Ayanava. (16 de abril de 2014). *hortalizas.com*. Obtenido de <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/en-macrotunel-es-importante-utilizar-mallas-antiinsectos-u-otros-metodos-de-exclusion-de-plagas/?amp>
- Cacao et al. . (abril de 2016). *icta.gob.gt*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/Cultivares%20Virosis-%20Rudy%20Teny%20ICTA%20CIOR/Informe%20final%20cultivares%20de%20tomate.pdf>
- Calderon. et.al. . (2000). *icta.gob*. Obtenido de <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Arveja/Manejo%20integrado%20del%20cultivo%20de%20Arveja%20china%202000.pdf>

- CATIE. (20 de Febrero de 2023). *catie.ac.cr*. Obtenido de [catie.ac.cr](https://www.catie.ac.cr/2023/02/20/sistemas-agricolas-de-centroamerica-son-acechados-por-la-variabilidad-y-el-cambio-climatico/):
- <https://www.catie.ac.cr/2023/02/20/sistemas-agricolas-de-centroamerica-son-acechados-por-la-variabilidad-y-el-cambio-climatico/>
- CRIA. (Noviembre de 2022). *Icta.gob.gt*. Obtenido de <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/CultivaresPasta-CUNOR-RSolis/Tomate%20para%20Pasta-2019.pdf>
- CUNORI. (Noviembre de 2020). Obtenido de <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/CultivaresPasta-CUNOR-RSolis/Tomate%20para%20Pasta-2019.pdf>
- Díaz et al. (Agosto de 2018). *icta.gob*. Obtenido de <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/8%20TOMATE%20OCCIDENTE/Enfermedades-CUSAM-M%20D%C3%ADaz/CRIA%20Tomate%20tolerancia%20Mario%20D%C3%ADaz.pdf>
- Díaz, et.al. (s. f.).
- DIPLAN-MAGA . (2022). *Maga.gob.gt*. Obtenido de [https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion\\_del\\_sector/agro\\_en\\_cifras/2016/individuales/Tomate%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf](https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/2016/individuales/Tomate%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf)
- DIPLAN-MAGA., S. d. (2016). *Maga.gob.gt*. Obtenido de [Maga.gob.gt](https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/2016/individuales/Arveja%20China%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf):
- [https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion\\_del\\_sector/agro\\_en\\_cifras/2016/individuales/Arveja%20China%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf](https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/2016/individuales/Arveja%20China%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf)
- Elgueta. (1994). *Biblioteca.USAC*. Obtenido de <https://www.biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QB526.pdf>
- Farmonaut. (27 de septiembre de 2024). *farmonaut.com*. Obtenido de <https://farmonaut.com/precision-farming/el-control-del-virus-del-bronceado-del-tomate-sintomas-prevencion-y-tratamientos-naturales-para-cultivos-hortícolas/>

- Fornaris, G. (s. f.). *upr.edu*. Obtenido de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Caracter%C3%ADsticas-de-la-Planta-v2007.pdf>
- García. (s. f.). *lechepuleva.es*. Obtenido de <https://www.lechepuleva.es/aprende-a-cuidarte/tu-alimentacion-de-la-a-z/t/tomate>
- Gomez . (2021). *studocu.com*. Obtenido de <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-de-san-carlos-de-guatemala/climatologia/agricultura-prottegida-y-cambio-climatico-en-guatemala/22846743>
- Guerrero et al. (Enero de 2016). *dagus.unison.mx*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dagus.unison.mx/Zamora/TYLCV%20VIRUS%20TOMATE\(ENFPL-CP-001\).pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dagus.unison.mx/Zamora/TYLCV%20VIRUS%20TOMATE(ENFPL-CP-001).pdf)
- Guerrero. (s. f.). *Biblioteca.INIA*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1ceb9e6d-f219-459c-b982-0f816322530a/content>
- Guillermo. (2000). *icta.gob*. Obtenido de <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Arveja/Manual%20de%20pre-inspeccion%20Arveja%20china%20y%20dulce.pdf>
- Guillermo. (2007). *upr.edu*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Caracter%C3%ADsticas-de-la-Planta-v2007.pdf>
- Guillermo. (2007). *uprm.edu*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uprm.edu/eea/wp-content/uploads/sites/177/2016/04/TOMATE-Variedades-y-su-Selecci%C3%B3n-v2007.pdf>

- Guzmán. (30 de agosto de 2023). *es.linkedin.com*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-mejorar-el-sistema-radicular-del-tomate-agricultura-del-valle>
- Hernández, H. C. (Febrero de 2017). *Repositorio.usac.edu*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6896/1/HUMBERTO%20CARLYONE%20IZA%20GUIRRE%20HERN%C3%81NDEZ%203.1.pdf>
- ICTA. (noviembre de 2020). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/CultivaresPasta-CUNOR-RSolis/Tomate%20para%20Pasta-2019.pdf>
- ICTA. (s. f.). *Icta.gob.gt*. Obtenido de [Icta.gob.gt: https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Arveja/Manual%20de%20pre-inspeccion%20Arveja%20china%20y%20dulce.pdf](https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Arveja/Manual%20de%20pre-inspeccion%20Arveja%20china%20y%20dulce.pdf)
- Infoagro. (s. f.). *infoagro.com*. Obtenido de [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_tomate\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp)
- Jhon Beer . (2009). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7618/RAFA\\_47\\_Completa.pdf](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7618/RAFA_47_Completa.pdf)
- Josué Carmen . (10 de abril de 2018). *Repositorio.usac*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5961/>
- Kopper. (2026). *Kopper.es*. Obtenido de <https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/minadores-de-hojas/minador-del-tomate/>
- Lopez. (10 de julio de 2024). *cusam.edu.gt*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://cusam.edu.gt/wp-content/uploads/2024/08/IAOAS-23-SLLM-Sandoval-Lopez-Luis-Miguel.pdf>

- Lopez, et al . (septiembre de 2011). *uan.edu.mx*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/4.pdf
- MAGA. (2017). *maga.gob*. Obtenido de [https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion\\_del\\_sector/agro\\_en\\_cifras/2016/individuales/Tomate%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf](https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/2016/individuales/Tomate%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf)
- MAGA. (Abril de 2023). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/america-central-caribe/fichasectores\_gt-reduc\_tcm30-578265.pdf
- MAGA. (13 de noviembre de 2024). *maga.gob.gt*. Obtenido de <https://www.maga.gob.gt/el-cultivo-de-tomate-manzano-en-guatemala/#:~:text=Una%20pr%C3%A1ctica%20agr%C3%ADcola%20importante%20en,como%20Chimaltenango%2C%20Sacatep%C3%A9quez%20y%20Quetzaltenango.>
- Martinez, S. (2012). *upr.edu*. Obtenido de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Suelo-y-Preparaci%C3%B3n-del-Terreno-v2007.pdf>
- Mendoza . (Octubre de 2012). *Repositorio USAC*. Obtenido de Repositorio USAC: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6295/1/RENDY%20ANCINI%20MENDOZA%20DE%20LE%C3%93N.pdf>
- Patrice. (28 de septiembre de 2009). *plantpath.ifas.ufl.edu*. Obtenido de [https://plantpath.ifas.ufl.edu/rsol/RalstoniaPublications\\_PDF/Ralstonia\\_solanacearum\\_ES\\_PDF.pdf](https://plantpath.ifas.ufl.edu/rsol/RalstoniaPublications_PDF/Ralstonia_solanacearum_ES_PDF.pdf)
- Paulina . (2018). *inia.cl*. Obtenido de [https://web.inia.cl/mateo/files/2018/09/FICHA\\_INIA\\_11.pdf](https://web.inia.cl/mateo/files/2018/09/FICHA_INIA_11.pdf)

- Pérez. (Agosto de 2011). *repositorio.usac*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6838/1/LUIS%20JAVIER%20SANTOS%20P%C3%89REZ.pdf>
- Perez, C. (7 de Noviembre de 2019). *Revistas.USAC*. Obtenido de Revistas.USAC: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/cytes/article/view/790/622>
- Plantix. (s. f.). *plantix.net*. Obtenido de <https://plantix.net/es/library/plant-diseases/100046/tomato-late-blight/>
- Porres. (31 de julio de 2024). *cambiagro.com*. Obtenido de <https://blog.cambiagro.com/tomate/plagas-del-tomate/plagas-del-tomate/>
- Porres et al. (2015). *repositorio.uvg.edu.gt*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/5387/REV-31-pags-46-53.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quiñonez . (2018). *biblioteca.usac.edu.gt*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03\_0696\_v8.pdf
- Real. (2023). *www.biblioteca.inia.cl*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/ce9665c6-c4a5-406c-a819-cb4eac975d29/content>
- Rodriguez. (19 de marzo de 2020). *redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1932/193264539006/html/>
- Rodriguez et al. (2 de mayo de 2017). *icta.gob*. Obtenido de [https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/Cultivares-CUNORIM%20Sol%C3%ADs/PROYECTO%20RALSTONIA\\_miltonsolis\\_duglasguzman.pdf](https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/Cultivares-CUNORIM%20Sol%C3%ADs/PROYECTO%20RALSTONIA_miltonsolis_duglasguzman.pdf)
- Romano, et al . (30 de septiembre de 2020). *scielo.org.mx*. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092019000200005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092019000200005)

- Ruano. (2021). *www.studocu.gt*. Obtenido de <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-de-san-carlos-de-guatemala/climatologia/agricultura-protegida-y-cambio-climatico-en-guatemala/22846743>
- Ruiz. (Diciembre de 2014). *scielo.org*. Obtenido de scielo.org: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014001401913&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014001401913&script=sci_arttext)
- SADER. (7 de enero de 2020). *gob.mx*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-protegida-otra-manera-de-cultivar>
- Salas, et.al. (15 de septiembre de 2016). *biblioteca.inia*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/0123ebb0-bfcd-4a18-99e0-60191332b4ec/content>
- Salazar. (22 de agosto de 2017). *Repositorio.usac*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6750/>
- Samuel. (Marzo de 2004). *Biblioteca USAC*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2099.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2099.pdf)
- SEGEPLAN. (2021). *segeplan.gob.gt*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgkclefindmkaj/https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/Resumen-Ejecutivo-SOLOLA-2021.pdf
- Sel, A. C. (Agosto de 2022). *biblior.url.edu.gt*. Obtenido de <https://biblior.url.edu.gt/wp-content/uploads/publiwvvg/Tesis/2022/06/09/Coy-Arnulfo.pdf>
- SENASICA. (s. f.). *gob.mx*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600968/Pudrici\\_n\\_de\\_la\\_ra\\_z.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600968/Pudrici_n_de_la_ra_z.pdf)
- Sepulveda, P. (s. f.). *Biblioteca.inia*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/21592963-55e3-43bb-9426-bd9ec288ae07/content>

- Syngenta. (17 de marzo de 2021). *syngenta.es*. Obtenido de <https://www.syngenta.es/blog/trips-en-tomate-que-danos-directos-causa-que-metodos-de-control-existen>
- Tecnologías DM. (s. f.). *dmtecnologias.com.mx*. Obtenido de <https://www.dmtecnologias.com.mx/blog/agricultura-protegida-con-macrotuneles/>
- Universidad Politécnica de Madrid . (s. f.). *Montes.UPM*. Obtenido de Montes.UPM: [https://www2.montes.upm.es/dptos/dsrn/SanMiguel/APUNTES\\_PRESENTACIONES/PASCICULTURA%20Y%20SAF/Benito/1.%20MORFOLOGIA%20LEGUMINOSAS.pdf](https://www2.montes.upm.es/dptos/dsrn/SanMiguel/APUNTES_PRESENTACIONES/PASCICULTURA%20Y%20SAF/Benito/1.%20MORFOLOGIA%20LEGUMINOSAS.pdf)
- UVG. (2020). */altiplano.uvg.edu.gt*. Recuperado el 27 de marzo de 2025, de <https://altiplano.uvg.edu.gt/servicios/produccion-agricola.html>
- Vasquez et al. (s. f.). *metrocert.com*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.metrocert.com/files/macrotunel.pdf
- Vazquez. (Junio de 2008). *Repositorio.uaaan*. Obtenido de <https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/4981/T16741%20%20VELASCO%20VAZQUEZ%20%20ARMANDO%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Villeda, J. A. (Octubre de 2017). *cunori.edu.gt*. Obtenido de [https://cunori.edu.gt/descargas/EVALUACION\\_AGROECONOMICA\\_DEL\\_USO\\_DE\\_COBERTORES\\_DE\\_POLIPROPILENO\\_EN\\_MACROTUNEL\\_PARA\\_LA\\_PRODUCCION.pdf](https://cunori.edu.gt/descargas/EVALUACION_AGROECONOMICA_DEL_USO_DE_COBERTORES_DE_POLIPROPILENO_EN_MACROTUNEL_PARA_LA_PRODUCCION.pdf)

