


	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 10 de Junio de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva

El (Los) suscrito(s):

Luis Carlos Hernández Arias, con C.C. No. 1075256873

Juan Camilo Carvajal Mosquera, con C.C. No. 1075261044

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) VARIEDAD MARIMBA F1 UTILIZANDO UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO INSTALADO EN UN INVERNADERO UBICADO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.”





Presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de

INGENIERO AGRÍCOLA.;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

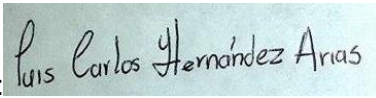
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2


• Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.





De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: LUIS CARLOS HERNANDEZ ARIAS

Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE: JUAN CAMILO CARVAJAL MOSQUERA

Firma: 

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) VARIEDAD MARIMBA F1 UTILIZANDO UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO INSTALADO EN UN INVERNADERO UBICADO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
HERNANDEZ ARIAS	LUIS CARLOS
CARVAJAL MOZQUERA	JUAN CAMILO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
DUARTE TORO	MAURICIO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA





FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2015

NÚMERO DE PÁGINAS: 91

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: MICROSOFT WORD

MATERIAL ANEXO: NINGUNO

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): NO






PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <i>Invernadero</i>	<i>Greenhouse</i>	6. _____	_____
2. <i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>	<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>	7. _____	_____
3. <i>Marimba F1</i>	<i>Marimba F1</i>	8. _____	_____
4. <i>Factores ambientales</i>	<i>Environmental factors</i>	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el rendimiento productivo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad marimba F1 en un prototipo de invernadero para clima cálido, montado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. Para cumplir con el objetivo, se desarrolló un experimento factorial fraccional, con dos factores (densidad de siembra y número de tallos por planta) y dos niveles en cada factor, se descarto una de las combinaciones, dando como resultado tres tratamientos.

La granja experimental de la Universidad Surcolombiana se ubica en la vereda El Juncal del municipio de Palermo que según la escala de *Holdrige* corresponde a la formación vegetal bosque seco tropical (bs-T), con una temperatura media de 27°C y una humedad relativa media de 70 %, dos condiciones que según la *FAO* son óptimas para el cultivo de tomate, pero al presentarse importantes variaciones a lo largo del día, afectan en demasía el desarrollo del cultivo. Por lo anterior se proyectó el monitoreo y control de tres factores

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						   
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 4

ambientales dentro del invernadero, la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂. Además, se planteó la automatización del sistema de riego por goteo. El proyecto tuvo una duración de 7 meses, de marzo a septiembre del año 2014 iniciando con la adecuación del invernadero para establecer el cultivo, este se desarrolló entre los meses de mayo a septiembre.

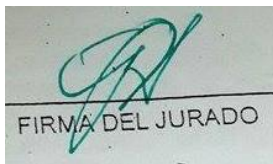
ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This project aims to assess the yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Variety marimba F1 prototype greenhouse in warm weather, mounted on the experimental farm of the Universidad Surcolombiana. To meet the goal, a fractional factorial experiment with two factors (plant density and number of stems per plant) and two levels for each factor, developed one of the combinations was discarded, resulting in three treatments.

The experimental farm Surcolombiana University is located in the El Juncal Palermo Township on the scale that corresponds to Holdridge vegetation type tropical dry forest (bs-T), with an average temperature of 27 ° C and a relative humidity average of 70%, two conditions that are optimal according to the FAO for the tomato crop, but significant variations occur throughout the day, too much affects crop growth. Therefore monitoring and control of three environmental factors inside the greenhouse, temperature, relative humidity and CO₂ concentration was shown. In addition, automation of drip irrigation system was raised. The project lasted for seven months, from March to September 2014 beginning with the adjustment to set greenhouse cultivation, this took place between the months of May to September.

APROBACION DE LA TESIS

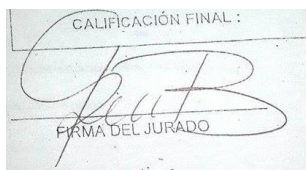
Nombre Presidente Jurado: GILBERTO ALVAREZ LINARES



FIRMA DEL JURADO





Firma:

Nombre Jurado: RODRIGO PACHON BEJARANO



CALIFICACIÓN FINAL :
FIRMA DEL JURADO

Firma:

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum Mill.*) VARIEDAD MARIMBA F1 UTILIZANDO UN
SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO INSTALADO EN UN INVERNADERO
UBICADO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA.**

|

JUAN CAMILO CARVAJAL MOSQUERA

LUIS CARLOS HERNANDEZ ARIAS

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA-HUILA**

2015

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DEL CULTIVO DE
TOMATE(*Lycopersicon esculentum Mill*) VARIEDAD MARIMBA F1
UTILIZANDO UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO INSTALADO EN UN
INVERNADERO UBICADO EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.**

JUAN CAMILO CARVAJAL MOSQUERA

LUIS CARLOS HERNANDEZ ARIAS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrícola.**

Director

MSC. Mauricio Duarte Toro

NEIVA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA

NEIVA-HUILA

2015

Nota de aceptación:

Jurado

Jurado

Director

Neiva 18 de mayo, de 2015

DEDICATORIA

A Dios por una bendición más, por permitirme dar un paso más en mi vida y culminar una etapa de gran importancia, incondicionalmente a mi madre que ha sido padre y madre durante toda mi vida, la persona que lo ha dado todo por mí y de la cual recibí todos los consejos posibles que fueron de gran apoyo para esta etapa, en memoria de mis abuelos Lulú y Enrique que Dios los tenga en su gloria quienes ayudaron a que hoy sea la persona que soy, a mi tío Hernando y demás familiares que siempre han estado ahí para apoyarme, durante mi paso por esta universidad.

A mi entrenadora de natación, La Paisa, a Erick, al Negro, La mona, Paula y demás compañeros con los que compartí en la práctica de este lindo deporte; a mis compañeros del programa de ingeniería agrícola y a todos aquellos que han compartido su valioso tiempo conmigo y me han ayudado a crecer como persona.

Juan Camilo Carvajal Mosquera

En memoria de Gabriel García Márquez, porque a través de esta experiencia aprendí, que *"la sabiduría nos llega cuando ya no nos sirve de nada."*

Luis Carlos Hernández Arias

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A. MAURICIO DUARTE TORO., MSC., Profesor la Universidad Surcolombiana de Neiva y director del trabajo.

A. HERNANDO DIAZ LLANO., ING., Profesor la Universidad Surcolombiana de Neiva.

A. GILBERTO ALVAREZ LINARES., ING., Profesor de la Universidad Surcolombiana y director de la granja experimental de la USCO.

A. RODRIGO PACHON BEJARANO., ING., Profesor la Universidad Surcolombiana de Neiva.

A. NELSON GUTIERRES., ING., Profesor la Universidad Surcolombiana de Neiva.

A. todas aquellas personas que de una y otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTADO DE FIGURAS.....	11
LISTADO DE TABLAS.....	12
LISTADO DE CUADROS.....	13
LISTADO DE GRAFICAS	13
GLOSARIO.....	14
RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO CONCEPTUAL.....	20
2.1 ANTECEDENTES.....	20
2.2 CONCEPTOS.....	21
2.2.1 El tomate (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>).....	21
2.2.1.1 Taxonomía	21
2.2.1.2 Morfología	22
2.2.1.3 El tomate larga vida.....	23
2.2.1.4 Tomate variedad marimba F1	24
2.2.2 El cultivo de tomate	24
2.2.2.1 Ciclo del cultivo de tomate.....	24
2.2.2.2 Producción de tomate a nivel mundial	25
2.2.2.3 Producción de tomate en Holanda	27
2.2.3 El cultivo de tomate en invernadero	27
2.2.3.1 Ventajas de la producción bajo invernadero.....	27
□Protección contra condiciones climáticas extremas	27

<input type="checkbox"/> Obtención de cosechas fuera de época	28
<input type="checkbox"/> Mejor calidad de la cosecha	28
<input type="checkbox"/> Aumento considerable de la producción	28
<input type="checkbox"/> Ahorro en costos de producción	28
<input type="checkbox"/> Disminución en la utilización de plaguicidas	28
<input type="checkbox"/> Aprovechamiento más eficiente del área de cultivo	28
2.2.3.2 Desventajas de la producción bajo invernadero	29
<input type="checkbox"/> Alta inversión inicial	29
<input type="checkbox"/> Requiere personal especializado	29
<input type="checkbox"/> Supervisión permanente	29
2.2.4 Condiciones ambientales óptimas para el cultivo de tomate	29
2.2.4.1 Humedad relativa	29
2.2.4.2 Temperatura	29
2.2.4.3 Luminosidad	30
2.2.4.4 Anhídrido carbónico	30
2.2.5 Plagas y enfermedades del tomate	31
2.2.5.1 Plagas.....	32
2.2.5.2 Enfermedades.....	36
2.2.5.3 Enfermedades virales.....	39
2.2.6 Fertilización.....	40
2.2.6.1 Fertirriego.....	40
2.2.6.2 Desordenes fisiológicos y nutricionales	40
2.2.7 Requisitos de calidad para el mercado, NTC 1103-1	42
3. METODOLOGÍA.....	46
3.1 UBICACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	46
3.2 FASE METODOLÓGICA UNO	47
3.2.1 Reconocimiento del invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.....	47
3.2.1.1 Adecuación del invernadero para el cultivo de tomate.....	48
<input type="checkbox"/> Purgado del invernadero	48
<input type="checkbox"/> Eliminación de arvenses perimetrales al invernadero	48
<input type="checkbox"/> Preparación del suelo del invernadero	48

3.2.2.2 Sistema de fertirriego por goteo	50
3.2.2.3 Extractor para el control de factores ambientales, temperatura, humedad relativa y concentración de CO ₂	51
3.2.2.4 Automatización del riego, control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO ₂	52
<input type="checkbox"/> Automatización del riego por goteo	52
<input type="checkbox"/> Control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO ₂	53
3.3 FASE METODOLÓGICA DOS	54
3.3.1 Diseño del experimento	54
3.3.1.1 Factores.....	54
<input type="checkbox"/> Densidad de siembra	54
<input type="checkbox"/> Numero de tallos	55
3.3.1.2 Tratamientos.....	55
3.3.2 Variables de respuesta	56
3.3.2.1 Variables de rendimiento.....	56
<input type="checkbox"/> Producción por planta (g/cosechados).....	56
<input type="checkbox"/> Rendimiento productivo en (kg/m ²)	56
<input type="checkbox"/> Rendimiento comercial (kg/m ²)	56
3.3.2.2 Análisis estadístico	57
<input type="checkbox"/> Prueba t-Student.....	57
<input type="checkbox"/> Statgraphics centurión	57
3.3.3 Establecimiento del cultivo en el invernadero.....	57
3.3.3.1 Adquisición de la semilla de tomate variedad marimba F1.....	57
3.3.3.2 Siembra en bandeja de alveolos	58
3.3.3.3 Camas de siembra	58
3.3.3.4 Trasplante de las plántulas al suelo del invernadero	59
3.4 FASE METODOLÓGICA TRES.....	59
3.4.1 Plan de fertilización.....	59
3.4.1.1 Fertilizantes utilizados	60
<input type="checkbox"/> Fosfato diamónico (DAP).....	60

<input type="checkbox"/> Urea	61
<input type="checkbox"/> Cloruro de potasio	61
<input type="checkbox"/> Sulfato de magnesio	61
<input type="checkbox"/> Nitrofer Calcio	62
<input type="checkbox"/> Cosmo R 14-8-19	62
3.4.1.2 Preparación de fertilizantes	62
3.4.2 Manejo del cultivo	63
3.4.2.1 Tutorado.....	63
3.4.2.2 Podas.....	63
<input type="checkbox"/> Poda de formación.....	64
<input type="checkbox"/> Poda de hojas	64
3.4.2.3 Aporcado.....	64
3.4.3 Control de plagas y enfermedades.....	65
3.4.3.1 Plaguicidas utilizados	65
3.4.3.2 Preparación y aplicación de plaguicidas.....	79
3.5 FASE METODOLÓGICA CUATRO	70
3.5.1 Cosecha y recolección	70
3.5.2 Clasificación del tomate cosechado según NTC 1103-1	71
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	73
4.1 MANEJO DEL CULTIVO	73
4.1.1 Ciclo del cultivo.....	73
4.1.2 Control de plagas y enfermedades.....	73
4.1.3 Curva de producción general	74
4.2 CONTROL DE LA TEMPERATURA, LA HUMEDAD RELATIVA Y LA CONCENTRACIÓN DE CO ₂ DENTRO DEL INVERNADERO	75
4.3 VARIABLES DE RESPUESTA	77
4.3.1 Tratamientos	77
4.3.1.1 Producción por planta (g/cosechados)	78
<input type="checkbox"/> Comparación de los tratamientos T1 y T2.....	79
<input type="checkbox"/> Comparación de los tratamientos T2 y T3.....	81
4.3.1.2 Rendimiento productivo en (kg/m ²)	84
4.3.1.3 Rendimiento comercial (kg/m ²).....	84

5. CONCLUSIONES85
6. RECOMENDACIONES.....87
BIBLIOGRAFÍA.....88

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Floración del tomate.	23
Figura 2. Frutos del tomate.	23
Figura 3. Fenología del cultivo de tomate para las condiciones del Oriente Antioqueño.	25
Figura 4. Ubicación del área de estudio.	47
Figura 5. Invernadero de la granja experimental de la USCO.	47
Figura 6. Preparación del suelo del invernadero.	49
Figura 7. Esquema del sistema de riego.	50
Figura 8. Esquema estación de bombeo y fertirriego.	51
Figura 9. Extractor del invernadero.	52
Figura 10. Sensores para medir humedad del suelo.	53
Figura 11. Sensores para medir los 3 factores ambientales.	54
Figura 12. Plántulas de tomate marimba F1 en bandeja de alveolos.	58
Figura 13. Camas de siembra.	59
Figura 14. Tutorado de plantas.	63
Figura 15. Aporcado del tomate.	64
Figura 16. Pesaje de los tomates cosechados por planta.	70
Figura 17. Perdidas de cosecha.	72
Figura 18. Tomates clasificados según escala de tamaños NTC 1103-1.	72

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contexto taxonómico del género Lycopersicon	22
Tabla 2. Características de tomate híbrido marimba F1	24
Tabla 3. Principales países productores de tomate en el año 2012	26
Tabla 4. Temperaturas y efectos producidos en el tomate	30
Tabla 5. Grados de coloración en la madurez del tomate	44
Tabla 6. Programa para la desinfección del suelo del invernadero	49
Tabla 7. Especificaciones de medición sensor SEN92355P	52
Tabla 8. Densidades de siembra más comunes para el tomate	55
Tabla 9. Descripción de los tratamientos	56
Tabla 10. Plan de fertilización	60
Tabla 11. Composición del DAP	61
Tabla 12. Composición del nitrato de calcio	62
Tabla 13. Forma de empleo de los plaguicidas utilizados	69
Tabla 14. Registro de cosecha	71
Tabla 15. Ciclo del cultivo	73
Tabla 16. Producción total, kg de tomate recolectado por tratamiento	78
Tabla 17. Emparejamiento de los tratamientos para las pruebas t-Student	79
Tabla 18. Comparación de Dos Muestras T1&T2	79
Tabla 19. Comparación de dos muestras T2&T3	81
Tabla 20. Rendimiento para los tratamientos (kg/m ²)	84
Tabla 21. Rendimiento comercial (kg/m ²)	84

LISTADO DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Plagas más comunes del tomate cultivado en invernadero	32
Cuadro 2. Enfermedades más comunes del tomate cultivado en invernadero	36
Cuadro 3. Enfermedades virales más comunes del tomate en invernadero.....	39
Cuadro 4. Desordenes fisiológicos y nutricionales del cultivo de tomate.....	41
Cuadro 5. Descripción de los plaguicidas utilizados	65

LISTADO DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Curva de producción general, kg recolectados semanalmente.....	74
Gráfica 2. Temperatura dentro del invernadero	75
Gráfica 3. Humedad relativa dentro del invernadero	76
Gráfica 4. Concentración de CO ₂ en ppm dentro del invernadero.....	77
Gráfica 5. Diagrama de caja y bigotes para los tratamientos T1 y T2	80
Gráfica 6. Diagrama de caja y bigotes para los tratamientos T2 y T3	82
Gráfica 7. Media de producción (g/cosechados) por planta	83

GLOSARIO

ADVENTICIAS: Órgano o parte de los animales o vegetales, que se desarrolla ocasionalmente en un sitio que no le corresponde.

CÓTEX: Parte más externa y superficial de un órgano.

FUMAGINA: Es una patología de las plantas producida por el desarrollo de un hongo saprófito sobre un sustrato glúcido presente en la superficie de los vegetales.

GEN RIN (*ripening inhibitor*) **Y GEN NOR** (*non ripening*): Son genes mutantes que afectan el proceso natural de la madurez de los frutos, retardándola o deteniéndola.

HIBRIDACIÓN: Producción artificial de seres híbridos, los cuales son obtenidos del cruce de dos individuos de distinta especie.

HIPÓGINA: Se dice de la flor que presenta los sépalos, los pétalos y los estambres insertos en el receptáculo por debajo del gineceo (ovario supero).

IMPARIPINADAS: Tipo de hoja compuesta en la que el número de folíolos es impar y por tanto siempre hay un folíolo terminal al final del raquis o nervio medio de la hoja.

RF: Radiofrecuencia, también denominado RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro, se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el rendimiento productivo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marimba F1 en un prototipo de invernadero para clima cálido, montado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana. Para cumplir con el objetivo, se desarrolló un experimento factorial fraccional, con dos factores (densidad de siembra y número de tallos por planta) y dos niveles en cada factor, se descarto una de las combinaciones, dando como resultado tres tratamientos.

La granja experimental de la Universidad Surcolombiana se ubica en la vereda El Juncal del municipio de Palermo que según la escala de *Holdrige* corresponde a la formación vegetal bosque seco tropical (bs-T), con una temperatura media de 27°C y una humedad relativa media de 70 %, dos condiciones que según la *FAO* son óptimas para el cultivo de tomate, pero al presentarse importantes variaciones a lo largo del día, afectan en demasía el desarrollo del cultivo. Por lo anterior se proyectó el monitoreo y control de tres factores ambientales dentro del invernadero, la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂, con la ayuda de sensores para medir los factores y un extractor de aire para su control. Además, se planteó la automatización del sistema de riego por goteo, con el uso de un sensor de humedad ubicado en el suelo del invernadero, que accione la electrobomba para efectuar el riego, estos procesos de automatización se efectuaron y estuvieron a cargo de estudiantes del programa ingeniería electrónica en calidad de tesis de grado.

El proyecto tuvo una duración de 7 meses, de marzo a septiembre del año 2014 iniciando con la adecuación del invernadero para establecer el cultivo, este se desarrolló entre los meses de mayo a septiembre.

Palabras Claves: *Invernadero; Lycopersicon esculentum* Mill.; *Marimba F1; Factores ambientales.*

ABSTRACT

This project aims to assess the yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Variety marimba F1 prototype greenhouse in warm weather, mounted on the experimental farm of the University Surcolombiana. To meet the goal, a fractional factorial experiment with two factors (plant density and number of stems per plant) and two levels for each factor, developed one of the combinations was discarded, resulting in three treatments.

The experimental farm Surcolombiana University is located in the El Juncal Palermo Township on the scale that corresponds to Holdridge vegetation type tropical dry forest (bs-T), with an average temperature of 27 ° C and a relative humidity average of 70%, two conditions that are optimal according to the FAO for the tomato crop, but significant variations occur throughout the day, too much affects crop growth. Therefore monitoring and control of three environmental factors inside the greenhouse, temperature, relative humidity and concentration of CO₂, with the help of sensors designed to measure the factors and an exhaust fan for control. In addition, automation of drip irrigation system was proposed, with the use of a humidity sensor located on the floor of the greenhouse, which powers the electric stop making irrigation, these automation processes were made and were made by students electronic engineering program as a thesis.

The project lasted for seven months, from March to September 2014 beginning with the adjustment to set greenhouse cultivation, this took place between the months of May to September.

Keywords: *Greenhouse; Lycopersicon esculentum Mill.; Marimba F1; Environmental factors.*

INTRODUCCIÓN

En menos de un siglo el tomate se ha convertido en un cultivo alimentario importante en todo el mundo, originario de los Andes, domesticado en México y hasta hace poco considerado venenoso por muchos, en la actualidad el tomate se consume en todas partes. Junto con la popularidad mundial creció el gran negocio, primero el de los mejoradores comerciales y ahora el de los ingenieros genéticos, cuyos tomates hechos a la medida fueron el primer cultivo manipulado genéticamente que llegó a los comercios. La mejora que permitió la intensificación del cultivo en la década de 1930 en Estados Unidos y en la década de 1960 en Europa se basó y sigue basada en la hibridación. Un método tan especializado hizo que el cultivo les fuera arrebatado a los agricultores para quedar en manos de las empresas (*GRAIN*, 2000).

Aunque este tipo de agricultura bajo invernadero fue creada y adoptada en un principio para su implementación en países con estaciones, donde a diferencia de países del trópico como Colombia, las condiciones ambientales como la temperatura y el brillo solar no son óptimas durante todo el año para el desarrollo de los cultivos, este tipo de agricultura también ha sido adoptada en nuestro país como una alternativa de manejo de pequeños espacios de manera eficiente y sostenible para la producción de hortalizas y flores. En algunas zonas donde el desarrollo de cultivos como el tomate a campo abierto resulta dificultoso y poco rentable, además de la necesidad de usar plaguicidas muy tóxicos para controlar las plagas y poder obtener producciones apenas aceptables, la implementación de cultivos bajo invernaderos resulta ser una herramienta idónea para obtener mejores rendimientos en producción y calidad.

Este proyecto, se desarrolló en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, la cual se ubica al oriente del municipio de Palermo en la zona baja, que corresponde al valle del río Magdalena a una altura de 460 msnm, una temperatura promedio de 27° C y humedad relativa promedió de 70 %, condiciones que aparentemente son adecuadas para el cultivo de tomate pero que por las grandes variaciones que se presentan durante el día conciben un reto. Este proyecto se efectuó no solo para evaluar la producción de tomate variedad marimba F1 bajo invernadero con las condiciones ambientales de la zona (clima cálido), sino que además permitió valorar la implementación de procesos automatizados, como el control de la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂ dentro del invernadero y examinar si el invernadero cumple con las condiciones para obtener una buena producción de tomate.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las hortalizas, el tomate es la de mayor demanda en nuestro medio, debido a su diversidad de usos culinarios e industriales y a su alto margen de adaptación climática. Sin embargo, en algunas zonas agrícolas las altas temperaturas combinadas con una alta humedad relativa, causan gran incidencia de enfermedades y plagas que afectan el rendimiento y la calidad de los frutos, disminuyendo así la rentabilidad del cultivo para el agricultor. Por esta razón la implementación de nuevas tecnologías se convierte en una herramienta sostenible y eficiente, tal como son las cubiertas plásticas o invernaderos que permiten un mayor control de los factores bióticos y abióticos para la producción de hortalizas.

La zona de estudio se ubicada al oriente del municipio de Palermo en la franja baja que hace parte del valle del río Magdalena, zona arrocera y ganadera por tradición, y a pesar de que esta zona presenta dos condiciones idóneas muy importantes para el cultivo de tomate según la FAO, una temperatura media de 27°C y una humedad relativa media de 70 %, el escenario exhibe un comportamiento de las condiciones ambientales, en especial de temperatura muy variante, por debajo de los 20°C en las madrugadas y mayores a los 30°C en las horas de la tarde, este comportamiento concibe un reto que se plantea confrontar con el uso de un invernadero pequeño de 97 m² instalado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, con control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ usando sensores para medir cada condición y un extractor automatizado para su control.

Además del control de los factores abióticos anteriormente mencionados, se espera que el invernadero permita el control de plagas y enfermedades sin la necesidad de usar plaguicidas altamente peligrosos como los usados en la producción de tomate en campo abierto.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el rendimiento productivo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marimba F1 en un invernadero instalado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marimba F1 por unidad de área (kg/m^2).
- Evaluar tres tratamientos generados mediante un experimento factorial fraccional, con dos factores (densidad de siembra y número de tallos por planta) y dos niveles en cada factor, y determinar cuál tratamiento es mejor para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marimba F1 en invernadero.
- Evaluar la implementación de procesos automatizados para el control de la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO_2 dentro del invernadero.
- Examinar si el invernadero instalado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana cumple con las condiciones necesarias para obtener una buena producción de tomate.

2. MARCO CONCEPTUAL.

2.1 ANTECEDENTES

La agricultura protegida hoy en día es un componente esencial de la actividad agrícola moderna en todo el mundo, debido fundamentalmente a su fuerte vinculación con la agroindustria de exportación. El desarrollo de la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas se inició hace más de cuatro décadas en países como Holanda, Francia, Israel, EE.UU., Brasil, Italia, España y Japón, entre otros, los cuales han logrado grandes avances tecnológicos –principalmente con el cultivo de tomate– que se han traducido en incrementos en la productividad del orden de un 500% y que los ha llevado a ser altamente competitivos y a situarse como líderes en la exportación de estos productos. Actualmente Holanda, España e Israel se han constituido como los principales países productores de hortalizas de invernadero, dominando el mercado europeo.

En Colombia ya se tienen empresas y agricultores dedicados a la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas, con una mayor intensidad en la producción de tomate en zonas frías de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Huila, Eje Cafetero, Cauca, Valle del Cauca, Santander y Nariño. Se estima un área total de 800 hectáreas, las cuales han reportado notables incrementos en productividad en los últimos años. No obstante, estas experiencias han sido desarrolladas por iniciativas individuales de productores y lamentablemente no ha habido un programa definido de investigación, desarrollo y ajuste del sistema, lo cual ha llevado a que en algunos casos se presenten fracasos causados por el desconocimiento del manejo de los cultivos, de los insumos y de los materiales vegetales más apropiados para la siembra bajo estas condiciones; así mismo, por el inadecuado diseño de las estructuras y el manejo deficiente del componente climático en el interior de estos. (Jaramillo *et al.*, 2013).

En el departamento del Huila, en el municipio de Algeciras, vereda El Quebradon., a una altura de 1100 msnm y temperatura promedio de 23°C se encuentran invernaderos construidos en materiales no convencionales como guadua, donde se está implantando el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*). En el municipio de San Agustín a una altura de 1730 msnm y temperatura promedio de 18°C algunos productores también han empleado este sistema de cultivo de tomate bajo invernadero.

Admitido como un proyecto de grado, el primer ensayo con el cultivo de tomate en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, estuvo a cargo del estudiante Juan Camilo Carvajal Mosquera y se ejecutó entre el mes de octubre del año 2013 y febrero del año 2014, en este primer ensayo se utilizó una variedad de tomate denominada Ivety y se contrastaron 2 tratamientos para establecer cuál de los dos era el mejor en la producción de kg de tomate por metro cuadrado (kg/m^2), sin embargo, los resultados no fueron favorables, obteniendo rendimientos de $4.76 \text{ kg}/\text{m}^2$ y $4.23 \text{ kg}/\text{m}^2$ para los dos tratamientos, valores muy por debajo del promedio nacional, según CORPOICA una producción aceptable de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en invernadero debe rondar los $12 \text{ kg}/\text{m}^2$. Cabe destacar que para ese primer ensayo no se logró completar la etapa de cosecha, pasados 49 días de la etapa de cosecha el ensayo se vio truncado por la infestación de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*).

2.2 CONCEPTOS

2.2.1 El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*). Es una especie de la familia de las solanáceas, es originario de América del sur, pero su domesticación se inició en el sur de México y norte de Guatemala. En la actualidad es cultivada en todo el mundo para su consumo tanto fresco como procesado de diferentes modos (salsa, puré, zumo, deshidratado, enlatado).

Los italianos fueron los primeros en cultivar el tomate y probablemente los primeros que lo utilizaron en la alimentación humana, a mediados del siglo XVIII. El consumo de tomate como fuente de alimento ocurrió aproximadamente en 1850 en los Estados Unidos, y sólo a partir de esta fecha comenzó a tener un poco de interés científico y agronómico. Sólo a partir del siglo XIX adquirió gran importancia económica mundial, hasta llegar a ser, junto con la papa, la hortaliza más difundida y predominante del mundo. En 1900 surgió la primera variedad mejorada, denominada ponderosa, a partir de la cual se obtuvo la mayoría de las variedades americanas actuales. (FAO, 2007).

2.2.1.1 Taxonomía. El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia *Solanaceae* y al género *Lycopersicon* (Tabla 1).

Tabla 1. Contexto taxonómico del género *Lycopersicon*

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>Esculentum</i>
Nombre binomial	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Descriptor (1788)	<i>Miller</i>
Fuente: FAO. Manual técnico. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas.	

2.2.1.2 Morfología. El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual, puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta, y su crecimiento es limitado en las variedades determinadas, e ilimitado en las indeterminadas; esta planta cuenta con un tallo de 2 a 4 cm de diámetro, cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis, con una flor hermafrodita, regular e hipógina. (Ver Figura 1). Cuenta con hojas, con un sistema radical superficial, con un fruto que es una baya que presenta diferentes tamaños, formas, colores, consistencias y composición. Está constituido por la epidermis o piel, la pulpa, el tejido placentario y las semillas. Los frutos maduros pueden ser rojos (ver Figura 2), rosados o amarillos. Es importante al momento de elegir una variedad determinar si el mercado acepta esta característica. El fruto del tomate está unido al pedúnculo por medio de una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión.

Figura 1. Floración del tomate



Fuente: Carvajal, Hernández.

Figura 2. Frutos del tomate



Fuente: Carvajal, Hernández.

2.2.1.3 El tomate larga vida. Es un tipo de tomate reciente que se distingue por haber sido mejorado específicamente para una conservación más prolongada o larga vida en poscosecha. Estos tomates se han obtenido mediante cruzamientos con mutantes de maduración lenta (con el gen *rin* y gen *nor*), o por medio de ingeniería genética, introduciendo al germoplasma genes anti sentido que causan una maduración lenta. Las variedades con el gen *rin* tienen un 20 a 50% más de larga vida que las variedades normales, y las variedades mejoradas con el gen *nor* tienen un 50 a 100% más de larga vida que las variedades comunes. Se usan en

cultivos al aire libre o en invernaderos, y sus frutos son similares a otros, excepto por su larga vida útil en poscosecha y su gran dureza. En el país la tendencia es utilizar híbridos de tomate con mayor larga vida en poscosecha, principalmente en las variedades tipo milano (FAO, 2007).

2.2.1.4 Tomate variedad marimba F1. Es un tomate larga vida, variedad tipo milano de plantas equilibradas recomendado bajo invernadero, muy vigorosa, abiertas y de buena cobertura. Sus frutos son rojos, redondos y achatados, con peso entre 180 y 200 gramos, muy firmes y con buena poscosecha. Este híbrido tiene un alto nivel de resistencia y tolerancia a las razas 1 y 2 de fusarium (*Fusarium oxysporum*); resistente a verticillium (*Verticillium dahliae*); es resistente también al virus mosaico del tabaco (*TMV*). La información contenida en la Tabla 2, fue obtenida después de la realización de ensayos de campo. Los resultados pueden variar de acuerdo con la región, el clima, el sistema de siembra, etc. (Impulse semillas, 2014).

Tabla 2. Características de tomate híbrido marimba F1

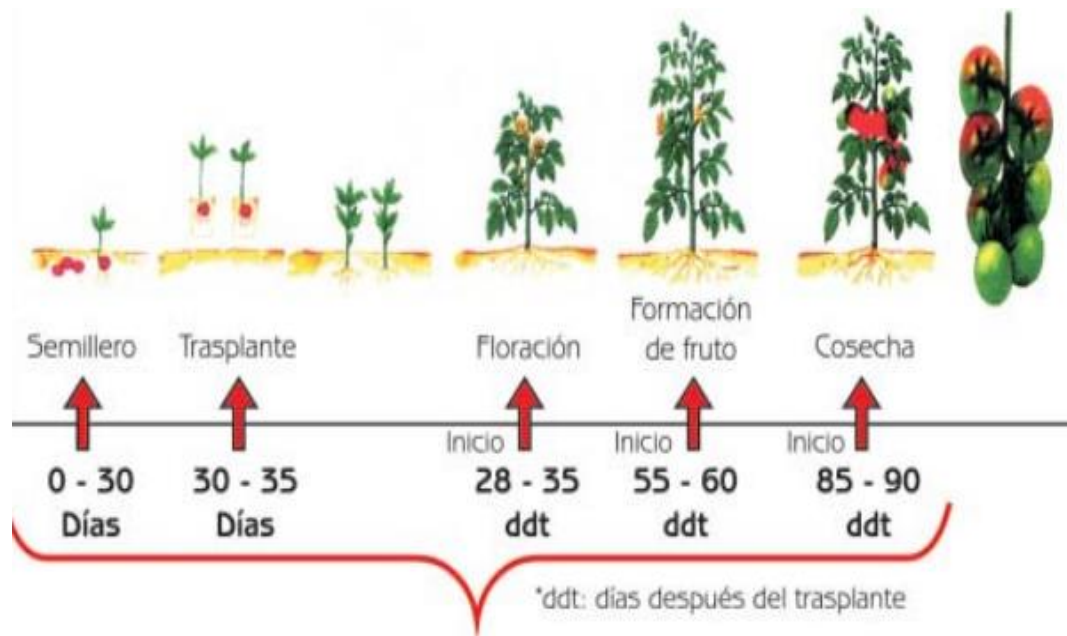
Tipo planta	Clima	Maduración	Vigor	Peso (g)	Forma
Indeterminada	Clima medio y frío bajo invernadero	Media	Alto	180-210	Globosos Achatados

2.2.2 El cultivo de tomate. Es la hortaliza más importante en muchos países del mundo. Su cultivo está difundido a todos los continentes y en muchos casos representa una de las principales fuentes de vitaminas y minerales para las personas. Su fruto se destina principalmente en su estado fresco para el consumo, pero también sirve como materia prima para elaborar diversos derivados, como pastas, sopas y deshidratados, entre otros (CORFO, 1986).

2.2.2.1 Ciclo del cultivo de tomate. La duración del ciclo del cultivo del tomate está determinada por la variedad y por las condiciones climáticas de la zona en la cual se establece el cultivo. La fase de desarrollo vegetativo de la planta, comprende cuatro subetapas que se inician desde la siembra en semillero,

seguida de la germinación; posteriormente la formación de tres a cuatro hojas verdaderas y finalmente el trasplante a campo, con una duración aproximada de 30 a 35 días. Posteriormente se produce la fase reproductiva que incluye las etapas de floración (que se inicia a los 25 – 28 días después del trasplante), de formación del fruto y de llenado de fruto, hasta la madurez para su cosecha, la cual se inicia en el primer racimo entre los 85 a 90 días después del trasplante. La etapa reproductiva tiene una duración de 80 días, aproximadamente. El ciclo total del cultivo es de 210 días aproximadamente siete meses (Figura 3).

Figura 3. Fenología del cultivo de tomate para las condiciones del Oriente Antioqueño



Fuente: CORPOICA, 2006

2.2.2.2 Producción de tomate a nivel mundial. La producción de tomate en el mundo durante los últimos cinco años ha experimentado un crecimiento casi continuo, en el año 2008 la producción fue de 141,080,000 toneladas, en 2009 fue de 154,332,000 toneladas, en 2010 se produjeron 152,007,000 toneladas, en 2011 la producción mundial fue de 158,019,000, según los datos que ha elaborado Hortoinfo procedentes de FAOSTAT, el organismo de estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para el año 2012 (últimos datos disponibles a nivel mundial), la producción mundial fue de 211,021,843 toneladas, En la Tabla 3, se muestran los 10 mayores

productores de tomate a nivel mundial, su producción total en toneladas y su rendimiento en kilogramos cosechados por metro cuadrado sembrado (kg/m^2). Adicionalmente se muestra el puesto que ocupa Colombia a nivel mundial y algunos países con rendimientos excepcionales.

Tabla 3. Principales países productores de tomate en el año 2012

No.	País	Producción (T)	kg/m^2
1	China	50,125,055	5
2	India	17,500,000	2.01
3	EEUU	13,206,950	8.79
4	Turquía	11,350,000	3.78
5	Egipto	8,625,219	3.98
6	Irán	6,000,000	3.75
7	Italia	5,131,977	5.58
8	España	4,007,000	8.21
9	Brasil	3,873,985	6.06
10	México	3,433,567	3.55
16	Portugal	1,392,700	9.4
25	Países Bajos	805,000	47.60
34	Colombia	646,904	3.84

Fuente: FAOSTAT © FAO Dirección de Estadística 2013.
Elaboro: Hortoinfo y Hernández.

El país productor de tomate con el mejor rendimiento (kg/m^2) a nivel mundial es Países Bajos con un promedio extraordinario de 47.06 kg/m^2 cuya producción es exclusivamente en invernaderos, seguido muy lejos por Portugal, con 9.4 kg/m^2 , el tercer lugar, con 8.79 kg/m^2 , está ocupado por Estados Unidos. Por su parte Colombia con un rendimiento de 3.84 kg/m^2 logra ponerse a nivel de otros importantes productores del continente como México pero muy lejos de Brasil. Destaca de forma negativa el rendimiento de la India el segundo mayor productor con tan solo 2.01 kg/m^2 un rendimiento deplorable comparado con otros países de la Tabla 3. Es preciso mencionar que estos valores de rendimiento en kg/m^2 para cada país expresan la producción conjunta de tomate a campo abierto como en invernaderos.

2.2.2.3 Producción de tomate en Holanda. El rendimiento holandés en la producción de tomate en fresco es de 47.60 kg/m² según la FAO, ocupando el primer lugar y destacado en el ranking de los 30 mayores productores del mundo. Hay que tener en cuenta que la producción holandesa es casi exclusivamente en invernadero, con cultivos de ciclo completo, mientras que en la mayor parte de los países se mezcla la producción en invernadero con la de campo abierto, con ciclos más cortos. Los holandeses cuentan con más de 10,000 hectáreas de cultivos bajo cristal (invernadero holandés), de estas un 12 % se dedica al tomate, en algunos casos la utilización de invernaderos de última generación combinado con los procesos de investigación realizados por universidades como la Universidad de *Wageningen*, se llegan a obtener rendimientos de hasta 80 kg/m². Los holandeses logran obtener grandes rendimientos no solo en tomate sino que también lo hacen en flores y otras hortalizas con el agregado de que no utilizan químicos para el control de plagas y enfermedades, además de que sus sistemas les permiten ahorrar agua y energía (Agrosfera, 2013).

2.2.3 El cultivo de tomate en invernadero. Los invernaderos se utilizan para asegurar la producción y calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es difícil mantener los cultivos en condiciones óptimas a lo largo del año. El concepto de cultivos bajo invernadero, representa el paso de producción extensiva de tomate a producción intensiva. Para ello, las plantas han de reunir condiciones óptimas de la raíz a las hojas. Los invernaderos generalmente son utilizados para cultivos de porte alto, como tomate, pepino, pimentón, melón, flores y otras (CORPOICA, 2006).

El cultivo del tomate en invernadero permite obtener altos rendimientos productivos como los obtenidos por Zárate 2007, quien obtuvo un rendimiento de 17.4 kg/m² para la variedad Loreto y 21.4 kg/m² para la variedad SUN 7705, de León 2009 obtuvo un rendimiento de 27.9 kg/m² para la variedad Yamile. Según CORPOICA en cuanto a rendimientos, el promedio nacional de tomate para consumo fresco cultivado al aire libre es de 40 t/ha o 4 kg/m², mientras que un rendimiento normal de tomate en invernadero debería ser de 120 t/ha o 12 kg/m².

2.2.3.1 Ventajas de la producción bajo invernadero.

□ **Protección contra condiciones climáticas extremas.** Permite un control contra las lluvias, granizadas, bajas temperaturas, vientos, tempestades y presencia de rocío en los cultivos. La siembra bajo invernadero permite realizar un control de factores como calentamiento, enfriamiento, sombrero, enriquecimiento con CO₂ y aplicación de agua.

□ **Obtención de cosechas fuera de época.** Cultivar bajo invernadero hace posible producir durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas externas.

□ **Mejor calidad de la cosecha.** Dentro de un ambiente protegido, las condiciones de producción favorecen la obtención de productos sanos, similares en forma y tamaño, con madurez uniforme, más sabrosos y con excelente presentación, características que estimulan sensiblemente el consumo; además, el ambiente protegido permite la utilización de variedades mejoradas, como las de tipo larga vida.

□ **Aumento considerable de la producción.** Esta característica es la que estimula a los productores para aplicar esta técnica de producción. Una planta expuesta a diferentes factores favorables bajo invernadero, produce de tres a cuatro veces más, aun en épocas críticas, que los cultivos desarrollados a campo abierto en condiciones normales. La alta productividad, asociada a la posibilidad de producción y comercialización en la época más oportuna, compensa la inversión inicial, con ganancias adicionales para el productor.

□ **Ahorro en costos de producción.** Existe un ahorro en los costos, pues se aumenta la producción por unidad de área, se incrementa la eficiencia de los insumos agrícolas, disminuye el número de insumos aplicados y hay mayor comodidad en la realización oportuna de las labores.

□ **Disminución en la utilización de plaguicidas.** Dentro de un invernadero es posible utilizar mallas y cubiertas para evitar la entrada de insectos y plagas, igualmente las áreas cubiertas facilitan la práctica del monitoreo y muestreo para determinar la presencia de insectos y de enfermedades, lo que permite disminuir el número de aplicaciones.

□ **Aprovechamiento más eficiente del área de cultivo.** En un invernadero se puede utilizar más eficientemente el área del cultivo, ya que se pueden sembrar más plantas por metro cuadrado.

Además de las anteriores ventajas, este sistema permite hacer un uso racional del agua y de los nutrientes, realizar una programación en las labores de cultivo y de producción; la primera cosecha es mucho más precoz, lo que permite un mayor periodo de producción y, con esto, mayor productividad por planta y por unidad de área. (FAO, 2007).

2.2.3.2 Desventajas de la producción bajo invernadero.

Alta inversión inicial. Se requiere necesariamente una infraestructura cuyo costo depende de los materiales con que se construya el invernadero.

Requiere personal especializado. Es necesario tener personal capacitado en las diferentes labores del cultivo y de los demás instrumentos con que puedan contar las instalaciones como equipo electrónico.

Supervisión permanente. El cultivo requiere monitoreo constante de las condiciones ambientales dentro del invernadero para un mejor control de plagas y enfermedades y del desarrollo productivo. (FAO, 2007).

2.2.4 Condiciones ambientales óptimas para el cultivo de tomate.

2.2.4.1 Humedad relativa. Es un factor muy importante, ya que del buen manejo y control de la humedad relativa depende que no se desarrollen plagas y enfermedades que pondrían en peligro la producción e incrementarían de modo sustantivo los costos de operación por la aplicación de agroquímicos para enfrentarlas. Las esporas de la mayoría de los patógenos germinan con una humedad relativa superior al 90%, lo que quiere decir que una plantación es controlada eficientemente cuando la humedad ambiente se mantiene por debajo de este porcentaje, y con ello el éxito está prácticamente asegurado. La humedad relativa ideal para el desarrollo del cultivo de tomate debe estar entre un 65 y un 75% (FAO, 2007).

2.2.4.2 Temperatura. Es el principal factor climático que influye en la mayoría de los estados de desarrollo y procesos fisiológicos de la planta. El desarrollo satisfactorio de sus diferentes fases (germinación, crecimiento vegetativo, floración, fructificación y maduración de frutos) depende del valor térmico que la planta alcanza en el invernadero en cada periodo crítico. En un invernadero, cuando se produce un aumento de temperatura, ésta provoca en la planta una intensificación de todos los procesos biológicos y térmicos bien definidos que es necesario conocer en las plantas cultivadas en invernadero (FAO, 2007). En la Tabla 4 se relaciona la temperatura y los efectos de esta en la planta de tomate.

Tabla 4. Temperaturas y efectos producidos en el tomate

Temperatura	Efecto que produce la planta
Mínima 8-12° C	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita, y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel, la planta sufre una progresiva decadencia o muerte.
Óptima 21-27° C	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación son adecuados.
Máxima 32-36° C	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre la muerte de la planta.
Fuente FAO. Manual técnico. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas.	

2.2.4.3 Luminosidad. El tomate requiere días soleados para un buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto. La baja luminosidad afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta y reduce la absorción de agua y nutrientes (FAO, 2007).

La luz es un factor primordial en la vida de la plantas, ya que ayuda al proceso de la fotosíntesis mediante el curso de la clorofila vegetal, el CO₂ atmosférico y la humedad. Por medio de unas reacciones biológicas determinadas de estos elementos se forma glucosa, la cual da lugar a los hidratos de carbono, proteínas y grasas, con la colaboración de los elementos esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), que toma la planta del suelo al efectuarse la fertilización del mismo. (FRANQUET, 1995).

2.2.4.4 Anhídrido carbónico. El contenido de carbono (**C**) en el tejido vegetal representa alrededor del 40% de la materia seca. El carbono procede del dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera y se incorpora al tejido vegetal a través

del proceso de la fotosíntesis, por tanto, se puede afirmar que el CO₂ es una de las principales fuentes de la fotosíntesis. En la atmósfera actual, la concentración de CO₂ está en torno a 385 ppm, mientras que la concentración óptima para la fotosíntesis se sitúa entre 900-1000 ppm, lo que significa que la tasa de asimilación de carbono potencial está muy limitada por la actual concentración de CO₂ atmosférico (Pilar Lorenzo, 2012).


El enriquecimiento de CO₂ agrega kilogramos al rendimiento. Sin dicho enriquecimiento, un cultivo activo fotosintéticamente podría reducir los niveles de CO₂ a menos de 120 ppm, la concentración mínima para la fotosíntesis del tomate, incluso cuando la ventilación máxima permite la entrada de CO₂ del exterior. Investigaciones han revelado que el enriquecimiento con CO₂ a niveles de 375, 450 y 525 ppm incrementó el rendimiento total en tomates y pepinos. En los tres años de duración del experimento, el rendimiento de fruto de tomate comercializable se incrementó en 2.65 (+/-0.201) kg/m² por cada 100 ppm agregados al promedio de concentración de CO₂ sobre 340 ppm, que es la concentración que se produce en el aire de forma natural (a nivel de ambiente). Las pérdidas en el rendimiento de tomate serán de aproximadamente 2.5 a 5% por cada descenso de 35 a 70 ppm en la concentración de CO₂ por debajo de los niveles del ambiente. En consecuencia, el productor debe prevenir el descenso de los niveles de CO₂ en el invernadero por debajo de 350 ppm, lo cual consigue con el enriquecimiento con CO₂ (Douglas Marlow, 2011).

Debido a que los invernaderos permanecen cerrados más horas al día que abiertos, va disminuyendo el anhídrido carbónico por la utilización de este por la planta para efectuar la fotosíntesis; por lo tanto, la concentración del mismo en el interior del invernadero es menor que el existente en el ambiente exterior. Por otra parte, la concentración de CO₂ que precisan las plantas cultivadas bajo invernadero puede lograrse por medios naturales o bien artificiales. El primero de ellos consiste en abrir periódicamente las ventanas o aberturas para la renovación de aire, pero, como es lógico, esto no es siempre posible realizarlo, ya que enfriaría el invernadero, perjudicando considerablemente a las plantas al no gozar las mismas de un ambiente térmico adecuado (FRANQUET, 1995).




2.2.5 Plagas y enfermedades del tomate. El cultivo del tomate es afectado por una gran cantidad de plagas (insectos plaga y enfermedades), además de ser susceptible a algunos desórdenes fisiológicos no ocasionados por patógenos o insectos.

2.2.5.1 Plagas. En el cuadro 1 se describen las plagas más importantes en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero.



Cuadro 1. Plagas más comunes del tomate cultivado en invernadero

<p>Mosca Blanca ((<i>Trialeurodes vaporariorum</i>, <i>Bemisia tabaci</i>)). Es la plaga más común y limitante. El desarrollo de pasa por 4 estados (huevo, ninfa, pupa y adulto) y generalmente tiene una duración de 25 a 30 días bajo condiciones de temperatura de entre 20 y 25°C.</p>	
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Su importancia como plaga, radica en el daño causado por adultos e inmaduros, al succionar la savia de la planta. El daño adquiere importancia económica cuando las poblaciones de ninfas y adultos son altas y llegan a causar amarillamiento, moteado, encrespamiento, caída de las hojas y reducción del vigor de la planta. • Sobre la excreción azucarada que producen los adultos y ninfas de la mosca blanca, se forma una fumagina al crecer el hongo <i>Cladosporium sp</i>; cuando la infestación es fuerte, esta cubre las hojas, reduciendo la fotosíntesis y cubre los frutos, los cuales deben ser limpiados antes de su comercialización. • Otro daño importante es la transmisión de virus. 	
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda eliminar las malezas hospedantes al interior y exterior del invernadero. • Usar cintas pegajosas de color amarillo; utilizar coberturas plásticas, especialmente plateadas sobre la cama. • Rotar el tomate con otros cultivos que no sean de la misma familia de las <i>solanáceas</i>. 	
<p>Control químico</p> <p>Se debe tener en cuenta que hay que romper el ciclo biológico del insecto, de tal forma que se debe utilizar un químico para el control de la fase adulta y otro para el control de los estados ninfales, además de ejercer una adecuada rotación de productos, para evitar que la plaga adquiera resistencia. Las aplicaciones de productos químicos se deben realizar con equipos de ultra bajo volumen o alta presión, para una distribución uniforme de las gotas finas que permitan un buen cubrimiento del follaje.</p>	
<p>Recomendaciones</p> <p>El control biológico se presenta como la mejor alternativa dentro de un programa de manejo integrado de plagas, siendo el parasitoide <i>Encarsia formosa</i> la especie más utilizada para el control de la mosca blanca.</p>	



Cuadro 1. (Continuación)

Tierreros y trozadores (<i>Spodoptera spp</i>). El adulto son mariposas de hábitos nocturnos y son las larvas las que causan los mayores daños al cultivo.	
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• Las larvas que generalmente atacan en focos o parches y se presentan en forma abundante durante periodos secos, temperaturas altas y en presencia de malezas y gramíneas, pastos o residuos de cosechas anteriores.• Estas se alimentan de las plantas, atacando sus cuellos y raíces; en ocasiones dañan el follaje, principalmente en las horas de la noche, permaneciendo inmóviles dentro del suelo durante el día.	
Control preventivo y técnicas culturales <ul style="list-style-type: none">• Para el control de este tipo de gusanos, se recomienda eliminar las malezas dentro y fuera del invernadero, ya que estas especies preferentemente ponen sus huevos en ellas.• Realizar una adecuada preparación del terreno y ubicar trampas de luz alrededor del invernadero para la captura de los adultos de estos insectos.	
Áfidos o pulgones (<i>Homoptera: aphididae</i>)	
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• Se alimentan de los tejidos vegetales de las plantas, succionando la savia, debilitando la planta y ocasionando deformaciones y amarillamiento.• Su importancia radica en la transmisión de virus y enfermedades como la fumagina, hongo negro que cubre totalmente las hojas e impide todos los procesos fotosintéticos de las mismas.	
Recomendaciones <ul style="list-style-type: none">• El control químico con insecticidas es el más usado por los productores.	
Minadores de la hoja (<i>Diptera: agromyzidae</i>)	
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• El daño económico lo realizan las larvas de estos insectos, al construir minas y galerías en las hojas, desarrollando necrosis.• En ataques fuertes, las hojas se secan por completo, reduciendo la capacidad fotosintética.	

Cuadro 1. (Continuación)

<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es difícil de controlar una vez que está presente en altas poblaciones, tanto por su resistencia como por su hábito de minador que lo protege de las aspersiones foliares. Control de las malezas huéspedes, la rotación de cultivos y el uso de trampas amarillas atrayentes. 	
<p>Trips (<i>Thysanoptera: thripidae</i>)</p>	
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los adultos y las ninfas causan punteados o pequeñas manchas cloróticas o plateadas en los tejidos y deformación de las hojas. • Si las poblaciones son altas, las hojas se secan parcial o completamente. 	
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • La destrucción de malezas hospederas, la rotación de cultivos y el uso de trampas atrayentes de colores azules. 	
<p>Ácaros o Arañita roja (<i>Acarina: tetranychidae</i>)</p>	
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se alimentan del jugo celular de los tejidos vegetales, generalmente en el envés de la hoja, generando puntos necróticos de aspecto amarillo o blanco en el haz. • Al aumentar la población de arañitas, toda la hoja presenta una coloración amarilla difusa, se seca y puede caerse. • Cuando la población es alta, los ácaros comienzan a formar una telaraña que puede cubrir el haz de las hojas, tallos y frutos, y migran hacia las partes altas de la planta, donde se pueden formar grumos de arañas. • En ataques muy severos, pueden producir el marchitamiento total de la planta. 	
<p>Recomendaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control biológico con el uso de especies de enemigos naturales (depredador, parásito y patógeno) que se encargan de regular sus poblaciones. • El control químico con insecticidas es el más usado por los productores. 	

Cuadro 1. (Continuación)

Nematodo (<i>Meloidogyne spp</i>)	
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penetran en las raíces desde el suelo produciendo los típicos nódulos en las raíces que le dan el nombre común de “batatillas” o “porrillas”. Estos daños producen la obstrucción de vasos e impiden la absorción por las raíces, traduciéndose en un menor desarrollo de la planta y la aparición de síntomas de marchitez en verde en las horas de más calor, clorosis y enanismo. 	
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocación de mallas en las bandas del invernadero. • Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo. • En el caso de fuertes ataques, eliminar y destruir las hojas bajas de la planta. • Colocación de trampas de feromonas y trampas de luz. • Vigilar los primeros estados de desarrollo de los cultivos, en los que se pueden producir daños irreversibles. • Las placas amarillas engomadas realizan capturas de adultos. Existen distintos productos biológicos comercializados y químicos tipo cebos para gusanos del suelo. • Solarización del suelo previo a la plantación y rotación de cultivos con diferentes especies. 	
Cogollero, Tuta absoluta (<i>Lepidoptera: Gelechiidae</i>) . Es una de las plagas más dañinas para el cultivo porque es minador de hojas, consume cogollos y barrena los frutos causando su pérdida completa.	
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los adultos colocan los huevos directamente en el follaje o en los sépalos. La larva es el único estado que causa el daño, empupa dentro de las minas, cerca de las nervaduras, por debajo de los sépalos o en el suelo. • Los adultos son polillas pequeñas de hábito nocturno. A 25 °C el desarrollo de huevo a adulto es de 27 días, la fecundidad es de 58 huevos por hembra y la longevidad es de 11 días. 	
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para el manejo de esta plaga se recomienda hacer seguimiento y control de la población mediante el uso de trampas con feromona sexual para captura de machos. 	
Fuente CORPOICA, 2009. Manual del cultivo de tomate en invernadero. Elaboro: Hernández.	

2.2.5.2 Enfermedades. En el cuadro 2 se describen las enfermedades más importantes en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en invernadero.

Cuadro 2. Enfermedades más comunes del tomate cultivado en invernadero

<p>Oidiopsis (<i>Leveillula taurica</i>). Es un parásito de desarrollo semi-interno y los conidióforos salen al exterior a través de las estomas.</p>
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manchas amarillas en el haz de las hojas que se necrosan por el centro, observándose un fieltro blanquecino por el envés. • En caso de fuerte ataque la hoja se seca y se desprende. • Las solanáceas silvestres actúan como fuente de inóculo. • Se desarrolla a 10 - 35 °C con un óptimo de 26 °C y una humedad relativa del 70%.
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de malas hierbas y restos de cultivo. • Utilización de plántulas sanas.
<p>Podredumbre gris (<i>Botryotinia fuckeliana</i>). Parásito que ataca a un amplio número de especies vegetales, afectando a todos los cultivos hortícolas protegidos, pudiéndose comportar como parásito y saprofito.</p>
<p>Síntomas y daños</p> <ul style="list-style-type: none"> • En plántulas produce damping-off. • En hojas y flores se producen lesiones pardas. • En frutos tiene lugar una podredumbre blanda (más o menos acuosa, según el tejido), en los que se observa el micelio gris del hongo. • Las principales fuentes de inóculo las constituyen las conidias y los restos vegetales que son dispersados por el viento, salpicaduras de lluvia, gotas de condensación en plástico y agua de riego. • La temperatura, la humedad relativa y fenología influyen en la enfermedad de forma separada o conjunta. • La humedad relativa óptima oscila alrededor del 95% y la temperatura de 17 y 23 °C. • Los pétalos infectados y desprendidos actúan dispersando el hongo.
<p>Control preventivo y técnicas culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de malas hierbas, restos de cultivo y plantas infectadas. • Tener especial cuidado en la poda, realizando cortes limpios a ras del tallo. De ser posible cuando la humedad relativa no sea muy elevada y aplicar posteriormente una pasta fungicida. • Controlar los niveles de nitrógeno y calcio. • Utilizar cubiertas plásticas en el invernadero que absorban la luz ultravioleta. • Emplear marcos de plantación adecuados que permitan la aireación. • Manejo adecuado de la ventilación en bandas y en especial de la cenital y el riego.

Cuadro 2. (Continuación)

Mildiu (<i>Phytophthora infestans</i>). Este hongo es el agente causal del mildiu del tomate y de la papa, afectando a otras especies de la familia de las solanáceas.
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• Ataca a la parte aérea de la planta y en cualquier etapa de desarrollo. En hojas aparecen manchas irregulares de aspecto aceitoso, al principio, que rápidamente se necrosan e invaden casi todo el foliolo. Alrededor de la zona afectada se observa un pequeño margen con presencia de humedad y en el envés aparece un fieltro blancuzco poco patente.• En tallo, aparecen manchas pardas que se van agrandando y que suelen circundarlo.• Afecta a frutos inmaduros, manifestando grandes manchas pardas, vítreas y superficie y contorno irregular. Las infecciones suelen producirse a partir del cáliz, por lo que los síntomas cubren la mitad superior del fruto.• La dispersión se realiza por lluvias y vientos, riegos por aspersión, rocíos y gotas de condensación.• Las condiciones favorables para su desarrollo son: altas humedades relativas (superiores al 90%) y temperaturas entre 10 °C y 25 °C.
Control preventivo y técnicas culturales <ul style="list-style-type: none">• Eliminación de plantas y frutos enfermos.• Manejo adecuado de la ventilación y el riego.• Utilizar plántulas sanas.
Alternariosis (<i>Alternaria solani</i>).
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• En plántulas produce un chancro negro en el tallo a nivel del suelo.• En pleno cultivo las lesiones aparecen tanto en hojas como tallos, frutos y pecíolos.• En hoja se producen manchas pequeñas circulares o angulares, con marcados anillos concéntricos.• En tallo y pecíolo se producen lesiones negras alargadas, en las que se pueden observar a veces anillos concéntricos.• Los frutos son atacados a partir de las cicatrices del cáliz, provocando lesiones pardas oscuras ligeramente deprimidas y recubiertas de numerosas esporas del hongo.• Fuentes de dispersión: solanáceas silvestres y cultivadas, semillas infectadas, restos de plantas enfermas.• Las conidias pueden ser dispersadas por salpicaduras de agua, lluvia, viento, etc.• Rango de temperatura: 3 - 35 °C. La esporulación está favorecida por noches húmedas seguidas de días soleados y con temperaturas elevadas.
Control preventivo y técnicas culturales <ul style="list-style-type: none">• Eliminación de malas hierbas, plantas y frutos enfermos.• Manejo adecuado de la ventilación y el riego.• Utilizar semillas sanas o desinfectadas y plántulas sanas.• Abonado equilibrado.

Cuadro 2. (Continuación)

Ataque de Alternaria (<i>Fusarium oxysporum f.sp.</i>).
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• Comienza con la caída de pecíolos de hojas superiores.• Las hojas inferiores amarillean avanzando hacia el ápice y terminan por morir. Puede manifestarse una marchitez en verde de la parte aérea, pudiendo ser reversible. Después se hace permanente y la planta muere. También puede ocurrir que se produzca un amarilleo que comienza en las hojas más bajas y que termina por secar la planta.• Si se realiza un corte transversal al tallo se observa un oscurecimiento de los vasos.• El hongo puede permanecer en el suelo durante años y penetrar a través de las raíces hasta el sistema vascular.• La diseminación se realiza mediante semillas, viento, labores de suelo, plantas enfermas o herramientas contaminadas.• La temperatura óptima de desarrollo es de 28 °C.
Control preventivo y técnicas culturales <ul style="list-style-type: none">• La rotación de cultivos reduce paulatinamente el patógeno en suelos infectados.• Eliminar las plantas enfermas y los restos del cultivo.• Utilizar semillas certificadas y plántulas sanas.• Utilización de variedades resistentes.• Desinfección de las estructuras y útiles de trabajo.• Solarización.
<i>Verticilium dahliae</i> Kleb.
Síntomas y daños <ul style="list-style-type: none">• Empiezan por una marchitez en las horas de calor, que continúa con clorosis de la mitad de las hojas y de forma unilateral, desde las hojas de la base al ápice. La planta termina marchitándose y muriendo.• Haciendo un corte transversal de los vasos se observa un oscurecimiento de color pardo claro.• La diseminación se produce especialmente a través del agua de riego, tierra en zapatos y material de plantación infectado.• Las malas hierbas actúan como reservorio de la enfermedad.• La temperatura aérea que favorece la enfermedad oscila entre los 21 - 25 °C.
Control preventivo y técnicas culturales <ul style="list-style-type: none">• Eliminar las malas hierbas.• Destruir los restos de cultivo.• Utilizar material de plantación sano.• Evitar contaminaciones a través de aperos, tierra y salpicaduras de agua.• Utilizar variedades resistentes.• Solarización.
Fuente CORPOICA, 2009. Manual del cultivo de tomate en invernadero. Elaboro: Hernández.

2.2.5.3 Enfermedades virales. Las enfermedades virales en las hortalizas son un problema que es necesario prevenir de manera frecuente, ya que la infección por medio de algún tipo virus significa la pérdida del cultivo. Para este caso no hay método de control, solamente la prevención es la base de un cultivo sano.

Cuadro 3. Enfermedades virales más comunes del tomate en invernadero

Virus del bronceado del tomate
Produce enanismo y producción nula o escasa; a veces las plantas mueren. Generalmente se producen en las hojas bronceadas con puntos y manchas necróticas, que a veces afectan a los pecíolos y tallos; en frutos aparecen manchas, maduración irregular, deformaciones y necrosis. La transmisión se produce mediante varias especies de trips.
Virus del mosaico del pepino
Debido a la gran variabilidad genética, los síntomas producidos por diferentes cepas de virus pueden ser distintos. En tomate, las cepas comunes de CMV producen síntomas de mosaicos foliares en forma de manchas de color verde claro, verde oscuro. La transmisión se realiza por pulgones.
Virus del rizado amarillo del tomate
En plantas pequeñas se produce parada del crecimiento; en planta desarrollada, los folíolos son de tamaño reducido. En los frutos no se observan síntomas, sólo una reducción de tamaño.
Virus del mosaico del tomate
En las hojas de tomate se observa un mosaico verde claro-verde oscuro. Los frutos aparecen con deformaciones, manchas generalmente amarillas y a veces maduración irregular. La transmisión se realiza por semillas y mecánicamente por contacto de manos, herramientas, etc. No se conocen vectores específicos naturales.
Virus del enanismo ramificado del tomate
En las hojas apicales de tomate se observa un fuerte amarilleo, a veces con necrosis, que pueden llegar hasta el pecíolo y tallo; otras veces las hojas aparecen de un fuerte color morado y en los frutos se observa fuertes necrosis con zonas hundidas, manchas y deformaciones. No se conocen vectores naturales. Se transmite por suelo y agua.
Control de los virus del tomate
<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de plantas afectadas y malas hierbas dentro y fuera del invernadero. • Control de insectos vectores: pulgones, mosca blanca y trips. • Utilizar variedades resistentes.
Fuente CORPOICA, 2009. Manual del cultivo de tomate en invernadero. Elaboro: Hernández.

2.2.6 Fertilización. Una fertilización eficiente es aquella que, con base en los requerimientos nutricionales de la planta, proporciona los nutrientes en las cantidades suficientes y épocas precisas para el cultivo. Una buena fertilización no implica aplicar solamente el elemento faltante, sino también mantener un balance adecuado entre los elementos, tanto en el suelo como en las diferentes estructuras de la planta. Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere de una alta disponibilidad de nitrógeno (**N**), fósforo (**P**), potasio (**K**), calcio (**Ca**), magnesio (**Mg**), cobre (**Cu**), boro (**B**), zinc (**Zn**). Aunque la exigencia de N es alta, un exceso de este elemento puede llegar a un exagerado desarrollo vegetativo con bajo porcentaje de formación de frutos. Desde el momento del trasplante hasta la floración, la relación de fertilización de N y K debe ser de 1:1; cuando comienza el llenado de fruto, se requiere de una cantidad mayor de K ya que este elemento contribuye con la maduración y llenado de frutos; la relación de estos nutrientes debe ser 1:2 o 1:3.

El P desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y el crecimiento celular y otros procesos de las plantas. La fertilización con P es clave, no sólo para restituir los niveles de nutrientes en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas y promover la rápida formación y crecimiento de las raíces, haciéndolas más resistentes a la falta de agua. El P también mejora la calidad de los frutos y la deficiencia de P retarda la madurez del cultivo (CORPOICA, 2006).

2.2.6.1 Fertirriego. En invernadero, se aprovecha el sistema de riego para aplicar la fertilización disuelta en el agua de riego, lo cual le permite a la planta obtener de manera oportuna los nutrientes para su desarrollo. Si no se dispone de este, se recomienda realizar fertilizaciones edáficas, a partir de los 20 días después del trasplante, con intervalos de aplicación de 20 días hasta la formación del último racimo a cosechar. No se debe olvidar aplicar fuentes de elementos menores, en forma edáfica o foliar (CORPOICA, 2009).

2.2.6.2 Desordenes fisiológicos y nutricionales. Los desordenes fisiológicos (Ver cuadro 4), también llamados enfermedades abióticas, causan una serie de anomalías a diferentes estructuras de la planta, generalmente debidas a condiciones climáticas adversas o por deficiencias nutricionales.

Cuadro 4. Desordenes fisiológicos y nutricionales del cultivo de tomate

<p>Pudrición apical del fruto o culillo. Es uno de los desordenes nutricionales más comunes de la producción de tomate bajo invernadero y es ocasionado por la deficiencia de calcio en la planta.</p>	
<p>Síntomas Este desorden fisiológico se presenta en frutos verdes y maduros; se manifiesta como una necrosis o pudrición en la parte apical del fruto deteriorando su calidad.</p>	
<p>Control Para prevenir este desorden se pueden tomar algunas medidas preventivas como son: encalar el suelo para subir el pH y aumentar la disponibilidad de calcio, mantener un buen nivel de calcio, en la solución nutritiva, evitar el estrés de agua en el suelo, tanto por déficit como por exceso, evitar la alta o baja humedad relativa dentro del cultivo.</p>	
<p>Grietas en frutos. Se presentan por riego irregular, fluctuaciones de la humedad del suelo, alta temperatura y alta irradiación del día y temperaturas nocturnas bajas, variedades sensibles, alta humedad del aire, aparición de virosis, plantas viejas con poca área foliar, poda fuerte de hojas y bajos niveles de nutrientes, especialmente K, Ca y Mg.</p>	
<p>Síntomas Se pueden presentar tres tipos de agrietamiento en los frutos: las grietas radiales que se desarrollan desde el cáliz del fruto hacia la parte apical del mismo. Las grietas concéntricas se presentan alrededor del cáliz y tienen forma de círculo o semicírculo. Las grietas diminutas, son pequeñas fisuras que se desarrollan alrededor de los hombros del fruto, de apariencia irregular y se presentan en grandes cantidades.</p>	
<p>Control Para reducir o prevenir las grietas en los frutos, se deben usar variedades tolerantes a el agrietamiento, mantener la humedad del suelo constante, evitar sembrar en épocas de altas temperaturas y radiación solar, evitar riego accidental o lluvia, mantener una nutrición adecuada con K, Ca y Mg.</p>	

Cuadro 4. (Continuación)

<p>Malformaciones. Es un desorden común en cultivos bajo invernadero; se presenta por la presencia de alta humedad relativa y bajas temperaturas.</p>	
<p>Síntomas La combinación de alta humedad relativa y bajas temperaturas conllevan a disminuir la viabilidad y la cantidad del polen, se distorsionan tanto el ovario como los estambres y se produce la deformación del fruto, acompañado de un tejido corchoso en las cavidades que se forman; lo anterior hace que este tipo de frutos sean rechazados en el mercado.</p>	
<p>Control Para su control, se debe buscar disminuir las bajas temperaturas y altas humedades, dentro del invernadero; para ello se realizan mediciones de humedad y temperatura a diferentes horas del día y de la noche y se toma la decisión de abrir o cerrar las cortinas del invernadero.</p>	
<p>Hoja enrollada. Se caracteriza por la presencia de un enroscamiento hacia arriba de las hojas, cuando la planta es sometida a condiciones extremas de altas o bajas temperaturas y radiación directa del sol sobre la planta.</p>	
<p>Síntomas Cuando el enrollamiento de las hojas es severo, los frutos quedan expuestos a condiciones extremas de temperatura, incrementándose la susceptibilidad del fruto al agrietamiento. Las hojas se mantienen turgentes pero no se marchitan. El crecimiento de la planta no se afecta y la formación de frutos es normal</p>	
<p>Control Para su control, se debe evitar las temperaturas extremas dentro del invernadero, extractores o riego para disminuir la temperatura dentro del mismo. Uso de polisombra para evitar la radiación directa sobre la planta.</p>	
<p>Fuente CORPOICA, 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín técnico 21. Elaboro: Hernández.</p>	

2.2.7 Requisitos de calidad para el mercado, NTC 1103-1. La norma técnica colombiana NTC 1103-1 “Industrias Alimentarias. Tomate de Mesa” establece los requisitos de calidad de los tomates de las variedades (cultivares) de la especie *Lycopersicon esculentum* Mill., los cuales se suministran frescos al consumidor, excluyendo los tomates destinados al procesamiento industrial.

Los tomates se pueden clasificar en tres tipos comerciales; de acuerdo con la forma:

- "Redondo" o esférico, incluyendo el tomate "cereza" (cherry).
- Acanalado.
- Oblongo o ligeramente alargado.

Disposiciones concernientes a la calidad. El propósito de la norma es el de establecer los requisitos de calidad de los tomates en la etapa de control para el mercado nacional y de exportación, después de su preparación y embalaje.

Los requisitos mínimos siguiendo las disposiciones especiales, según la clase y las tolerancias admitidas, los tomates deben reunir los siguientes requisitos

- Los tomates deben haber alcanzado su madurez fisiológica de tal modo que reúna las características sensoriales propias de la variedad.
- Enteros.
- Sanos, sin picaduras de insectos, se debe excluir el producto que esté afectado por pudrición o deterioro, de tal manera que sea inadecuado para el consumo.
- Limpios, prácticamente libres de cualquier sustancia visible ajena a los mismos.
- Poseer una apariencia de fresca.
- Estar libres de humedad externa anormal.
- Libres de algún olor o sabor extraño.
- Los niveles de plaguicidas no deben exceder los límites máximos exigidos internacionalmente (CODEX ALIMENTARIUS) o los exigidos por el país de destino.
- El desarrollo y condición de los tomates debe ser tal que les permita soportar el transporte y el manejo de manera que pueda llegar en condiciones satisfactorias al lugar de destino.
- El color del tomate deberá corresponder a alguno de los grados de maduración indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Grados de coloración en la madurez del tomate

Grado	Descripción
Verde	La superficie del tomate está completamente verde y el fruto ha alcanzado su tamaño máximo. El tono puede variar de claro a oscuro.
Coloración incipiente(1/4 pintón)	Cuando muestra un cambio definido de color, de verde a amarillo opaco, rosado o rojo claro pero en no más del 30% de la superficie
Coloración media(Medio pintón)	Cuando muestra entre 30 y 60% de la superficie un color rosado o rojo.
Coloración avanzada(3/4 pintón)	Cuando muestra más del 60% de la superficie un color rosado-rojizo o rojo, pero el fruto aún no está totalmente rojo.
Rojo	Cuando ha desarrollado un color rojo intenso en toda la superficie

Los tomates están clasificados en tres categorías que se definen a continuación:

Categoría extra. Los tomates correspondientes a esta categoría deben ser de una calidad superior. Éstos deben poseer una pulpa firme, lo mismo que las características típicas de la variedad, en cuanto a la forma, apariencia y desarrollo.

El color debe estar de acuerdo con el grado de madurez indicado en la Tabla 5. Los tomates deben reunir las características de uniformidad en tamaño y madurez y estar libres de defectos.

Categoría I. Los tomates agrupados en esta categoría deben ser de buena calidad, firmes y poseer las características típicas de la variedad. También deben estar libres de grietas y partes visibles que no hayan madurado de manera uniforme. Sin embargo, los siguientes defectos leves, se podrían permitir teniendo en cuenta que éstos no afecten la apariencia general del producto, la calidad de conservación y presentación en el empaque

- Defecto leve en cuanto a la forma.
- Leve defecto en el color.
- Defectos leves de la piel
- Magulladuras muy leves.

Además, los tomates acanalados pueden presentar

- Deformaciones moderadas
- Un ombligo pequeño, cicatrizado

Categoría II. Esta categoría incluye los tomates que no pueden ser incluidos en las categorías superiores, pero que satisfacen los requisitos mínimos especificados anteriormente. Los tomates deben ser firmes y no deben presentar grietas sin sanar.

Los siguientes defectos leves se pueden permitir, teniendo en cuenta que los tomates retienen las características esenciales en lo que se refiere a la calidad, la calidad de conservación y presentación:

- Defectos en cuanto a la forma y color.
- Defectos de la piel o magulladuras, teniendo en cuenta que la fruta no esté seriamente afectada
- Grietas cicatrizadas, cuya longitud no sea superior a 2 cm

Disposiciones referentes al tamaño. El tamaño está determinado por el diámetro máximo de la sección ecuatorial. Las siguientes disposiciones no se aplican a los tomates de las variedades "cherry"

Tamaño mínimo. Para los tomates clasificados en la categoría Extra y en las Categorías I y II, el tamaño mínimo está establecido como sigue

- Para los tomates "redondos" y "acanalados": 35 mm
- Para los tomates "alargados": 30 mm

Escala de tamaños. La siguiente escala de tamaños ha sido adoptada:

30 mm y más pero por debajo de 35 mm

35 mm a 40 mm

40 mm a 47 mm

47 mm a 57 mm

57 mm a 67 mm

67 mm a 82 mm

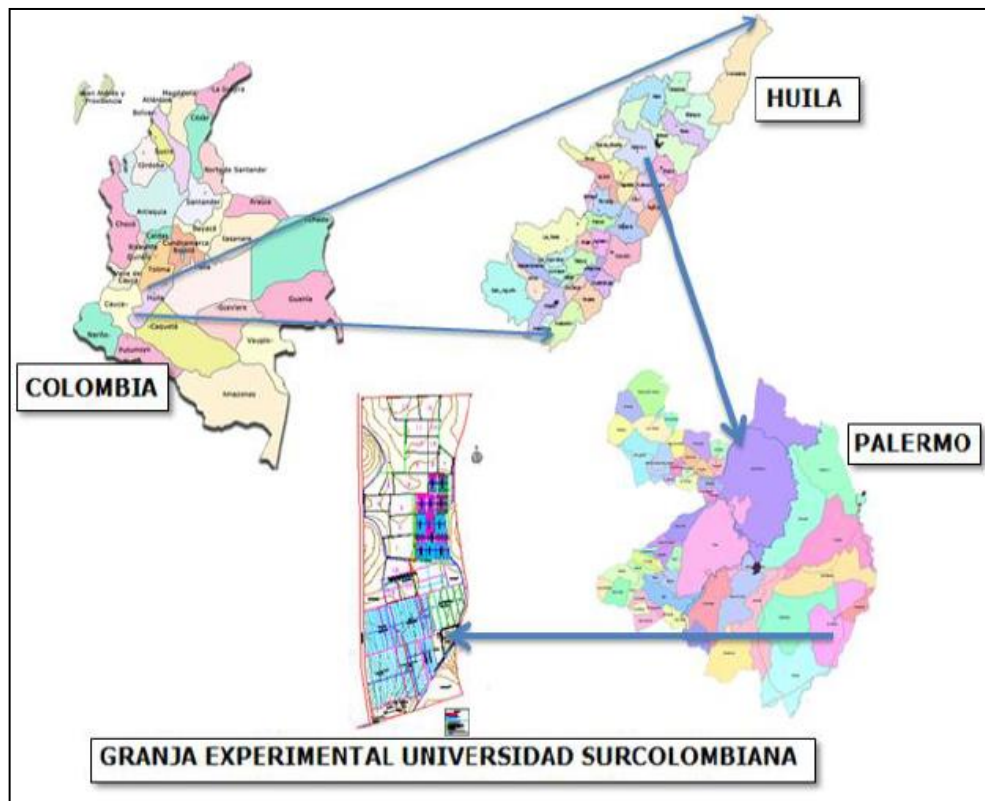
82 mm a 102 mm, 102 mm y más.

3. METODOLOGÍA

3.1 UBICACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El experimento se desarrolló en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, municipio de Palermo - Huila que se ubica a los $2^{\circ} 53' 16''$ N y $75^{\circ} 18' 22.20''$ O, a una altitud de 463 msnm. La granja está ubicada en la formación vegetal (Holdridge) bosque seco tropical (bs-T), con temperatura media de 27°C , humedad relativa media 70 %, brillo solar de 5.2 h/día. El experimento se desarrolló entre los meses de marzo a septiembre del año 2014.

Figura 4. Ubicación del área de estudio.



3.2 FASE METODOLÓGICA UNO

3.2.1 Reconocimiento del invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

Construido a finales del año 2013 como un proyecto de grado, el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana se diseñó usando como base el modelo de capilla modificado, este se trata de una variante del modelo capilla, la modificación respecto al tipo capilla consiste en el ensamble a diferentes alturas de cada cabio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital (BOUZO Y GARIGLIO, 2011).

Su estructura es de guadua, la cubierta es de plástico agrícola calibre 6 y su cobertura perimetral es de malla anti-trips. El invernadero tiene un área total de 101.22 m² contando el área del pre diluvio, el área de siembra es de 97 m², la altura máxima del invernadero es 7 metros.

Figura 5. Invernadero de la granja experimental de la USCO



Fuente: Carvajal, Hernández

3.2.1.1 Adecuación del invernadero para el cultivo de tomate.

□**Purgado del invernadero.** Como se mencionó en el subcapítulo de antecedentes...véase el numera 2.1... el invernadero se utilizó entre el mes de octubre del año 2013 y febrero del año 2014 para el realizar el primer ensayo con el cultivo de tomate variedad Ivety y este se vio truncado por la infestación de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), por lo anterior el primer paso para adecuar el invernadero fue la esterilización completa del invernadero para eliminar esta plaga en cualquiera de sus estados, para esto se realizó la fumigación completa del invernadero con Athrim Brio...véase el numeral 3.4.3.1.... insecticida acaricida de uso agrícola.

□**Eliminación de arvenses perimetrales al invernadero.** Las arvenses sirven de refugio para la proliferación de insectos, algunos de estos son plagas que afectan el cultivo de tomate y pueden ingresar al invernadero por distintos medios, por esto es necesario el deshierbe del perímetro del invernadero para evitar que estos insectos proliferen.

□**Preparación del suelo del invernadero.** La preparación del suelo inicia con la desinfección del mismo, la desinfección de suelos es una práctica que se emplea principalmente en el cultivo de hortalizas a fin de mitigar el impacto negativo de hongos, nemátodos, insectos, bacterias y semillas de malas hierbas que habitan en el suelo y afectan la germinación y desarrollo de las plantas. Sin una adecuada y oportuna desinfección de suelos, se incrementa el riesgo de perder gran parte de la plantación. Para ejecutar la desinfección del suelo se utilizó, cal viva (Figura 6), yodo agrícola y azufre, es preciso mencionar que la reactividad de la cal viva ha hecho que tradicionalmente se utilice como medio para la desinfección de casas silos, graneros, etc., al emplear la cal viva esta absorbe el agua de la superficie con la que entra en contacto, de este modo, todos los microorganismos que estén en el suelo se deshidratan rápidamente. Es por ello por lo que se dice que la cal “desinfecta”, pero hay que señalar, que este poder biocida de la cal solo es atribuible a la cal viva, en ningún caso al resto de las cales. Para ejecutar la desinfección del suelo se procedió como se describe en la Tabla 6.

Tabla 6. Programa para la desinfección del suelo del invernadero

Día	Actividad
1	Limpieza del terreno, deshierbe manual para evitar el uso de herbicidas. Picado del suelo hasta 15 cm de profundidad, seguido de la aplicación e inmediata de cal viva a razón de 0.5 kg/m ² x 97 m ² para un total de 48.5 kg, adicional 5 kg de azufre y mezclar con el suelo.
4	Riego del suelo hasta capacidad de campo, evitar la saturación.
5	Aplicación mediante aspersión con bomba de espalda, una solución de yodo agrícola a razón de 20 cc/L de agua. Aplicar 0.15 L de solución por m ² x 97 m ² para un total de 14.5 L. A partir de este día evitar riego para que la cal viva actúe como biocida.
13	El daño del sensor de humedad del suelo, el cual controlaba el riego automático provoco que la electrobomba funcionara por más de dos días de forma continua con lo cual el invernadero se inundó. Se necesitaron 3 días para drenar el suelo del invernadero
16	Picado del suelo, construcción de las camas de siembra y repetición de la aplicación de yodo agrícola, no fue posible repetir el proceso desde principio porque las plántulas de tomate ya estaban casi listas para el trasplante.
25	No se garantiza la inocuidad del suelo, pero se realizó el trasplante de plántulas de tomate porque estas estaban a punto. Se aplicó micorriza en el hoyo de siembra a razón de 6 g/plántulas.
Fuente Chávez Parra, 2014. Elaboro: Hernández.	

Figura 6. Preparación del suelo del invernadero.

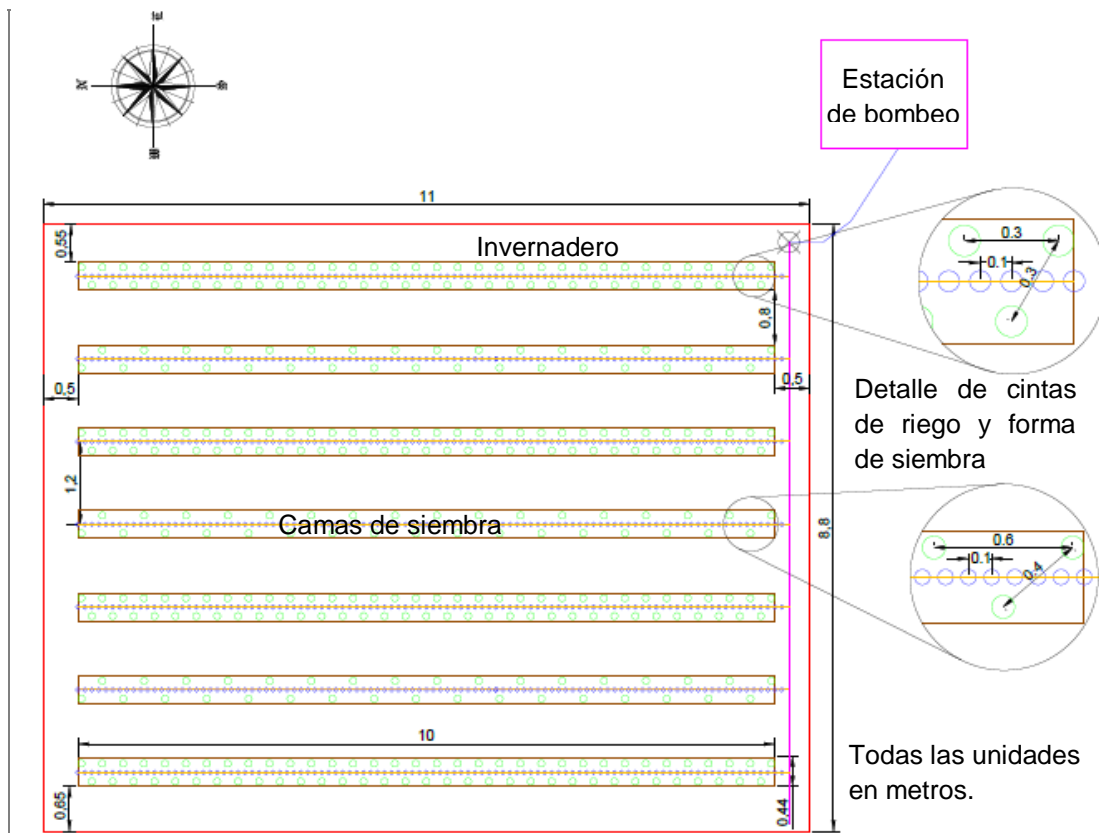


Fuente: Carvajal y Hernández.

3.2.2.2 Sistema de fertiriego por goteo. El invernadero cuenta con un sistema de riego por goteo. El sistema está compuesto por una estación de bombeo, un lago como fuente de captación, redes de tubería que conducen el agua al invernadero y cintas de manguera con goteros incorporados. Por medio de una electrobomba de 3/4" de entrada y de salida se envía agua por la tubería principal de 1" de diámetro, RDE de 26 con una longitud 42 m hasta el invernadero, seguido se conecta a la tubería múltiple de 1" de diámetro, RDE de 26 con una longitud 12 m y por último a los laterales o cintas de riego de 16 mm de diámetro con un espaciamiento entre goteros de 10 cm y una longitud de 10 m, se instalaron 7 cintas de riego con un espaciamiento en el múltiple de 1.2 m. (Ver Figura 7).

Adicionalmente el invernadero cuenta con un sistema de fertiriego (Ver Figura 8) junto a la caseta de bombeo para aprovechar la fuerza de succión que realiza la electrobomba y así garantizar que el fertilizante previamente disuelto en el tanque sea conducido al invernadero por el sistema de riego descrito anteriormente.

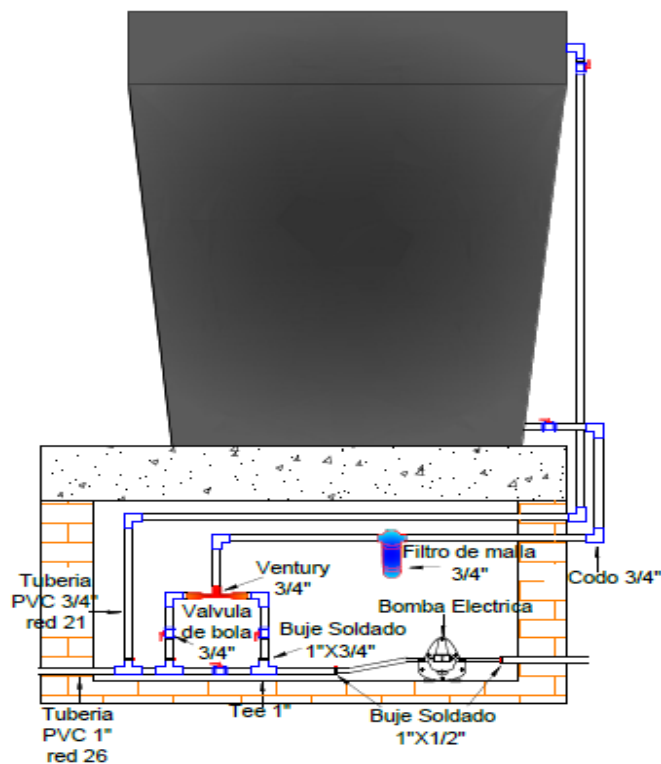
Figura 7. Esquema del sistema de riego.



Fuente: Saenz y Meza

El fertirriego permite adecuar la cantidad y concentración de los nutrientes de acuerdo con la demanda de nutrientes durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Cuando se usa el método de riego por goteo, el fertirriego no es opcional, sino absolutamente necesario. Si los fertilizantes son aplicados al suelo separadamente del agua, los beneficios del riego no se verán expresados en el cultivo, ya que los nutrientes no se disuelven en las zonas secas donde el suelo no es regado. (Burt *et al.*, 1998).

Figura 8. Esquema estación de bombeo y Fertirriego.



Fuente: Saenz y Meza

3.2.2.3 Extractor para el control de factores ambientales, temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂.

Se instaló un extractor en la parte superior derecha al norte del invernadero (Figura 9), con el fin de renovar el aire dentro de este y con ello introducir CO₂ del exterior a través de la malla perimetral para elevar la concentración de CO₂ dentro del invernadero y forzar un intercambio de calor cuando se presenten altas temperaturas y altas humedades relativas dentro del mismo.

Figura 9. Extractor del invernadero



Fuente: Carvajal, Hernández.

3.2.2.4 Automatización del riego, control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂.

Todos los procesos relacionados con la automatización del riego, control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ estuvieron a cargo de estudiantes del programa de ingeniería electrónica de la Universidad Surcolombiana. Para poder alimentar todo el sistema eléctrico (controlador, sensores, actuadores) se implantó un sistema de energía fotovoltaico. Los datos adquiridos en el monitoreo eran enviados mediante RF al servidor, en donde una aplicación se encarga de almacenarlos en una base de datos local.

□**Automatización del riego por goteo.** Inicialmente se utilizó un sensor de humedad modelo SEN92355P para medir la humedad del suelo, este sensor es muy fácil de usar, basta con insertar el sensor en el suelo y luego leer la información que proporciona. La humedad del suelo se establece basada en la medición de la resistividad del suelo como se muestra en la Tabla 7.

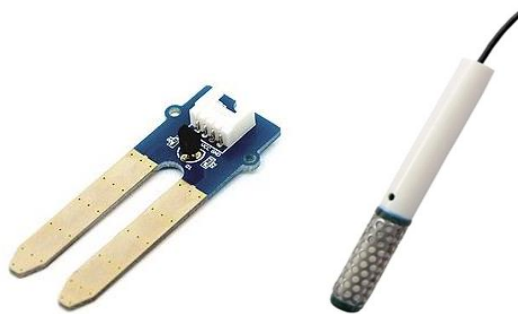
Tabla 7. Especificaciones de medición sensor SEN92355P

	Condición	Min	Max
Valor de salida	Sensor en suelo seco	0	300
	Sensor en el suelo húmedo	300	700
	Sensor en agua	700	950

Fuente Seeed Technology Inc, 2015.

Se instalaron 2 sensores SEN92355P, pero en las dos ocasiones se averiaron poco después del trasplante de las plántulas de tomate al invernadero, por lo anterior se pasó a riego por operación manual de la electrobomba. Se mantuvo la operación manual del riego hasta la etapa de cosecha cuando se instaló un nuevo sensor de riego, el sensor modelo 200SS-V que arrojaba mediciones en centibares, el sensor funcionaba pero el actuador no encendía la electrobomba por lo que se continuo con la operación manual del sistema de riego.

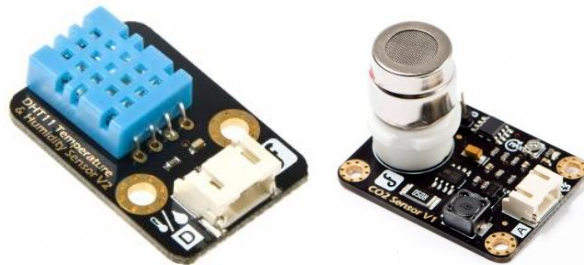
Figura 10. Sensores para medir humedad del suelo, de izquierda a derecha, modelo SEN92355P y modelo 200SS-V.



Fuente: dfrobot.

□ **Control de la temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂.** La concentración de CO₂, la temperatura y la humedad relativa se controlaban mediante el extractor de aire, el cual funcionaba para regular los 3 factores. Para la medición de la temperatura y la humedad relativa se utilizó con un solo sensor, modelo DHT11 (SKU: DFR0067). Para medir la concentración de CO₂ se utilizó un sensor CO₂ (SKU: SEN0159). Los sensores funcionaron bien, pero la programación fallo en muchas ocasiones por lo que el funcionamiento del extractor fue intermitente durante las etapas de desarrollo del cultivo.

Figura 11. Sensores para medir los 3 factores ambientales, de izquierda a derecha, modelo DHT11 (SKU: DFR0067) y modelo CO₂ (SKU:SEN0159).



Fuente: dfrobot.

3.3 FASE METODOLÓGICA DOS

3.3.1 Diseño del experimento. Se desarrolló un experimento factorial fraccional, con dos factores (densidad de siembra y número de tallos por planta) y dos niveles en cada factor, se descarto una de las combinaciones, dando como resultado tres tratamientos.

3.3.1.1 Factores.

□ **Densidad de siembra.** Es importante tener en cuenta que cuando se trabaja con altas densidades de siembra, la producción es más rápida y el ciclo del cultivo más corto, pero se presenta menor calidad y tamaño del fruto y hay mayor incidencia de enfermedades. No necesariamente, mayor número de plantas indica mayor productividad. En la Tabla 8 se observan las densidades de siembra más utilizadas en la producción de tomate.

Tabla 8. Densidades de siembra más comunes para el tomate

Distancia entre plantas (m)	Distancia entre surcos (m)	Población de plantas/ha
0.30	1.1	30,303
0.30	1.2	27,777
0.30	1.3	25,641
0.35	1.1	25,974
0.35	1.2	23,809
0.35	1.3	21,978
0.40	1.1	22,727
0.40	1.2	20,833
0.40	1.3	19,230

Fuente CORPOICA, 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín técnico 21.

La distancia entre surcos de tomate más apropiada, es aquella que permita una adecuada ejecución de las labores y que evite el exceso de humedad alrededor de las plantas. La distancia entre surcos era constante en el invernadero 1.2 m definida por las líneas de riego, por lo anterior este factor estuvo sujeto exclusivamente a la elección de la distancia entre plantas.

□ **Numero de tallos.** El incremento en la densidad de plantación puede ser obtenido tanto por un mayor número de plantas por m², como dejando que tallos laterales se desarrollen para aumentar el número de tallos por m². El concepto de incrementar el número de tallos por m² está basado en la cantidad de luz solar disponible. En invierno no hay luminosidad suficiente para mantener un desarrollo adecuado de la planta y del fruto. Pero en primavera, verano y otoño se incrementa la intensidad de radiación solar, de manera que el productor puede utilizar esta energía para incrementar su producción (Nederhoff *et al.*, 1992).

3.3.1.2 Tratamientos. Los tratamientos obtenidos mediante el experimento factorial fraccional se describen en la Tabla 9, el **tratamiento T1** consistía en la siembra de las plántulas de tomate en forma de triángulo a (30 x 30) cm, con en el desarrollo de un solo tallo en cada planta, para el **tratamiento T2** la forma de siembra también fue triángulo pero a (40x60) cm, con el desarrollo de un tallo en

cada planta, para el **tratamiento T3** la forma de siembra también fue triángulo pero a (40x60) cm, con el desarrollo de dos tallos.

Tabla 9. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Distancia entre plantas	Densidad de siembra	Numero de tallos definidos	Área asignada (m²)
Tratamiento T1	Triángulo 30x30 cm	4.6 Plantas/m ²	1	55.43
Tratamiento T2	Triángulo 40x60 cm	2.4 Plantas/m ²	1	27.71
Tratamiento T3	Triángulo 40x60 cm	2.4 Plantas/m ²	2	13.86
Fuente: Carvajal, Hernández.				

3.3.2 Variables de respuesta. El objeto de este proyecto era evaluar y analizar la producción de tomate, por lo que solo se evaluaron variables relacionadas con la producción (kg de tomate cosechado).

3.3.2.1 Variables de rendimiento

Producción por planta (g/cosechados). Se registró el peso total en gramos de los frutos de tomate cosechados de cada planta para cada uno de los 3 tratamientos.

Rendimiento productivo en (kg/m²). Se determinó sumando la producción de cada planta en cada uno de los 3 tratamientos y dividiendo estos acumulados por el área designada para cada tratamiento respectivamente.

Rendimiento comercial (kg/m²). Se determinó realizando la clasificación de los tomates cosechados en cada tratamiento, según lo establecido por la NTC 1103-1...véase el numeral 2.2.7... Los tomates que cumplieran los requisitos mínimos se consideraban aptos para el mercado, seguido se pesaban los tomates

colectados para cada tratamiento obteniendo 3 acumulados y finalmente estos se dividían por el área asignada para cada tratamiento.

3.3.2.2 Análisis estadístico. Para cumplir con el objetivo del experimento se utilizaron los datos de la producción por planta (g/cosechados), con estos datos se efectuó una prueba t-Student para determinar cuál de los 3 tratamientos tuvo una media de producción significativamente mayor. Para la ejecución de esta prueba y el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa de cómputo Statgraphics centurión.

□**Prueba t-Student.** Esta prueba se utiliza para contrastar hipótesis sobre medias en poblaciones con distribución normal. También proporciona resultados aproximados para los contrastes de medias en muestras suficientemente grandes cuando estas poblaciones no se distribuyen normalmente (aunque en este último caso es preferible realizar una prueba no paramétrica).

Existen dos versiones de la prueba t-Student: una que supone que las varianzas poblacionales son iguales y otra versión que no asume esto último. Para decidir si se puede suponer o no la igualdad de varianza en las dos poblaciones, se debe realizar previamente la prueba F-Snedecor de comparación de dos varianzas (UPTC, 2014).

□**Statgraphics centurión.** Es una potente herramienta de análisis de datos que combina una amplia gama de procedimientos analíticos con extraordinarios gráficos interactivos para proporcionar un entorno integrado de análisis que puede ser aplicado en cada una de las fases de un proyecto. Incluye funciones estadísticas avanzadas, capaces de proporcionar rigurosos análisis propios de los profesionales estadísticos más exigentes y experimentados, y al mismo tiempo ofrece un interface muy intuitivo, con funciones de asistencia exclusivas, de tal forma que proporciona la simplicidad suficiente para permitir a un analista inexperto realizar procedimientos complejos (Statgraphics.Net, 2014).

3.3.3 Establecimiento del cultivo en el invernadero.

3.3.3.1 Adquisición de la semilla de tomate variedad marimba F1. Para el experimento se utilizó un híbrido de tomate larga vida denominado marimba F1, la

semilla se adquirió con la distribuidora impulse semillas, que ofrece semillas certificadas de la variedad.

3.3.3.2 Siembra en bandeja de alveolos. Las semillas se germinaron en bandejas de alveolos de 8x16 para un total de 400 plántulas, para el llenado de las bandejas se utilizó un sustrato comercial. Pasados 40 días se seleccionaron las plántulas más grandes para su trasplante al suelo del invernadero (Figura 12).

Figura 12. Plántulas de tomate marimba F1 en bandeja de alveolos



Fuente: Carvajal, Hernández.

3.3.3.3 Camas de siembra. Para poder realizar la siembra de las plantas de tomate en el suelo del invernadero es necesario realizar un picado del suelo y formar las camas de siembra, se formaron 7 camas de siembra con un ancho de 44 cm, 15 cm de alto y una longitud de 10 m con un espaciamiento de 1.2 m de eje a eje de cada cama (Figura 13).

Figura 13. Camas de siembra



Fuente: Carvajal, Hernández.

3.3.3.4 Trasplante de las plántulas al suelo del invernadero. Durante el trasplante de las plántulas de las bandejas de alveolos al suelo del invernadero se aplicó por planta 6 gramos de micorriza con el objeto de facilitar la adaptación de las plántulas a su nuevo habitat y mejorar la absorción de nutrientes por parte de la planta.

3.4 FASE METODOLÓGICA TRES

3.4.1 Plan de fertilización. Una vez establecido el cultivo en el invernadero, se formuló un plan de fertilización para tener un buen desarrollo del mismo, formulado por Chávez Parra, agroecólogo a cargo de los procesos de investigación del cultivo de tomate en invernadero en el Tecno parque Agroecológico Yamboró de Pitalito, el plan de fertilización se describe en la Tabla 10.

Tabla 10. Plan de fertilización

Semana	Gramos de fertilizante semanales/323 plantas					
	DAP	UREA	KCl	MgSO ₄	Nitrofer Ca	Cosmo R
1	312.0	356.6	376.6	374.7		45.9
2	312.0	356.6	376.6	374.7		45.9
3	312.0	356.6	376.6	374.7		45.9
4	312.0	356.6	376.6	374.7		45.9
5	346.9	498.1	591.7	491.0	620.8	90.4
6	346.9	498.1	591.7	491.0	620.8	90.4
7	346.9	498.1	591.7	491.0	620.8	90.4
8	402.5	501.3	781.7	691.2	894.1	120.2
9	402.5	501.3	781.7	691.2	894.1	120.2
10	402.5	501.3	781.7	691.2	894.1	120.2
11	402.5	501.3	781.7	691.2	894.1	120.2
12	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
13	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
14	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
15	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
16	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
17	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
18	565.3	664.1	781.7	801.0	993.5	138.9
Total (kg)	7.86	9.57	11.88	11.34	12.39	1.91

3.4.1.1 Fertilizantes utilizados

□ **Fosfato diamónico (DAP).** Es arrancador en los cultivos extensivos, debido a su mayor contenido de nitrógeno, es bueno para los cultivos que requieren dicho nutriente en su etapa inicial. Es un producto con alta solubilidad en agua, lo que asegura una rápida respuesta a la fertilización. El Nitrógeno incluido permite cubrir parte de las necesidades del cultivo durante el primer período de crecimiento de la planta. En condiciones normales sólo del 20 al 30 % del fósforo aplicado al suelo como fertilizante es absorbido por la planta durante un ciclo de crecimiento. Se obtiene mayor eficiencia aplicando en forma conjunta P y N que por fuentes distintas.

Tabla 11.Composición del DAP

Componente	Contenido
Nitrógeno Total (amoniaco)	18%
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	46.1%
Fósforo Disponible (P ₂ O ₅)	46%
Fósforo Soluble en agua (P ₂ O ₅)	37%
Humedad	1%
Fuente Repsolypf, 2015.	

□ **Urea.** También conocida como carbamida, es el nombre del ácido carbónico de la diamida, cuya fórmula química es $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. La urea se presenta como un sólido cristalino y blanco de forma esférica o granular. Es una sustancia higroscópica, es decir, que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera y presenta un ligero olor a amoníaco. Comercialmente la urea se presenta en pellets, gránulos, o bien disuelta, dependiendo de la aplicación (Agropecuaria La Hacienda, 2015).

□ **Cloruro de potasio.** Es un compuesto cuya fórmula química es KCl , en su estado puro, que es de color blanco y sin olor. Fertilizantes que contienen potasio se aplican a los suelos y los cultivos ya sea en el cloruro o el sulfato, dependiendo del cultivo en particular. El cloruro de potasio se usa más frecuentemente. Puesto que el crecimiento de muchas plantas está limitado por su consumo de potasio, la mayoría del cloruro de potasio producido en el mundo se utiliza para fertilizantes. Cuando se utiliza como fertilizante se disuelve en agua, por lo que es útil para líquidos fertilizantes de arranque (Agropecuaria La Hacienda, 2015).

□ **Sulfato de magnesio.** Sus elementos constitutivos son el magnesio, el sulfuro y el oxígeno, su fórmula química es MgSO_4 . Se comercializa en forma de cristal blanco o descolorido, inodoro y se disuelve en agua fácilmente. El Sulfato de Magnesio es un fertilizante altamente concentrado que aporta magnesio y azufre 100% soluble en agua, libre de cloro y sodio. Es una opción ideal para aportar Magnesio por su bajo costo y alta solubilidad. Aplicando periódicamente Sulfato de Magnesio se suple las necesidades de magnesio y azufre de los cultivos, elementos involucrados en la síntesis de clorofila y la eficiencia del Nitrógeno, respectivamente (Agropecuaria La Hacienda, 2015).

□ **Nitrofer Calcio.** También llamado nitrato de calcio, su fórmula química es $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Su aspecto es líquido incoloro o ligeramente amarillo, traslúcido, es un fertilizante químico simple para aplicación directa al suelo por inyección y aplicación foliar o al goteo (sistemas de fertirrigación). Por su aporte de calcio se utiliza como material de encalado, ideal para suelos ácidos con deficiencias de bases y alto contenido de aluminio. Después de su uso lavar los equipos y materiales metálicos con abundante agua para evitar la corrosión de los mismos.

Tabla 12. Composición del nitrato de calcio

Componente	Contenido
Nitrógeno Total	15.5%
Nitrógeno Nítrico	14.4%
Nitrógeno Amónico	1.1%
Calcio (CaO)	26%
Fuente Agropecuaria La Hacienda, 2015	

□ **Cosmo R 14-8-19.** Fertilizante compuesto de color café con aspecto granulado a temperatura ambiente (25°C), insoluble en agua a esta misma temperatura, aporta elementos secundarios y micronutrientes, libre de cloro. Los números, 14-8-19 hacen referencia al contenido en g/kg de producto de nitrógeno total, fósforo asimilable y potasio soluble en agua respectivamente. El cultivo mantiene sus niveles de productividad con el aporte de un perfecto balance de nutrientes en los momentos críticos, tales como en el vivero, en el trasplante al campo, durante el levante, y en la producción (Cosmoagro, 2004).

3.4.1.2 Preparación de fertilizantes. La fertilización se realizaba mediante el sistema de fertirriego del invernadero, por lo que era necesario realizar la disolución de los abonos requeridos en agua con tres días de anticipación ya que estos venían en presentación granular. El proceso iniciaba con el pesaje de los abonos según lo dispuesto en la Tabla 10...véase el numeral 3.4.1...seguido se trituraban con golpes de maceta para facilitar su disolución. La disolución se realizaba en un recipiente con agua por 3 días y finalmente se introducía al sistema a través del tanque de fertirriego.

3.4.2 Manejo del cultivo. El cultivo de tomate requiere una gran cantidad de mano de obra, en labores como la preparación del suelo, la fertilización que se ejecuta de forma semanal, labores de deshierbe, control de plagas y enfermedades, el aporcado, el tutorado de las plantas, la poda entre otras son actividades que encarecen en gran medida la producción de tomate.

3.4.2.1 Tutorado. Para darle soporte al material vegetal y a los frutos de la producción es necesario el amarre de la planta al tutorado, este amarre se realizó con hilo de polipropileno y la altura de la línea de tutorado se ubicó a una altura de 3 m (Ver Figura 14).

Figura 14. Tutorado de plantas



Fuente: Carvajal, Hernández.

3.4.2.2 Podas. Las plantas de crecimiento indeterminado como las del tomate variedad marimba F1, no cesan de crecer hasta que no se elimine el brote terminal, y por lo tanto pueden llegar a crecer varios metros. En el invernadero la línea de tutorado se ubicó a 3 m de altura, y se pretendía que las plantas de tomate crecieran más de 3 m al dejarlas rodear la línea de tutorado para luego descender, con el objeto de tener un ciclo de cultivo más largo. En los tomates de crecimiento indeterminado es fundamental la realización de las podas, con el fin de tener producciones más homogéneas y tamaños de fruto más uniformes. Se realizaron 2 tipos de podas durante el desarrollo del cultivo.

□**Poda de formación.** Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado, que son las cultivadas bajo cubierta. Se realiza con la aparición de los primeros tallos laterales, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación del cuello. Con esta poda se define cuántos tallos se van a dejar. Para los tratamientos T1 y T2 se eliminaron los tallos laterales dejando solo el tallo principal, pero para el tratamiento T3 a dos tallos se deja el principal y el que está por debajo de la primera inflorescencia.

□**Poda de hojas.** Se realiza para facilitar la aireación, disminuir la humedad relativa y mejorar el color de los frutos. Las hojas enfermas deben sacarse inmediatamente del invernadero eliminando así fuentes de inóculo. Esta poda facilita el manejo de los problemas sanitarios y permite mayor entrada de luz a la planta.

3.4.2.3 Aporcado. El tallo de la planta de tomate tiene una cualidad muy importante, la de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo, esta propiedad se aprovecha en las operaciones culturales de aporque, que sirve para darle mayor anclaje a la planta permitiéndole un mayor desarrollo del sistema radicular (Ver Figura 15). Esta operación se realizó en tres oportunidades durante la etapa de reproductiva...véase el numeral 2.2.2.1..., para el aporque se utilizó tierra removida con pala de los callejones entre las camas de siembra.

Figura 15. Aporcado del tomate



Fuente: Carvajal, Hernández.

3.4.3 Control de plagas y enfermedades. Para el control de las plagas durante el desarrollo del cultivo se utilizaron únicamente plaguicidas comerciales, estos se describen en el cuadro 5, la mayoría de los plaguicidas utilizados en este proyecto corresponden a los de menor categoría toxicológica comúnmente usados por los productores de tomate en nuestro país, tanto en campo abierto como en invernadero.

3.4.3.1 Plaguicidas utilizados.

Cuadro 5. Descripción de los plaguicidas utilizados

Lash 40 SP (Insecticida agrícola); Polvo soluble.
<p>Categoría toxicológica Categoría nueva norma andina: IB Altamente peligroso Tóxico - Banda roja</p>
<p>Modo de acción (Ingrediente activo: Methomyl: 400 g/kg). Actúa por contacto y por ingestión, presentando acción sistémica. El contacto directo es el método más efectivo de control porque penetra rápidamente en el organismo del insecto a través de la cutícula o de las membranas intersegmentales. Los efectos tóxicos del contacto directo son evidentes en pocos minutos, y el máximo control es alcanzado dentro de los dos días del tratamiento. <i>Aunque el contacto directo es la forma más efectiva de eliminar plagas, la ingestión de tejidos de plantas tratadas o la succión de su savia también resulta ser una vía sumamente eficaz.</i></p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gusano de la hoja • Alabama argillacea • Tierreros y trozadores (Spodoptera spp) • Pulgillas (Epitrix spp)
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 450 g/ha • Periodo de carencia (P.C.): Periodo transcurrido entre la última aplicación y la cosecha: 14 días. • Periodo de reentrada (P.R.): Intervalo que debe transcurrir entre la aplicación y el reingreso de personas y animales al área o cultivo tratado: 48 horas.
<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar el contacto con la piel y la ropa. • No comer, beber o fumar durante las operaciones de mezcla y aplicación. • Utilice ropa protectora (overol, guantes de neopreno o PVC, botas de caucho, gorra, anteojos irrompibles y máscara para plaguicidas).

Cuadro 5. (Continuación)

Evisect (Insecticida agrícola de origen biológico); Polvo soluble.
<p>Categoría toxicológica Categoría nueva norma andina: III Ligeramente peligroso Cuidado - Banda azul</p>
<p>Modo de acción (Ingrediente activo: Thiocyclam hidrogenoxalato: 500g/kg). Actúa principalmente por ingestión, pero posee además buena acción de contacto y tiene propiedades sistémicas.</p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gusano cogollero del tomate: Tuta absoluta. • Mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum, Bemisia tabaci).
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 0,5 g/L de agua. • Periodo de carencia (P.C.): 3 días. • Periodo de reentrada (P.R.): No aplica.
<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilice ropa de protección adecuada: overol, guantes, botas, protector respiratorio, gafas. • No coma, no beba, ni fume durante la aplicación. • Al terminar la jornada, báñese todo el cuerpo con abundante agua y cámbiese la ropa.
Athrim Brio GQA100EC (Insecticida- acaricida de uso agrícola); Concentrado emulsionable.
<p>Categoría toxicológica Categoría nueva norma andina: II Medianamente peligroso Nocivo - Banda amarilla</p>
<p>Modo de acción (Ingrediente activo: Lambda cihalotrina 100 g/L). Es un insecticida-acaricida no sistémico con actividad por contacto e ingestión, de amplio espectro con acción estomacal, con alta residualidad. Actúa sobre el sistema nervioso de los insectos alterando el flujo de iones a través de la membrana nerviosa, generando un desbalance electroquímico en el axón, presináptico. El insecto entra en una fase de parálisis que conduce a la muerte.</p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cogollero (Spodoptera frugiperda) • Ácaros (Tetranychus cinnabarinus) • Mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum,) • Pulguilla (Epitrix sp) • Polilla guatemalteca (Tecia solanivora) • Minador de la hoja (Liryomiza trifolli) • Gusano cortador (Agrotis ipsilon)
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 60 - 90 mL/ 200 L. • Periodo de carencia (P.C.): 1 día. • Periodo de reentrada (P.R.): 1 día.

Cuadro 5. (Continuación)

<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar contacto con la piel y la ropa. • No comer, beber o fumar durante las operaciones de mezcla y aplicación. • Utilice ropa protectora durante la manipulación, aplicación y para ingresar al área tratada en las primeras 12 horas. • Después de usar el producto cámbiese, lave la ropa contaminada aparte de la demás ropa y báñese con abundante agua y jabón. • Conservar el producto en el envase original etiquetado y cerrado.
<p>Dithane M-45 WP NT (Fungicida de uso agrícola); polvo mojable.</p>
<p>Categoría toxicológica Categoría nueva norma andina: III Ligeramente peligroso Cuidado - Banda azul</p>
<p>Modo de acción (Ingredientes activos: Mancozeb 80%, Mn16%, Zn 2%). Es un fungicida con acción protectora, de contacto, de amplio espectro de acción preventivo para el control de enfermedades en frutales, hortalizas, cultivos industriales y plantas ornamentales.</p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gota temprana (<i>Alternaria solani</i>, <i>Alternaria spp.</i>). • Gota (<i>Phytophthora infestans</i>). • Antracnosis (<i>Colletotrichum gloeosporoides</i>). • Mancha gris de la hoja (<i>Stemphylium solani</i>). • Mancha septoria o viruela del tomate (<i>Septoria lycopersici</i>).
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 450 g/ 200 L de agua a intervalos de 7 días. En caso de severos ataques de la enfermedad, las aplicaciones deberán hacerse cada 4 o 5 días. • Periodo de carencia (P.C.): No aplica. • Periodo de reentrada (P.R.): No aplica.
<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puede producir irritación en la nariz, garganta, ojos y piel. No inhale la neblina de aspersión. • En caso de que haya contacto con la piel, lávese con agua y jabón. • En caso de contacto con los ojos, lávese con abundante agua y consulte al médico inmediatamente. • Si se ingiere, inducir vómito. Tómese gran cantidad de leche, claras de huevo batidas, harina o agua. No es necesario un antídoto químico.

Cuadro 5. (Continuación)

Karate Zeon (Insecticida de uso agrícola); Cápsulas en suspensión
<p>Categoría toxicológica Categoría nueva norma andina: III Ligeramente peligroso Cuidado - Banda azul</p>
<p>Modo de acción Actúa principalmente por ingestión, pero posee además buena acción de contacto y tiene propiedades sistémicas. Aplicar al inicio de la eclosión de los huevos del insecto, antes de la apertura de los botones florales. Realizar 3 aplicaciones con una periodicidad de 7 días entre ellas.</p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minador de la Hoja (<i>Liriomyza</i> spp.) • Barrenador del tomate (<i>Neoleucinodes elegantalis</i>) • Trips (<i>Thrips palmi</i>) • Epitrix Sp
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 0.3 L/hectárea • Periodo de carencia (P.C.): 5 • Periodo de reentrada (P.R.): No aplica.
<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplique el producto dirigido al tercio inferior de las plantas, usando una boquilla de cono y una descarga que genere la dosis recomendada por hectárea. • No fume, no coma o no beba mientras manipula el producto. • Use gafas y guantes de caucho para manipular el producto. • No trabaje dentro de la niebla de aspersión. • Al terminar, cámbiese de ropa y báñese con abundante agua y jabón. • No contamine fuentes de agua potable. • Evite dañar las abejas. No aplique cuando estén activas.
Caldo bordelés (Fungicida) (combinación de sulfato cúprico y cal hidratada)
<p>Modo de acción Por contacto</p>
<p>Para el control de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prevención de enfermedades bacterianas y fúngicas
<p>Uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dosis recomendada: 10 g de CuSO_4 y 10 g de Ca(OH)_2 por litro de agua • Periodo de carencia (P.C.): No aplica. • Periodo de reentrada (P.R.): No aplica.
<p>Precauciones y advertencias de uso y aplicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cobre puede lixiviarse y contaminar corrientes de agua.
Fuente Agropecuaria La Hacienda, 2015. Elaboro: Hernández

3.4.3.2 Preparación y aplicación de plaguicidas. Para el manejo, preparación y aplicación de cada uno de los plaguicidas utilizados, se siguieron todas las recomendaciones y precauciones expuestas en el cuadro 5. Todos los plaguicidas se aplicaron mediante aspersión con bomba de espalda con capacidad de 20 litros, las dosis empleadas se ciñeron a las dosis recomendadas en el cuadro 5, ajustadas al área del invernadero, mientras que la cantidad y las aplicaciones fue formulada por Chávez Parra. En la Tabla 13 se indican los plaguicidas, las plagas a controlar y las dosis aplicadas.

Tabla 13. Forma de empleo de los plaguicidas utilizados

Producto	Para el control de:	Dosis aplicada
Athrin Brio (insecticida) Categoría toxicológica II Moderadamente Peligroso Nocivo	Gusano cortador Mosca blanca	Dosis empleada: 8 g por 20 litro de agua. Cantidad: 20 litros desde la semana 4 hasta la semana 9. Aplicación: cada 7 días.
Lash 40 SP (Insecticida) Categoría toxicológica Ib Muy Peligroso Toxico	Tierreros y trozadores	Dosis empleada: 5g por 20 litros de agua. Cantidad: 20 litros la semana 3 y 6.
Evisect (Insecticida) Categoría toxicológica III Poco peligroso Cuidado	Mosca blanca	Dosis empleada: 0.5g por litro de agua. Cantidad: 20 litros desde la semana 10 en adelante. Aplicación: cada 7 días.
Dithane M-45 (fungicida) Categoría toxicológica III Poco peligroso Cuidado	Gota temprana Gota Antracnosis Viruela del tomate Podredumbre gris	Dosis empleada: 3g por litro de agua. Cantidad: 20 litros desde la semana 8 en adelante. Aplicación: cada 15 días.
Karate Zeon (Insecticida) Categoría toxicológica III Poco peligroso Cuidado	Minador de la Hoja Barrenador del tomate Trips	Dosis empleada: 3ml por 20 litros de agua. Cantidad: 10 litros hasta la semana 6, 20 litros desde la semana 8 en adelante. Aplicación: cada 15 días.
Caldo bordelés (Fungicida)	Prevención de enfermedades bacterianas y fúngicas	Dosis empleada: 10 g de de sulfato cúprico + 10 g de cal hidratada por litro de agua. Cantidad: 20 litros. Aplicación: cada 15 días.
Elaboro: Hernández.		

3.5 FASE METODOLÓGICA CUATRO

3.5.1 Cosecha y recolección. La etapa de cosecha inició en la undécima semana después del trasplante, las plantas de los 3 tratamientos iniciaron su producción a la par, sin diferenciarse mayor precocidad entres ellos. Para la recolección de los frutos se utilizaba una tijera de podar de 22 cm, con esta se realizaba el corte en el pedúnculo cerca del cáliz. El pesaje se realizaba en una báscula mecánica con 5 g de precisión (Figura 16) y se registraba de forma independiente el peso de los tomates recolectados en cada planta.

Figura 16. Pesaje de los tomates cosechados por planta



Fuente: Carvajal, Hernández

El grado de madures mínimo para la recolección de los frutos fue la coloración media (medio pintón)...véase Tabla 5 del numeral 2.2.7... Durante las primeras 5 semanas de la etapa de cosecha era necesario realizar 2 recolecciones a la semana, pero después de la quinta semana la producción disminuyó abruptamente, y solo era necesario recolectar una vez por semana hasta el fin del cultivo en la semana 18 después del trasplante. En la Tabla 14 se exponen los kilogramos de tomate cosechados en general, sin diferenciar los tratamientos para cada semana.

Tabla 14. Registro de cosecha

Semanas después del trasplante	Fecha de recolección día/mes	Gramos cosechado	kg cosechado por semana
11	17/07	11340	29.69
11	19/07	18345	
12	22/07	20655	35.01
12	24/07	14355	
13	28/07	18560	40.99
13	01/08	22430	
14	04/08	29615	74.92
14	08/08	45305	
15	12/08	8715	73.63
15	14/08	64915	
16	20/08	50475	50.475
17	27/08	32590	32.59
18	06/09	21795	21.795
Total		359095	359.095

3.5.2 Clasificación del tomate cosechado según NTC 1103-1. En cuanto a la forma, los frutos cosechados del tomate variedad marimba F1 corresponde a la clase "Redondo" o esférico, acorde con las características expresadas en la Tabla 2...véase el numeral 2.2.1.4..., en lo relacionado con las disposiciones de calidad, los tomates cosechados recaen en la categoría I y II, con algunos casos excepcionales de categoría extra. Durante el periodo de cosecha de 8 semanas se produjeron grandes pérdidas de tomate por daños como grietas radiales y pudrición apical...véase numeral 2.2.6.2, además de daños por el ataque de gusano barrenador (Figura 17) y mosca blanca. En lo concerniente al tamaño de los tomates cosechados, se representaron tamaños por debajo del mínimo requerido por la NTC 1103-1 de 35 mm de diámetro, estos tomates se consideraron perdida al no cumplir dicho requisito, los restantes se ubicaron entre los rangos de 47 mm a 57 mm, 57 mm a 67 mm, 67 mm a 82 mm...véase el numeral 2.2.7... En la Figura 18, se observa una muestra de los tomates cosechados y clasificados por rangos de tamaño.

Figura 17. Perdidas de cosecha



Fuente: Carvajal, Hernández.

Figura 18. Tomates clasificados según escala de tamaños NTC 1103-1



Fuente: Carvajal y Hernández.

(A) 67 mm a 82 mm.

(B) 57 mm a 67 mm, rango de tamaño predominante en los tratamientos T2 y T3.

(C) 47 mm a 57 mm, rango de tamaño predominante en el tratamiento T1.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 MANEJO DEL CULTIVO

4.1.1 Ciclo del cultivo. En la Tabla 15 se observa en resumen las distintas etapas del ciclo del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad marimba F1 implantado en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

Tabla 15. Ciclo del cultivo

Periodo o etapa del cultivo	Ciclo (dds)	Duración (días)
Semillero (bandejas de germinación)	40	40
Trasplante	41	1
Inicio Floración	70	29
Inicio Formación de fruto	90	20
Inicio Cosecha	116	26
Fin Cosecha	167	51*

dds: Días después de la siembra.,*: Periodo de cosecha truncado.

A causa del daño irreparable de la cubierta del invernadero y el consecuente deterioro del cultivo, el ciclo se vio truncado pasados 167 días y por ende no se logró completar el ciclo sugerido en la revisión de literatura de alrededor de 210 días...véase el numeral 2.2.2.1..., es preciso indicar que la duración del ciclo de cultivo sugerido en la revisión literaria corresponde a variedades de tomate con crecimiento determinado, ciclos mucho más cortos que los esperados para variedades de crecimiento indeterminado como el tomate variedad marimba F1.

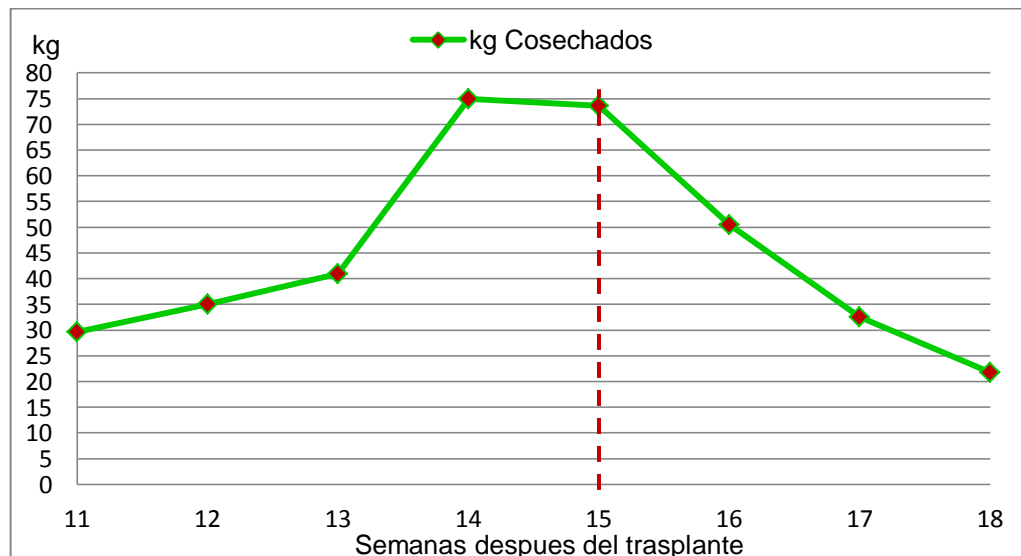
4.1.2 Control de plagas y enfermedades. A pesar de que las plantas de tomate variedad marimba F1 son resistentes al ataque de los hongos *Fusarium* y *Verticillium*, se presentaron brotes de estos hongos por lo que fue necesaria la erradicación de varias plantas. La plaga más importante durante el desarrollo del

experimento fue la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), durante los primeros tres meses de desarrollo del cultivo se logró controlar de forma eficaz esta plaga con el uso de insecticidas de toxicidad media pero al aumentar el tamaño y el follaje de las plantas esta no pudo ser controlada con insecticidas de toxicidad media en especial en las plantas del tratamiento T1 por la alta densidad de siembra, lo que favorecía el desarrollo de la mosca blanca.

De particular preocupación es el uso que le dan a estos plaguicidas los pequeños productores, sin respetar los periodos de carencia (P.C.) y los periodos de reentrada (P.R.) indicados para cada uno, por ejemplo, productos con el Lash 40 SP...véase el cuadro 5 del numeral 3.4.3.1... que tiene un P.C. de 14 días, no debería ser usado durante la etapa de cosecha, ya que las recolecciones del tomate en invernadero, se realizan hasta 2 veces por semana, pero a pesar de esto son usados para el control de gusanos en la etapa de cosecha, inclusive el insecticida Karate Zeon usado para el control del barrenador del tomate, una plaga clave en la etapa de cosecha, no debería ser utilizado puesto que tiene un P.C. de 5 días.

4.1.3 Curva de producción general. En la Gráfica 1 se muestra la producción acumulada semanal en el invernadero, sin diferenciar los 3 tratamientos. La línea roja a trazos indica la rotura de la cubierta del invernadero y se observa cómo a partir de ese momento la producción decae de forma abrupta y constante.

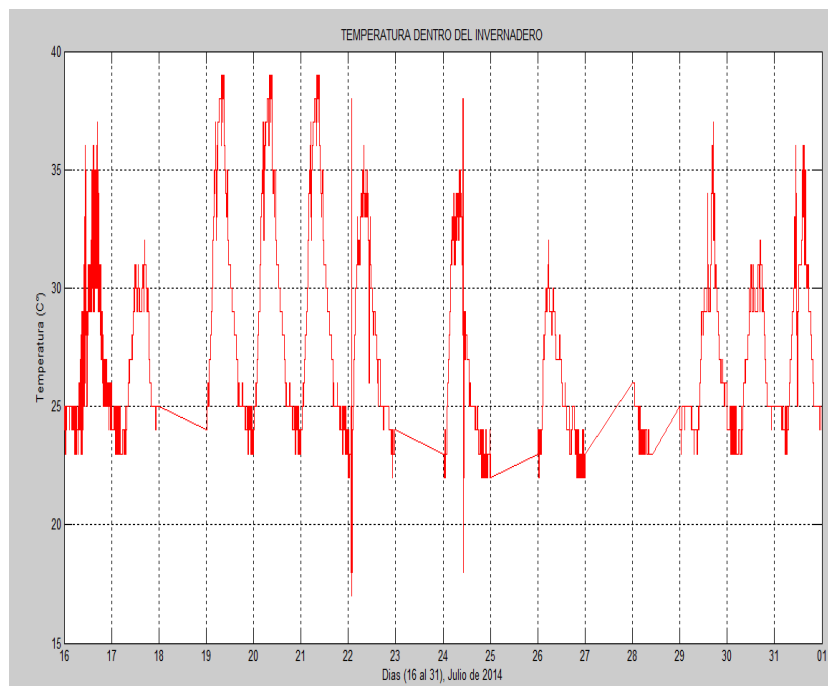
Gráfica 1. Curva de producción general, kg recolectados semanalmente



4.2 CONTROL DE LA TEMPERATURA, LA HUMEDAD RELATIVA Y LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ DENTRO DEL INVERNADERO.

Las Gráficas 2, 3 y 4 elaboradas por Rodríguez J. *et al.*, muestran el comportamiento de los 3 factores ambientales que se plantearon medir y controlar al interior del invernadero. Las gráficas plasman los registros tomados entre los días 16 al 31 de julio del año 2014, periodo que coincide dentro de la etapa de cosecha del cultivo en el invernadero, por lo anterior se desconoce el comportamiento de estos factores en otras etapas del ciclo del cultivo.

Gráfica 2. Temperatura dentro del invernadero

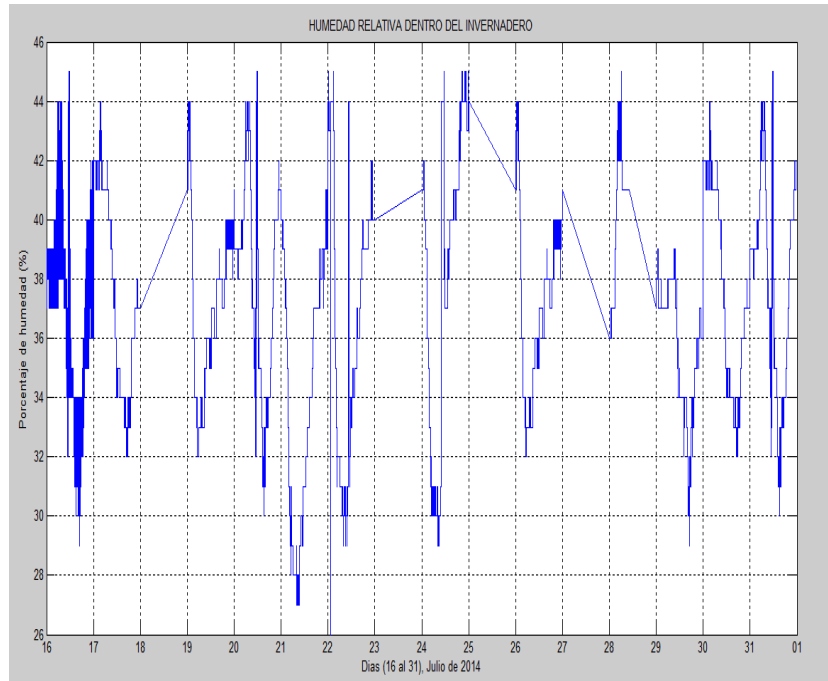


Fuente: Rodríguez J. *et al.*, 2014.

En la Gráfica 2, se observa como la temperatura dentro del invernadero alcanzaba sus máximos valores al medio día, llegando a alcanzar los 39 °C, mientras que las temperaturas en la noche y la madrugada se situaban en su mayoría por debajo de los 24 °C, descendiendo en una ocasión los 16 °C. El rango de temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de tomate es de 21-27 °C...véase la Tabla 4 del numeral 2.2.4.2... y este no se logró cometer. La amplia variación de la temperatura dentro del invernadero (16-39 °C), provoco que se desarrollaran

enormes grietas radiales en los frutos, convirtiéndolos en pérdidas de cosecha. En las zonas de las Gráficas 2, 3 y 4 donde se observa un comportamiento lineal, se muestran días en los que los sensores dejaron de funcionar o no se registraban los factores ambientales.

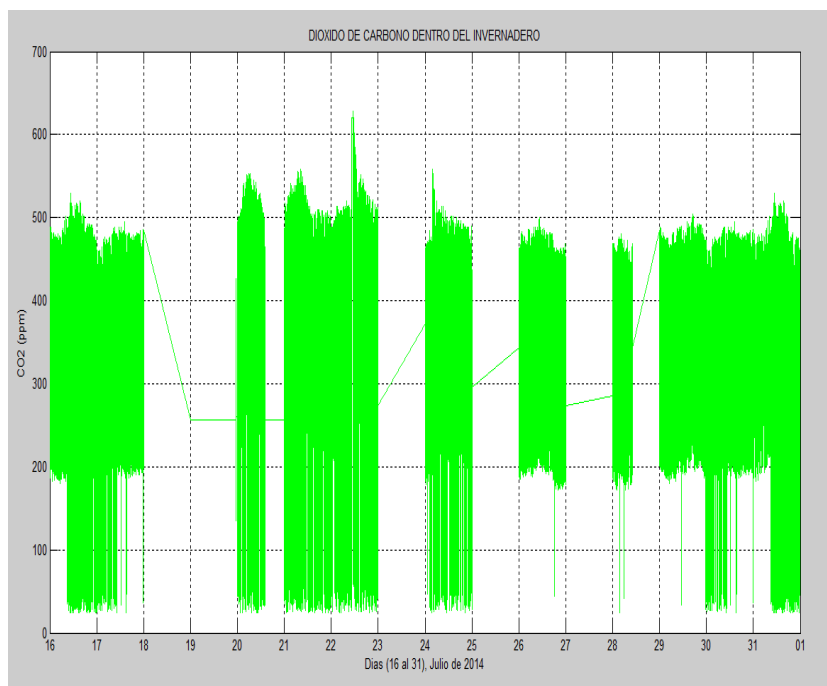
Gráfica 3. Humedad relativa dentro del invernadero



Fuente: Rodríguez J. *et al.*, 2014.

En la Gráfica 3, se observa que la humedad relativa se mantuvo por debajo del 46 %, una humedad relativa muy por debajo del rango óptimo para el desarrollo del cultivo de tomate que debe estar entre un 65 y un 75 % según la FAO. Al cotejar las Gráficas 2 y 3 se evidencia que las zonas en donde se desarrolla un comportamiento lineal concuerdan en los días, confirmando que en el sensor dejaba de funcionar o no se registraba los factores de temperatura y humedad relativa, ya que era un mismo sensor el encargado de medir las dos condiciones.

Gráfica 4. Concentración de CO₂ en ppm dentro del invernadero



Fuente: Rodríguez J. *et al.*, 2014.

Según Douglas Marlow 2011, el productor debe prevenir el descenso de los niveles de CO₂ en el invernadero por debajo de 350 ppm, lo cual consigue con el enriquecimiento con CO₂. En la Gráfica 4 se observa que la concentración de CO₂ dentro del invernadero descendió todos los días registrados por debajo de las 350 ppm, inclusive descendió hasta por debajo de las 120 ppm, la concentración mínima para la fotosíntesis del tomate según Pilar Lorenzo, 2012...véase el numeral 2.2.4.4.

4.3 VARIABLES DE RESPUESTA

4.3.1 Tratamientos. De las 323 plantas que se sembraron en el invernadero solo se consideraron los datos de producción de 219 plantas, las restantes fueron descartadas porque no llegaron a la etapa de producción.

Tabla 16. Producción total, kg de tomate recolectado por tratamiento

Tratamiento	T1	T2	T3
Plantas sembradas	224	64	32
Plantas en etapa de producción	171	53	27
Plantas no productivas	54	11	5
% Plantas no productivas	24.11	17.19	15.63
kg cosechados	182.32	83.68	54.84

El tratamiento en que se presentó el mayor porcentaje de plantas que no lograron alcanzar la etapa de producción fue el tratamiento T1, la alta densidad de siembra causaba una propagación más rápida de las plagas y enfermedades. De particular interés es observar que a pesar de tener 3 veces la cantidad de plantas en etapa de producción, los kilogramos cosechados en el tratamiento T1, no triplica sino que apenas logra superar el doble de la producción total del tratamiento T2, confirmado que, no necesariamente, un mayor número de plantas indica mayor productividad.

4.3.1.1 Producción por planta (g/cosechados). La variable dependiente a evaluar en los tres (3) tratamientos fue la producción (g/cosechados), y las variables independientes fueron la densidad de siembra y el número de tallos por planta. Para las variables evaluadas, se efectuó una prueba t-Student que se utiliza para contrastar hipótesis sobre medias en poblaciones con distribución normal. Existen dos versiones de la prueba t-Student: una que supone que las varianzas poblacionales son iguales y otra versión que no asume esto último. Para decidir si se puede suponer o no la igualdad de varianza en las dos poblaciones, se debe realizar previamente la prueba F-Snedecor de comparación de dos varianzas. Para la ejecución de los análisis estadístico se utilizó el programa de computo Statgraphics centurión XVI Versión 16.2.04.

Para cumplir con el objetivo del experimento se realizó un emparejamiento de los tratamientos como se muestra en la Tabla 17, por lo que se realizaron 2 pruebas t-Student, una para cada confrontación. Para realizar el emparejamiento se tuvo en cuenta que los tratamientos difirieran en la variable independiente.

Tabla 17. Emparejamiento de los tratamientos para las pruebas t-Student

Tratamientos	Variable dependiente	Variables independientes
T1;T2	Gramos de tomate cosechados por planta	Densidad de siembra
T2;T3	Gramos de tomate cosechados por planta	Numero de tallos por planta

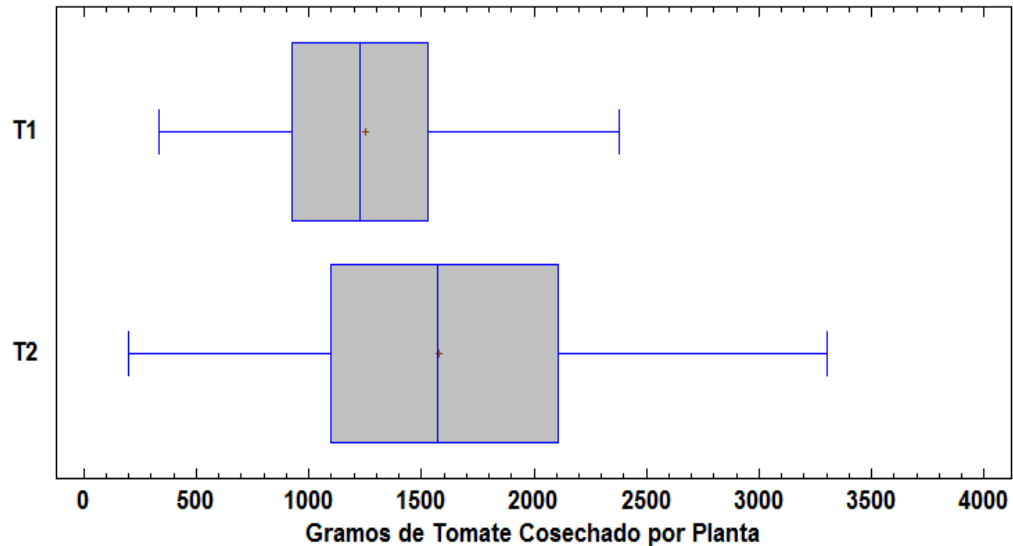
□Comparación de los tratamientos T1 y T2.

Tabla 18. Comparación de Dos Muestras T1&T2

	T1	T2
Recuento	134	53
Promedio	1250.45	1578.87
Desviación Estándar	463.585	746.535
Coefficiente de Variación	37.0735%	47.283%
Mínimo	335.0	200.0
Máximo	2380.0	3305.0
Rango	2045.0	3105.0
Sesgo Estandarizado	1.04658	0.536884
Curtosis Estandarizada	-0.992475	-0.700094

De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar.

Gráfica 5. Diagrama de caja y bigotes para los tratamientos T1 y T2.



Prueba F-Snedecor para comparar desviaciones estándar (σ)

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alternativa: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 0.385618 valor-P = 0.0000124577

Dado que el valor-P es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05 y se acepta la hipótesis alternativa

Existen dos versiones de la prueba t-Student, una que supone que las varianzas poblacionales son iguales y otra versión que no asume esto último.

Prueba t-Student para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media}_1 = \text{media}_2$

Hipótesis Alternativa: $\text{media}_1 \neq \text{media}_2$

Sin suponer varianzas iguales: t = -2.98327 valor-P = 0.00395028

Dado que el valor-P es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05 y se acepta la hipótesis alternativa

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias sin suponer varianzas iguales: +/- 219.65. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -219.65 hasta 219.65. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95.0%.

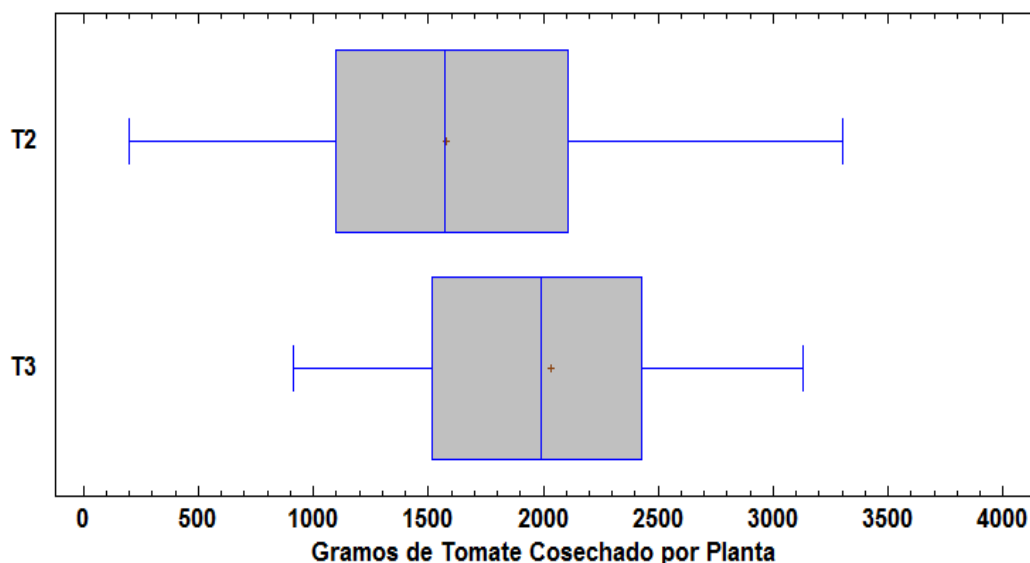
□Comparación de los tratamientos T2 y T3.

Tabla 19. Comparación de dos muestras T2&T3

	T2	T3
Recuento	53	27
Promedio	1578.87	2031.3
Desviación Estándar	746.535	581.969
Coefficiente de Variación	47.283%	28.6501%
Mínimo	200.0	915.0
Máximo	3305.0	3130.0
Rango	3105.0	2215.0
Sesgo Estandarizado	0.536884	0.106121
Curtosis Estandarizada	-0.700094	-0.888239

El sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada están entre el rango de valores normales -2 a +2.

Gráfica 6. Diagrama de caja y bigotes para los tratamientos T2 y T3



Prueba F-Snedecor para comparar desviaciones estándar (σ)

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alternativa: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1.64551 valor-P = 0.169614

Dado que el valor-P es mayor a 0.05 se rechaza la hipótesis alternativa para alfa = 0.05 y se acepta la hipótesis nula.

Prueba t -Student para comparar medias

Hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alternativa: $\mu_1 \neq \mu_2$

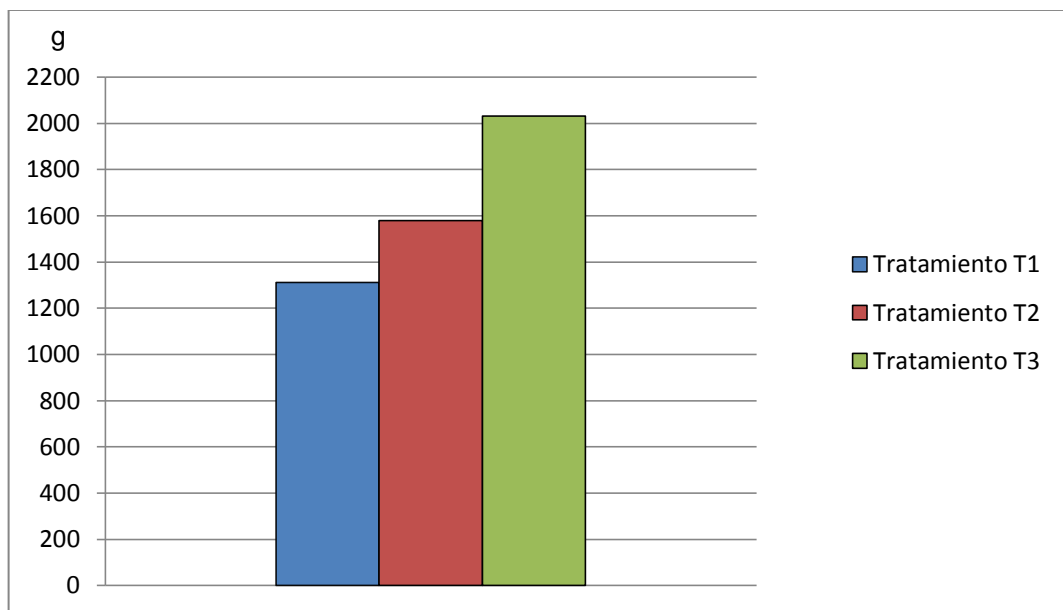
Suponiendo varianzas iguales: t = -2.74919 valor-P = 0.00742074

Dado que el valor-P es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05 y se acepta la hipótesis alternativa

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales [-780.058, -124.798]. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -780.058 hasta -124.798. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfica 7. Media de producción (g/cosechados) por planta



Realizadas las pruebas t-Student se observó que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T1 y T2, pero se encontró que si existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos T2 y T3, concluyendo que este último es el mejor de los 3 tratamientos para la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) variedad marimba F1 en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

4.3.1.2 Rendimiento productivo en (kg/m²)

Tabla 20. Rendimiento para los tratamientos (kg/m²)

Tratamientos	kg cosechados	Área designada m ²	kg/m ²
T1	182.32	55.43	3.29
T2	83.68	27.71	3.02
T3	54.84	13.86	3.95

Según CORPOICA en cuanto a rendimientos, el promedio nacional de tomate para consumo fresco cultivado al aire libre es de 40 t/ha o 4 kg/m², mientras que un rendimiento normal de tomate en invernadero debería ser de 120 t/ha o 12 kg/m². Los rendimientos productivos en kg/m² obtenidos para los 3 tratamientos están muy por debajo del rendimiento nacional, si bien es cierto que el periodo de cosecha fue corto, de solo 51 días, comparado con el normal de alrededor de 127 días, en la Gráfica 1... véase el numeral 4.1.3...se observa como la curva de producción decae después de la quinta semana de cosecha, anunciando el fin del ciclo del cultivo. Con los resultados expuestos en la Tabla 20, se reconfirma que el tratamiento T3 es el mejor de los 3 tratamientos.

4.3.1.3 Rendimiento comercial (kg/m²). Los rendimientos comerciales obtenidos, que vendrían a ser los más importantes para el productor, son muy bajos, en especial para el tratamiento T1, confirmado que una alta densidad de siembra no indica una mayor ni mejor productividad.

Tabla 23. Rendimiento comercial (kg/m²)

Tratamientos	kg cosechados	kg comerciables	Área designada m ²	kg/m ²
T1	182.32	128.32	55.43	2.31
T2	83.68	74.68	27.71	2.69
T3	54.84	48.84	13.86	3.52

5. CONCLUSIONES

- Los rendimientos productivos obtenidos del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) variedad marimba F1, en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, son muy inferiores al rendimiento promedio nacional de tomate para consumo fresco, cultivado en invernadero establecido por CORPOICA, consiguiendo un rendimiento productivo de apenas 1/3 del promedio nacional de 12 kg/m².
- El tratamiento T3, con un rendimiento productivo de 3.95 kg/m², empleando una densidad de siembra de 2.4 plantas/m² y con el desarrollo de dos tallos por planta, resulto ser el mejor de los 3 tratamientos evaluados para la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) variedad marimba F1, en el invernadero de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.
- El tratamiento T1, con un rendimiento productivo de 3.29 kg/m², empleando una densidad de siembra de 4.6 Plantas/m² y con el desarrollo de un solo tallo por planta, resulto ser el peor de los 3 tratamientos evaluados, no obstante, su rendimiento productivo no fue el más bajo, pero durante el desarrollo del cultivo se observó que el ataque y propagación de plagas y enfermedades era mucho más severo en este tratamiento, presentándose una alta mortalidad de plantas. Asimismo se observo que el tamaño preponderante de los tomates cosechados en este, era menor al de los tomates cosechados en los demás tratamientos.
- La automatización del riego no funcionó, los sensores utilizados para medir la humedad del suelo se estropeaban o en ocasiones realizaban la medición, pero el actuador no encendía la electrobomba. Los procesos automatizados para el control de la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂ dentro del invernadero funcionaron de forma interrumpida, en ocasiones los sensores dejaban de funcionar o se desprogramaban y como resultado no operaba el extractor.
- No se cumplió el objetivo proporcionar al cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) marimba F1, las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo dentro del invernadero.

- La mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*), fue con un gran margen de diferencia sobre las otras plagas, la más importante durante el desarrollo del cultivo, su control resultó prácticamente imposible con plaguicidas de categoría toxicológica II o inferiores, especialmente en el tratamiento T1 por su mayor densidad de siembra y al aumentar el follaje de las plantas en los tratamientos en general.
- El invernadero instalado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana es vulnerable a los fuertes vientos que se desarrollan en la zona, en especial la cubierta, la cual se averió en dos oportunidades durante el desarrollo del cultivo, siendo la última una de las causas de la finalización del cultivo.
- La malla anti-trips que recubre el perímetro del invernadero, dificulta el control de los factores climáticos dentro, resultando poco útil para aislar el interior del invernadero de las condiciones en el exterior. Además, no protege las plantas en el interior del invernadero de la acometida de vientos fuertes, algo clave durante la primera etapa de desarrollo previo al tutorado, lo que resulto en plantas caídas e inclusive plantas con el tallo principal roto.

6. RECOMENDACIONES

El invernadero diseñado y construido en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, es vulnerable a los fuertes vientos que se desarrollan en la zona, su cubierta se rasga con facilidad y la reparación es muy dificultosa una vez se ha plantado el cultivo, además, durante la operación de reparar la cubierta, se afectan profusamente las plantas en el interior del invernadero. Se recomienda rediseñar el invernadero, haciendo especial énfasis en la resistencia de la cubierta a la acometida de vientos fuertes.

La malla anti-trips que recubre el perímetro del invernadero, es poco eficaz para aislar el interior del invernadero de las condiciones ambientales en el exterior. Además, no protege las plantas en el interior del invernadero de la acometida de vientos fuertes. Durante la cuarta semana después del establecimiento del cultivo de tomate en el invernadero, se presentó un fuerte aguacero con viento, dejando como resultado plantas caídas e inclusive plantas con el tallo principal roto, las plantas más afectadas fueron las que estaban en las camas de siembra cerca de la malla anti-trips, pues esta permite libremente el paso de aire. Se recomienda cambiar la malla anti-trips o disminuir el área recubierta por esta.

La finalidad del invernadero instalado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana es la investigación, en adelante se recomienda, que en el caso de que una de las variables a evaluar sea la densidad de siembra, se utilice un sistema de riego independiente para cada tratamiento.

El suelo es el medio para la propagación de enfermedades provocadas por hongos que atacan las raíces, muchos de estos hongos patógenos son introducidos por los operadores. Se recomienda utilizar bolsas para el trasplante definitivo de cada planta, de esta forma, la propagación de hongos por el suelo se interrumpe.

De particular preocupación es el mal uso que le dan los agricultores a los plaguicidas para el control de plagas y enfermedades en el tomate, muchos de estos son usados de forma irresponsable e indiscriminada. Se recomienda pasar de un control con químicos a la implementación de un manejo integral de plagas y enfermedades, con el uso de biocidas en cambio de los plaguicidas químicos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGROPECUARIA LA HACIENDA. “Diccionario de especialidades agroquímicas”. [En línea]. [5 de Abril de 2015]. Disponible en: (http://www.agrohacienda.com.co/index/Diccionario_de_Especialidades_AgroQuimicas.html).
- AGROSFERA. “Laboratorio de ideas,-Invernaderos Holanda”. [En línea]. [17 de febrero de 2015]. Disponible en: (<http://www.rtve.es/alacarta/videos/agrosfera/agrosfera-laboratorio-ideas-invernaderos-holanda/2135511/>).
- BOUZO, Carlos., GARIGLIO, Norberto. “Tipos de Invernaderos”. [En línea]. [18 de Enero de 2015]. Disponible en: (<http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2009/10/Tipos-de-Invernaderos.pdf>.)
- BURT, C., K. O'Connor and T. Ruehr. 1998. Fertigation. The Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (CORPOICA). “El cultivo de tomate bajo invernadero”. Boletín técnico 21. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia 2006.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA (CORPOICA). “Manual del cultivo de tomate en invernadero”. Centro de Investigación Tibaitatá. Cundinamarca 2009.
- COSMOAGRO. “Cosmo-R 14-8-19”. [En línea]. [5 de Abril de 2015]. Disponible en: (<http://www.cosmoagro.com/documentos/HojaSeguridadCosmo-R14-8-19.pdf>).

- De León Cifuentes., Willian “Evaluación ambiental de la producción del cultivo de tomate (*lycopersicon esculentum* mil.), bajo condiciones protegidas en las Palmas Gran Canaria, España, Mediante la utilización de la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV), 2007-2009” Barcelona, 2009. Trabajo de grado (Doctor en ciencias ambientales) Universidad Autónoma de Barcelona.
- DFROBOT INC. “CO2 Sensor SKU: SEN0159”. [En línea]. [3 de Abril de 2015]. Disponible en: (http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/CO2_Sensor_SKU:SEN0159).
- -----.”DHT11 Temperature and Humidity Sensor (SKU: DFR0067)”. [En línea]. [3 de Abril de 2015]. Disponible en: ([http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=DHT11_Temperature_and_Humidity_Sensor_\(SKU:_DFR0067\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=DHT11_Temperature_and_Humidity_Sensor_(SKU:_DFR0067))).
- DOUGLAS, Marlow. “Aporte de CO2 en un invernadero”. [En línea]. [12 de Abril de 2015]. Disponible en: (<http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/aporte-de-co2-en-un-invernadero/>).
- FINAGRO. “tomate_0”. [En línea]. [19 de febrero de 2015]. Disponible en: (https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info_sect/image/tomate_0.docx).
- FRANQUET Josep Ma, 1995. “Calculo estructural de los túneles invernaderos. Associacio D’Enginyers Agronoms de Catalunya”. Cataluña, 1995. 13p.
- GRAIN. “Los tomates: el mundo los aprecia y las multinacionales los codician”. [En línea]. [10 de febrero de 2015]. Disponible en: (<http://www.grain.org/es/article/entries/815-los-tomates-el-mundo-los-aprecia-y-las-multinacionales-los-codician>).
- HORTOINFO. “Más de 211 millones de toneladas de tomate se producen en el mundo”. [En línea]. [19 de febrero de 2015]. Disponible en: (<http://www.hortoinfo.es/index.php/noticias/3084-tomate-mundo-100314>).
- IMPULSEMILLAS. “Tomate marimba F1 tipo larga vida”. Ficha técnica. 2014.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). “NTC 1103-1 Industrias alimentarias, tomate de mesa”. INCOTEC. Bogotá, D.C. 2011.
- JARAMILLO, Rodríguez, Gil, García, Clímaco, Quevedo, Sánchez, Aguilar, Pinzón, Zapata, Restrepo y Guzmán. “Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas”. (Cartilla corporice). Bogotá 2013.
- LORENZO, Pilar. El cultivo en invernadero y su relación con el clima. En: Cuadernos de estudios agroalimentarios. Vol., 3. (Jul. 2012); p. 23-44.
- NEDERHOFF, E.M.; DE KONING, A.N.M.; RIJSDIJK, A.A. Leaf deformation and fruit production of glasshouse grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by CO₂, plant density and pruning. *Journal of Horticultural Science*, v.67, n.3, p.411-420. 1992.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). “Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas” Manual técnico. Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia 2007.
- REPSOLYPF. “DAP fosfato diamónico”. [En línea]. [5 de Abril de 2015]. Disponible en: (<http://www.petroban.com.ar/docs/CTFertilizantes/DAP.pdf>)
- RODRIGUEZ, Jhon., GONZALEZ, Juan. “Sistema de telemetría y automatización a un Invernadero agrícola desarrollado mediante software libre”. Neiva, 2014. Trabajo de grado (Ingeniero electrónico). Universidad Surcolombiana. Facultad de ingeniería.
- SAENZ QUIROGA, Gustavo., MEZA MENDOZA, Lina. “Diseño y montaje de un invernadero de control local automatizado para el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) variedad larga vida en la granja experimental Universidad Surcolombiana”. Neiva, 2013. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de ingeniería.
- SEED TECHNOLOGY INC. “Grove-Moisture Sensor”. [En línea]. [2 de Abril de 2015]. Disponible en: (http://seedstudio.com/wiki/Grove_moisture_Sensor).

- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA (UPTC). “Prueba t de student”. [En línea]. [15 de Abril de 2015]. Disponible en: (<http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/tstudent.pdf>).

- ZÁRATE NICOLAS, Baldomero., “Producción de tomate (*lycopersicon esculentum mil.*) Hidropónico con sustratos, bajo invernadero”. México, 2007. Trabajo de grado (Magister en ciencias en conservación y aprovechamiento de recursos naturales) Instituto Politécnico Nacional.