

MANEJO DEL RIEGO Y LA FERTIRRIGACIÓN EN TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

Manual Técnico



César Terán Chaves
Miguel Valenzuela Mahecha
Edgar Villaneda Vivas
Germán Sánchez León
Juan Hío Perdomo

2007

Terán Chaves, César Augusto; Valenzuela Mahecha, Miguel; Villaneda Vivas, Edgar; Sánchez León, Germán David; Hío Perdomo, Juan Clímaco / Manejo del riego y la fertirrigación en tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Bogotá. Corpoica, 2007. 88 p.

Palabras clave: FERTIRRIGACIÓN, TOMATE, CULTIVOS DE INVERNADERO, SANIDAD ALIMENTARIA, RELACIONES PLANTA – SUELO, RELACIONES PLANTA – AGUA, ANÁLISIS ECONÓMICO, SABANA DE BOGOTÁ – CUNDINAMARCA – COLOMBIA, EVAPOTRANSPIRACIÓN.



ISBN 978-958-8311-51-7
Código Único Interno: 120
Tiraje: 1.000 ejemplares

© 2007 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – *CORPOICA* –
Subdirección de Investigación y Transferencia de Tecnología
C.I. Tibaitatá
www.corpoica.org.co

Esta publicación es producto del proyecto “*Determinación de requerimientos hídricos y manejo de la fertirrigación en tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá*” financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y *CORPOICA*.

Textos: César Augusto Terán Chaves, Miguel Valenzuela Mahecha, Edgar Villaneda Vivas, Germán David Sánchez León, Juan Clímaco Hío Perdomo / Investigadores C.I. Tibaitatá.
Edición: Camilo Baquero Castellanos, Subdirección de Investigación y Transferencia de Tecnología
Fotografías: César Augusto Terán Chaves, Juan Clímaco Hío Perdomo, Germán David Sánchez León, FAO, Mazzei I.C. (2005)

Producción editorial
Diseño, diagramación, impresión y encuadernación



www.produmedios.com
Teléfono: 288 5338 - Bogotá, DC

El contenido de esta publicación es propiedad intelectual de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - *CORPOICA*-
Prohibida la reproducción total o parcial con fines comerciales.

Impreso en Colombia
Printed in Colombia



CONTENIDO



	Pág.
PRESENTACIÓN	5
AGRADECIMIENTOS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1. EL CULTIVO DE TOMATE	10
1.1 Generalidades	10
1.2 Ventajas de la producción de tomate bajo invernadero	11
1.3 Manejo agronómico del cultivo	12
1.3.1 Producción de plántulas	12
1.3.2 Transplante	13
1.3.3 Densidades de siembra	14
1.3.4 Tutorado.....	14
1.3.5 Polinización	15
1.3.6 Podas.....	15
1.4 Sanidad vegetal del tomate	17
1.4.1 Insectos plaga del tomate.....	17
1.4.2 Principales enfermedades del tomate.....	20
1.4.3 Enfermedades abióticas del tomate	25
1.5 Etapas fenológicas del cultivo de tomate bajo invernadero.....	25
2. RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-CLIMA	27
2.1 El suelo.....	27
2.1.1 Fertilidad.....	27
2.1.2 Textura	28
2.1.3 Densidad	29
2.1.4 Porosidad	30
2.1.5 Retención de humedad y capacidad de almacenamiento de agua	30
2.2 El clima.....	32
2.2.1 Necesidades climáticas de la planta	32
2.2.2 La radiación solar	33
2.2.3 La temperatura del aire.....	33
2.2.4 La humedad relativa del aire.....	33
2.2.5 Evaporación y evapotranspiración	34
2.2.6 Recomendaciones sobre manejo del clima.....	34
2.3 El agua	35
2.3.1 La precipitación.....	35
2.3.2 Fuentes de agua en la Sabana de Bogotá	35
2.3.3 Sistemas de captación de aguas lluvias	36
2.3.4 Calidad del agua.....	36
2.4 La planta	37
2.4.1 La transpiración	37
2.4.2 La evaporación	37
2.4.3 Factores del cultivo.....	38
2.4.4 La absorción.....	38
2.4.5 El balance hídrico	38



3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DEL TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.....	41
3.1 Requerimientos hídricos del cultivo	41
3.2 Coeficientes del cultivo a través del ciclo vegetativo	42
4. RIEGO POR GOTEO EN TOMATE BAJO CUBIERTA.....	45
4.1 Ventajas del riego por goteo	45
4.2 Desventajas del riego por goteo	46
4.3 Descripción del sistema de riego por goteo	47
4.3.1 Cabezal de control.....	48
4.3.2 Red de distribución	52
4.3.3 Red de riego	52
4.4 Instalación del sistema de riego por goteo	53
4.5 Operación del sistema de riego	55
4.5.1 Cantidad de agua a aplicar	55
4.5.2 Tiempos de riego.....	57
4.5.3 Frecuencia de riego	57
5. FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO	58
5.1 Ventajas de la fertirrigación	58
5.2 Limitaciones de la fertirrigación.....	59
5.3 Componentes del sistema de fertirrigación	59
5.4 Análisis de suelos.....	60
5.5 Soluciones nutritivas para el tomate	60
5.6 Fuentes de los fertilizantes para fertirrigación	63
5.7 Compatibilidad química de los fertilizantes.....	63
5.8 Elaboración y uso de la solución de fertirrigación	65
5.8.1 Cálculos de las dosis de los fertilizantes en la solución concentrada.....	65
5.8.2 Método para aplicar la solución concentrada al sistema	67
5.9 Sistema de inyección por venturi	68
5.9.1 Un solo tanque de fertilización (caso 1).....	68
5.9.2 Más de dos tanques de fertilización (caso 2).....	69
5.9.3 Selección del dispositivo venturi	70
5.9.4 Instalación de un sistema venturi	72
5.9.5 Algunas razones por las cuales el venturi no funciona.....	72
5.10 Algunas recomendaciones sobre fertirrigación.....	73
6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.....	75
6.1 Inversiones.....	77
6.2 Costos de producción.....	78
6.2.1 Costos fijos	78
6.2.2 Costos variables	79
6.2.3 Costos totales	79
6.3 Ingresos esperados	80
6.4 Análisis financiero y rentabilidad del cultivo	80
BIBLIOGRAFÍA.....	83



PRESENTACIÓN



En las últimas décadas el cultivo de tomate bajo cubierta ha presentado una clara tendencia de crecimiento a nivel mundial; en Colombia, se ha triplicado el área sembrada en dicho sistema de producción en zonas tradicionalmente productoras de tomate, particularmente en las provincias del Alto Ricaurte en Boyacá y en el noreste de Cundinamarca, tal como ocurrió durante el año 2006 en el Valle de Tenza.

El tomate es la hortaliza que más se produce en el país y genera importantes recursos para los agricultores que dependen de este sistema productivo; sin embargo, persisten problemas estructurales en los diferentes eslabones de esta cadena productiva como son costos altos de producción, precios bajos derivados de una oferta dependiente de la estacionalidad de la producción (en especial en el tomate de mesa que se cultiva a campo abierto), presencia de plagas y enfermedades, bajos niveles de investigación e innovación, desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología inadecuados. La solución de dichas distorsiones podría contribuir a mejorar el nivel de competitividad de este sistema productivo y haría posible competir con países que han generado importantes avances tecnológicos en este campo, como es el caso de España —particularmente la región de Almería—, en donde a través de la alianza entre el sector productivo, la universidad y los institutos de investigación, se han obtenido importantes logros relacionados con mejoras sustanciales en los rendimientos y los ingresos de los diferentes actores que hacen parte de esta cadena.

En este contexto resulta muy oportuna la publicación del presente *Manual Técnico* para el manejo del riego y la fertirrigación del tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá; en primer lugar porque presenta tablas actualizadas de requerimientos hídricos específicos bajo condiciones de cubierta y con ello llena un vacío de conocimientos que limitaba un adecuado desarrollo del cultivo; por otra parte, la técnica de fertirrigación se considera esencial en la estructura de costos del cultivo de tomate bajo cubierta y es determinante en el incremento de los rendimientos.

Esta obra proporciona nuevos conocimientos y compila los valiosos aportes conseguidos por los investigadores/autores de este manual, los cuales son de gran utilidad para los productores que requieren mejorar su nivel de competitividad en el marco de la globalización e internacionalización de la economía.

Mediante un lenguaje sencillo, proporciona elementos para el manejo del agua para riego a nivel predial y proporciona una descripción minuciosa del diseño y la operación del sistema de riego por goteo, así como los elementos necesarios para preparar, operar y manejar el fertirriego en este cultivo.



Como complemento del manejo integrado del cultivo de tomate bajo cubierta, este manual presenta de manera didáctica, ilustrada y sustentada un esquema para el manejo agronómico de dicho cultivo con la tecnología de producción de plántulas, el manejo integrado de las principales plagas y enfermedades, el manejo de las prácticas culturales claves como las podas relacionadas con las diferentes fases fenológicas del tomate bajo invernadero. Además se analiza la relación agua-suelo-planta-clima en la cual cada uno de sus componentes se explica y sustenta en su conjunto, proporcionando elementos que, simultáneamente con el análisis económico del cultivo, facilitan la toma de decisiones por parte del productor.

Los aportes realizados por los investigadores/autores de este manual son muy valiosos para los diferentes productores que requieren mejorar su nivel de competitividad en el marco de la globalización e internacionalización de la economía actual. Las características mencionadas de la obra hacen del **Manual Técnico para el manejo del riego y la fertirrigación del tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá**, un libro de permanente consulta para todos los productores y asistentes técnicos de tomate interesados en la planificación de acuerdo con la demanda y en el mejoramiento de la competitividad de este importante sistema productivo para Colombia.

Carlos Alberto Herrera H.
Gerente de la Cadena de Hortalizas
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Corpoica



AGRADECIMIENTOS



Esta obra es el resultado impreso de un proceso de trabajo continuo de un grupo de investigación de *CORPOICA* —Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria— dedicado al manejo de aguas agrícolas y específicamente a la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, el cual inició labores hace algunos años; materializa el esfuerzo de muchas personas que han colaborado directa o indirectamente en dicho proceso: a todas aquellas personas están dirigidos los presentes agradecimientos.

A los investigadores que nos precedieron, quienes desarrollaron las metodologías de requerimientos hídricos y las probaron en Colombia: ellos allanaron el camino para que pudiésemos recorrerlo de forma más rápida y segura.

A los directivos que supieron exhortarnos para que emprendiéramos el reto, señalaron nuestras debilidades con el fin de que mejoráramos y nos apoyaron en momentos difíciles.

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la priorización de la investigación en la línea de manejo de aguas en hortalizas, específicamente en tomate bajo cubierta, base para la aprobación y financiación de la presente investigación. También, a la Dra. Elzbieta Bochno por sus valiosas observaciones de interventoría durante el proceso de investigación.

A la Dra. Clemencia Gómez por sus aportes iniciales en la formulación de la propuesta investigativa; así mismo, al Dr. Jorge Arguello por su ayuda con el análisis estadístico realizado, a la Dra. Amparo Rojas y al Ingeniero Pedro León por sus contribuciones en cuanto a la nutrición del cultivo y la fertirrigación.

Muy especialmente agradecemos al I.A. Pablo Cubillos por su colaboración y dirección en el trabajo de campo realizado y a los I.A. Eduardo Rueda y Luisa Sarmiento por su participación en el grupo de discusión sobre los avances obtenidos. A nuestro compañero y amigo Eduardo Espitia por la corrección de la sección de plagas y enfermedades del tomate y a la Dra. Irma Baquero por la revisión y corrección del capítulo sobre análisis económico.

A nuestro permanente colaborador en el Laboratorio de Física de Suelos del Centro de Investigaciones Tibaitatá Sr. Javier Torres, por su alto nivel de responsabilidad, disponibilidad de trabajo y esmerado nivel técnico. También agradecemos al Sr. Julio Camargo y a algunos observadores climáticos que eventualmente participaron.

A todas y cada una de las personas e instituciones que, de una u otra forma, prestaron información o colaboraron en el desarrollo del presente manual técnico.



INTRODUCCIÓN



El Plan Nacional Hortícola reporta que en 2006, el área sembrada en tomate en Colombia fue de 8.688 hectáreas con un rendimiento promedio de 27.85 t/ha y una producción total de 241.987 toneladas (CCI, 2007); entre ellas, se estima que existen alrededor de 500 ha de tomate cultivado bajo cubierta, alternativa tecnológica que permite a los productores independizar el cultivo de aquellos factores climáticos que lo afectan y ejercer un control sobre la producción final (SENA, 2006).

El tomate es la especie hortícola que más se siembra en el mundo, mientras que en Colombia es la de mayor valor en cuanto su producción y consumo. En 1998 se inició en el país la producción de tomate bajo cubierta y se estima que en el año 2001 este sistema de producción ocupaba 224 ha, donde se sembraron 6.311.000 plántulas por ciclo por parte de 1.750 productores para una producción de 42.917 t/año y una participación en la producción total de tomate del 11.7% (Sánchez, G., 2002).

El presente *Manual Técnico* está orientado al manejo del agua en el sistema de producción de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá bajo tres enfoques: el manejo del agua a nivel predial en lo que tiene que ver con el sistema de riego típico recomendado, su diseño, y operación; en segundo término se presentan los requerimientos hídricos del tomate bajo cubierta, y por último se aborda lo relativo a la técnica de fertirrigación del cultivo.

Los resultados más importantes de una investigación sobre requerimientos hídricos del tomate bajo cubierta que se realizó en la Sabana de Bogotá se incluyen en el presente manual con el objeto de que sean tenidos en cuenta para el manejo del agua a nivel predial por los agricultores de esta región. Se determinaron los niveles de lámina de agua requeridos con el objeto de aumentar la producción y optimizar el uso del recurso para contribuir además a la conservación de las fuentes de agua, aumentando la eficiencia del sistema.

Además, se analizan los retos que enfrenta el país con respecto a los acuerdos de libre comercio y las perspectivas de desarrollo que tiene la Sabana de Bogotá en la producción del cultivo, haciendo énfasis en la preservación de las escasas fuentes hídricas de la región, en la necesidad de optimizar los costos y manejar apropiadamente la estacionalidad; así mismo, se examinan los desequilibrios en el precio y la oferta de producto, que se concentran en fechas críticas del año, con lo que se propone a los agricultores la excelente posibilidad de programar la producción y tener una cosecha sostenida.

La metodología de investigación empleada en la determinación de los requerimientos hídricos se basó en la propuesta metodológica realizada por la FAO (Allen, R. *et al.*, 1998) en la cual se especifica la importancia de la investigación *in situ* en requerimientos hídricos de los cultivos y la evaluación de la evapotranspiración de referencia determinada por el modelo de



Pennman – Monteith con el uso de una estación automática y autosuficiente para la medición de las variables climáticas presentes dentro del invernadero.

Igualmente, se probó el método de dosificación de riego por goteo con cinta que se fundamenta en la evaporación actual del tanque Tipo “A” y se aplicaron procedimientos y técnicas desarrolladas por el grupo de investigación del Programa de Recursos Biofísicos de *CORPOICA* como el Modelo Automático de Balance Hídrico Agrícola (MABHA) (2004), así como otros procedimientos programados para el cálculo de las curvas de K_c y la determinación de la evapotranspiración real y de referencia (Terán, 2004).

El proyecto fue el resultado de las inquietudes generadas por los gremios, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y *CORPOICA* los cuales establecieron como prioritario el tema de requerimientos hídricos en la producción del tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá.

En resumen, el objetivo del presente manual es proponer un modelo para el uso eficiente del agua en la producción de tomate bajo cubierta, en consonancia con un diseño idóneo y un manejo apropiado del sistema de riego considerando los elementos de cultivo, clima, suelo y disponibilidad hídrica, además de la fertirrigación. Ello redundará en la posibilidad de producir de manera programada de acuerdo con los volúmenes requeridos, así como en el aumento de la producción y la productividad además del mejoramiento de la calidad del tomate bajo cubierta.



1. EL CULTIVO DE TOMATE



1.1 Generalidades

El tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) es una planta de la familia Solanaceae originaria del sur de América, específicamente en la región comprendida entre el sur del Ecuador y el norte de Chile; se encuentra de forma silvestre y cultivada en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2.000 m.s.n.m. a libre exposición y, ahora, hasta los 2.700 m.s.n.m. en el sistema bajo cubierta (Figura 1) (Sánchez, 2002).



FIGURA 1. CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO.

A pesar de la reducida área sembrada en el sistema protegido, la participación porcentual creciente del tomate bajo cubierta en la producción nacional es considerable; de igual manera, se percibe un incremento acelerado del área sembrada en algunas regiones del país, a causa



de las ventajas de manejo del cultivo así como los mayores ingresos que se pueden obtener. Las mayores áreas de tomate bajo cubierta se encuentran en los departamentos de Boyacá (más de 200 ha en las provincias de Ricaurte y Valle de Tenza) y Cundinamarca (cerca de 130 ha en las provincias de Oriente, Sumapaz, Valle de Ubaté y Sabana de Bogotá).

La duración del ciclo de cultivo se relaciona directamente con el hábito de crecimiento y la temperatura. En condiciones de cultivo bajo cubierta en la Sabana de Bogotá, la producción comienza tres meses y medio después del trasplante y la cosecha puede durar entre tres y cuatro meses.

1.2 Ventajas de la producción de tomate bajo invernadero

El cultivo de tomate protegido demanda una inversión inicial significativa en la construcción de la infraestructura; así mismo, presenta altos costos de operación, requiere personal especializado y un seguimiento constante de las condiciones ambientales dentro del cultivo. No obstante, tiene grandes ventajas que lo hacen atractivo como negocio: la protección contra efectos dañinos de la lluvia, el viento y el granizo; la preservación de la estructura del suelo; la posibilidad de manejar el microclima interno; el ahorro de agua; la posibilidad de sembrar materiales de alto rendimiento; la ampliación del período de producción; una mejor calidad del producto y la posibilidad de programar la producción para que el producto salga en aquellas épocas de menor oferta. Todos estos factores llevan a obtener una mayor productividad en el sistema de cultivo del tomate bajo cubierta.

En general, la producción bajo invernadero presenta algunas ventajas frente a la producción a campo abierto:

- Es posible cultivar durante todo el año ya que se aísla el interior del exterior y la producción queda protegida de la lluvia y otras condiciones climáticas adversas; además, se pueden manejar y controlar las temperaturas extremas. De esta forma se genera un sistema de producción que favorece una oferta continua del producto.
- La producción bajo cubierta es mayor que a campo abierto, puesto que el microclima generado permite un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas, reduciéndose la incidencia de insectos plaga y enfermedades, lo que influye directamente sobre la productividad y la calidad de los productos.
- En este sistema de producción es más exitosa la implementación de programas de control biológico, ya que los factores ambientales se pueden manejar en rangos apropiados para favorecer el control de las plagas por parte de los organismos biocontroladores.
- La inversión en sistemas de riego localizado es recomendable y más rentable en este tipo de cultivo porque permite dosificar las cantidades de agua y fertilizantes por cada planta, disminuyendo así los costos y evitando pérdidas del producto por lixiviación.
- Desde el punto de vista del manejo fitosanitario un invernadero bien construido y manejado garantiza una ventilación adecuada, que evita condiciones favorables para el desa-



rollo de enfermedades de la parte foliar; así mismo, mantiene al cultivo dentro del rango de condiciones óptimas, disminuyendo situaciones de estrés que incrementan la susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades, haciendo posible la intervención biológica y la utilización de trampas para insectos (Jaramillo *et al.*, 2006).

1.3 Manejo agronómico del cultivo

El manejo agronómico del cultivo de tomate bajo cubierta debe ser cuidadoso con el fin de aprovechar todas las ventajas que presenta este sistema de producción. Los aspectos que se deben tener en cuenta son la producción de plántulas, el transplante, las densidades de siembra, el tutorado, la polinización y la realización periódica de podas.

1.3.1 Producción de plántulas

Debido al alto costo de la semilla de tomate, la producción de plántulas debe hacerse en bandejas de germinación o propagación bajo confinamiento, de tal forma que se garantice que todas las plántulas dispongan de espacios individuales y las mismas oportunidades de sustrato, nutrientes, agua y luz para obtener un crecimiento más homogéneo. Algunas recomendaciones para la obtención de buenas plántulas de tomate son:

- La siembra se debe hacer preferiblemente en bandejas plásticas de 128 celdas o alvéolos, para mayores beneficios de la planta en el desarrollo de raíces (calidad y cantidad).
- Utilizar un sustrato que posea buenas características físicas (porosidad, permeabilidad, aireación, retención de humedad), químicas (aporte de nutrientes, alta capacidad de intercambio catiónico, pH entre 5.5 y 6.5) y biológicas (libre de agentes patógenos y, preferiblemente, inoculados con microorganismos benéficos). El sustrato debe contar con un buen drenaje, alta capacidad de infiltración y una buena cohesión entre partículas.
- Una vez realizada la siembra las bandejas se deben colocar sobre un soporte o mesón que permita el drenaje y no favorezca el encharcamiento. Los soportes se elaboran de alambre o guayas tensadas, cañabrava, lata de guadua, etc.
- El sitio donde se colocarán las bandejas debe estar protegido del ataque de pájaros y roedores; así mismo, debe permitir completamente el paso de la luz, razón por la cual se recomienda utilizar condiciones protegidas o invernaderos.
- Hacer un buen manejo de la humedad y la fertilización durante el período de desarrollo de la semilla en la bandeja. La semilla de tomate germina entre los 4 y 7 días y está lista para transplante entre los días 30 y 35. Sin embargo, el factor que determina el momento óptimo de transplante es el estado de la plántula, la cual debe tener, además de las hojas cotiledonales, de dos a cuatro hojas verdaderas completamente formadas y abiertas, y la tercera hoja en formación; también es importante observar la raíz, que debe haber rodeado completamente el cubo de turba y tener un color blanco o crema.



1.3.2 Transplante

Antes de ser transplantadas las plántulas deben reunir las siguientes condiciones (Figura 2):

- Tener una altura entre 10 y 15 cm.
- Las hojas deben estar bien desarrolladas y erectas, sin entorchamientos y presentar un color verde homogéneo.
- La base del tallo y el envés (parte inferior) de las hojas deben presentar una coloración ligeramente púrpura.
- Las raíces deben ser blancas, vellosas y delgadas.
- La planta debe tener buen vigor (fuerte) y no presentar doblamientos en general.

Es importante implementar la práctica conocida como “endurecimiento”, la cual se puede hacer tanto en semillero como en campo (Semillas Arroyave, 2002). En el primer caso se corta el suministro de agua durante el último o los dos últimos días de la plántula en la bandeja; en el segundo caso, se transplanta con un riego previo abundante y luego se deja entre dos y tres días sin regar para estimular el desarrollo de raíces en el sitio. Con la práctica de endurecimiento se logra que la plántula desarrolle rápidamente raíces absorbentes que le permiten tomar agua y nutrientes del suelo. El “endurecimiento” también se puede realizar sometiendo las plantas en semillero, a frío constante los últimos días (mantener por mayor tiempo cortinas abiertas), para obligarlas a desarrollar más raíces y prepararlas para los cambios de temperatura al pasar las plántulas de bandejas germinadoras al suelo.



FIGURA 2. TRANSPLANTE DE PLÁNTULAS DE TOMATE: A) PLÁNTULAS LISTAS PARA EL TRANSPLANTE. B) SIEMBRA DE PLÁNTULAS. C) PLÁNTULA RECIÉN TRANSPLANTADA CON LAS CARACTERÍSTICAS SEÑALADAS.



Para el trasplante se recomienda levantar camas a una altura mínima de 20 cm, marcar los sitios donde van a ir las plantas y abrir un hueco ligeramente mayor al volumen ocupado por el recipiente que contiene la planta. El suelo debe tener un adecuado nivel de humedad y las plántulas se colocan sin deshacer el sustrato en el que vienen, dejando parte del tallo enterrado para promover la emisión de raíces nuevas.

Previamente al trasplante se recomienda agregar al suelo los correctivos y fertilizantes necesarios haciendo énfasis en la incorporación de materia orgánica a una profundidad adecuada para evitar que se presenten toxicidades y daños en las raíces de las plántulas.

1.3.3 Densidades de siembra

La densidad de siembra varía de acuerdo con el material que se escoja, las condiciones climáticas de la zona, el tipo de estructura que se utilice y el manejo del cultivo. Existen dos formas de ubicar las plantas en el invernadero. La primera es mediante surcos individuales con una distancia de 1 a 1.4 m entre surcos y de 30 a 50 cm entre plantas. La segunda es el trasplante en surcos dobles la cual requiere elaborar camas con una distancia de 50 a 60 cm entre los dos surcos de la cama y de 40 a 50 cm entre las plantas a lo largo del surco. La distancia de las camas varía de 1.40 a 1.60 m dejando caminos de 0.8 a 1.0 m de ancho. La densidad de siembra adecuada está entre 2.4 y 2.8 plantas/m² ó 24.000 a 28.000 plantas/ha (Figura 3).



FIGURA 3. SIEMBRA EN SURCOS DOBLES.

1.3.4 Tutorado

Es una práctica esencial para mantener la planta erguida y evitar que las hojas, y sobre todo los frutos, toquen el suelo; así mismo, el tutorado mejora la aireación general de la planta y favorece el aprovechamiento de la radiación solar y la realización de las labores culturales. Todo ello repercutirá en la producción final, la calidad del fruto y el control de las enfermedades (Figura 4).



FIGURA 4. TUTORADO CON GUAYA SUPERIOR E HILOS GUÍAS.

La sujeción de la planta suele realizarse con hilo de polipropileno o de tela sujeto por un extremo a la zona basal de la planta y por el otro a un alambre o guaya situada a determinada altura por encima de la planta (2.5 a 2.8 m sobre el suelo). Conforme la planta crece manualmente se va enrollando el tallo al hilo tutor dos veces por semana durante los dos primeros meses y después semanalmente hasta que la planta alcance el alambre.

1.3.5 Polinización

La planta de tomate se reproduce mediante autopolinización inducida por el viento, cuando crece al aire libre. Cuando se cultiva bajo cubierta es necesario agitar los racimos florales con el fin de promover la polinización, lo cual se puede hacer golpeando el sistema de tutorado, haciendo vibrar manualmente el tallo del racimo floral, utilizando un vibrador o abejorro eléctrico y con el uso de insectos (abejorros). En condiciones normales a las 50 horas después de la polinización comienza la formación de frutos. Cuando las plantas son jóvenes y producen los primeros racimos florales se deben polinizar todos los días o como mínimo cada 48 horas (Pardo, 2001).

1.3.6 Podas

Las plantas de crecimiento indeterminado no cesan su crecimiento hasta que no se elimine el brote terminal, y por lo tanto pueden llegar a crecer varios metros. En general, forman siete hojas verdaderas desde la base hasta el primer racimo floral, y luego forman tres hojas entre cada uno



de los racimos; al igual que en los determinados, en la base de cada hoja se forma un brote axilar o “chupón”, que si se deja desarrollar se convierte en un tallo o eje adicional. 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 (Nozomu y Carrijo, 1998). Las podas que se deben realizar son:

Poda de formación. Se realiza a los 25-30 días del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación del cuello. Con esta poda se define cuántos tallos se van a dejar, normalmente se trabaja a un solo tallo. Cuando se decide trabajar a dos tallos se recomienda dejar el principal y el que está por debajo de la primera inflorescencia.

Poda de hojas. Es recomendable tanto en las hojas senescentes, para facilitar la aireación, disminuir la humedad relativa y mejorar el color de los frutos, como en hojas enfermas que 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. La primera poda de hojas se debe hacer cuando el segundo racimo haya florecido completamente, y se eliminan las primeras 5 hojas basales, dejando 2 hojas por debajo del primer racimo; la segunda poda se hace cuando florezca el tercer racimo, y se debe eliminar la segunda hoja del primer entrenudo, o sea, la hoja de la mitad entre el primero y el segundo racimo.

Las podas siguientes se hacen a medida que la planta va floreciendo, con el siguiente orden: Poda segunda hoja del segundo entrenudo: cuando florezca el cuarto racimo. Poda segunda hoja del tercer entrenudo: cuando florezca el quinto racimo y así sucesivamente. Cuando es necesario eliminar alguna hoja sin que el racimo haya producido se escoge la segunda hoja por encima del racimo, puesto que es la que menor aporte hace al llenado del racimo (8%). La hoja que está inmediatamente debajo del racimo aporta el 75% y la que está por encima aporta el 15%.

Poda de brotes axilares o “chupones”. Consiste en la eliminación de brotes axilares para mejorar el desarrollo del tallo principal. Debe realizarse semanalmente cuando tienen 3 a 5 cm para evitar la pérdida de biomasa fotosintéticamente activa y la realización de heridas y el consecuente ataque de hongos como *Botrytis cinerea*.

Poda de frutos. Esta poda se realiza con el fin de homogenizar y aumentar el tamaño de los frutos, así como su calidad. No existe una fórmula general ya que intervienen varios factores: la variedad sembrada, las condiciones climáticas, el estado fenológico del cultivo y los requerimientos del mercado.

Es importante conocer el comportamiento del material sembrado en cuanto a número de flores por racimo y calibres promedio de fruto; si bien estos dos parámetros son genéticamente dependientes, la fertilización juega un papel muy importante.

Con relación a las condiciones climáticas es posible observar que a mayor temperatura se deben dejar menos frutos, igual que a mayor densidad de siembra o menor disponibilidad de radiación por planta.



Respecto del estado de desarrollo de la planta, en los primeros racimos se dejan más frutos que en los últimos; finalmente, las exigencias del mercado son las que definitivamente indican las características del fruto que se debe sacar.

Para realizar la poda de frutos en un racimo es necesario que todos los frutos hayan cuajado; esta es la única forma de saber cuántos frutos se formaron, además de poder seleccionar los frutos deformes, enfermos, etc., que son los primeros que se deben eliminar. En algunos materiales, en las condiciones de la Sabana de Bogotá, se dejan en los primeros racimos 4 a 5 frutos y en los últimos de 3 a 4, para obtener frutos de 170 g en promedio.

Poda apical o despunte. Esta poda permite detener el crecimiento de la planta y se debe realizar una vez que se haya determinado el número de racimos que se quiere producir. Le permite a la planta dirigir buena parte de los nutrientes que estaba usando para crecer, hacia los últimos racimos, y por lo tanto se obtienen mejores calibres y peso de frutos. La poda consiste en eliminar el brote terminal y se debe hacer dejando cinco hojas por encima del último racimo seleccionado.

1.4 Sanidad vegetal del tomate

El cultivo del tomate se ve 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. El control de los problemas sanitarios debe obedecer a una estrategia de manejo integrado de plagas que involucre componentes de control cultural (eliminación de residuos de cosecha, adecuada preparación del suelo, rotación de cultivos, fertilización balanceada, eliminación de hospederos secundarios y partes de la planta enfermas, suministro eficiente del riego, labores realizadas oportunamente), control etológico (uso de trampas para el seguimiento y manejo de insectos -trampas amarillas para mosca blanca y minador, azules para trips, trampas con feromona para el cogollero-), control biológico (uso de organismos benéficos como *Encarsia formosa*, *Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis*) y control químico (uso de productos químicos de baja toxicidad y selectivos a organismos benéficos, categoría III y IV y productos a base de extractos vegetales).

1.4.1 Insectos plaga del tomate

A continuación se mencionan algunas de las plagas más frecuentes:

Mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, Homoptera: Aleyrodidae)

Es la principal plaga que ataca el tomate tanto a nivel mundial como nacional. Esta es la especie que predomina en los climas medio y frío. Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos que colocan los huevos en el envés de las hojas; las ninfas pasan por cuatro instares de los cuales el primero (N₁) es el único móvil (“crawler”). Los daños directos (amarillamiento y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por las larvas y los adultos al alimentarse



absorbiendo la savia de las hojas. Los daños indirectos se deben a la proliferación de “fumagina” (causada por el hongo *Cladosporium* sp.) sobre la melaza producida en la alimentación, manchando y depreciando los frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas. Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos (Figura 5) y por la transmisión de virus vegetales, especialmente de la familia Geminiviridae.



FIGURA 5. ATAQUE DE LA MOSCA BLANCA EN CULTIVO DE TOMATE.

El manejo de esta plaga, así como las demás debe ser de una forma integrada donde la principal herramienta es el control biológico natural e inducido, además de utilizar trampas amarillas que se van colocando en el tercio donde hay mayor presencia de adultos; también se recomienda la eliminación de malezas susceptibles, tanto al interior como en los alrededores del invernadero, someter al compostaje el material resultante de las podas y residuos de cosecha, y no asociar el tomate con cultivos susceptibles (especialmente otras Solanaceas y Cucurbitaceas). El principal controlador biológico es la “avispa” *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae), organismo utilizado desde hace décadas para el control de moscas blancas bajo invernadero.

De acuerdo con las recomendaciones de la FUBJTL, CIAA (2001) para la Sabana de Bogotá y con experiencias en el C.I. Tibaitatá de *CORPOICA*, se ha tenido éxito con liberar *Encarsia formosa* en una cantidad de 5 pupas/m²/semana durante cinco semanas. Las liberaciones se deben iniciar cuando la población de mosca blanca sea baja aún, las hojas en que vienen las ninfas parasitadas se deben colocar debajo de hojas con ninfas a parasitar para que al emerger los adultos encuentren fácilmente a su hospederero.

Cogollero del tomate (*Tuta absoluta* Meyric (syn. *Scrobipalpus absoluta* Meyric), Lepidoptera: Gelechiidae)

Es una de las plagas más dañinas para el cultivo porque es minador de hojas (Figura 6), consume cogollos y barrena los frutos causando su pérdida completa. Los adultos colocan los hue-

vos directamente en el follaje o en los sépalos, la larva es el único estado que causa el daño, la pupa se forma 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 dura 27 días, la fecundidad es de 58 huevos por hembra y la longevidad del adulto es de 11 días. El manejo de esta plaga requiere hacer seguimiento y control de la población mediante el uso de trampas con feromona sexual para captura de machos, realizar liberaciones de parasitoides de huevos (*Trichogramma pretiosum* Riley), control natural con parasitoides de larvas (*Apanteles* sp.) y uso de insecticidas biológicos como la bacteria *Bacillus thuringiensis*.



FIGURA 6. DAÑO CAUSADO POR *Tuta absoluta* EN HOJAS DE TOMATE.

Trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande, *Thrips palmi* (Karny), Thysanoptera: Thripidae)

Los adultos colonizan los cultivos realizando la oviposición en los tejidos vegetales, las hojas, los frutos y, preferiblemente, las flores, donde se localizan los mayores niveles de población de adultos y larvas. Los daños directos se producen por la alimentación de larvas y adultos. *Frankliniella occidentalis* prefiere las flores y brotes jóvenes, donde causa deformaciones, *T. palmi* prefiere el follaje y las frutas y puede transmitir el virus del bronceado del tomate (TSWV). Para su manejo se debe iniciar con plántulas de buena calidad, libres de la plaga, uso de trampas azules y eliminación de hospederos alternos.

Minador de la hoja (*Liriomyza* sp., Diptera: Agromyzidae)

Hay varias especies de minadores en el país que pueden atacar el cultivo de tomate bajo cubierta, *L. huidobrensis*, *L. trifolii* y *L. sativae*. La hembra oviposita dentro del tejido de las hojas jóvenes, donde se desarrolla la larva que se alimenta del parénquima, ocasionando las típicas galerías. Al cumplir su desarrollo la larva sale de la hoja y empupa en el suelo. Los adultos se alimentan de las células de la epidermis dejando unos puntos necróticos finos en las hojas. Tanto el daño de la larva como del adulto afectan la planta reduciendo su capacidad fotosintética. En cultivos bajo invernadero se ha encontrado que esta plaga no es problemática; en cambio, se ha visto que la aplicación de insecticidas elimina sus controladores naturales como *Diglyphus begini* (Ash) y *Opius* sp.

Áfidos o pulgones (*Macrosiphum euphorbiae* Thomas, *Aphis gossypii* (Glover) y *Myzus persicae* (Sulzer), Homoptera: Aphididae)

Los daños directos que ocasionan son producidos por efecto de la alimentación de los insectos al introducir sus estiletes bucales en los tejidos vegetales para succionar la savia, debi-



litando la planta y ocasionando deformaciones y amarillamiento cuando las poblaciones son muy altas. Para su manejo hay que dejar actuar sus enemigos naturales (*Praon* sp., *Lysiphlebus* sp. y *Aphelinus* sp.). También es necesario para su manejo la malla alrededor del invernadero, eliminar malezas hospederas y restos del cultivo anterior y trampas amarillas.

1.4.2 Principales enfermedades del tomate

Las principales enfermedades que atacan o afectan al tomate de mesa bajo invernadero son de tipo radical e involucran a hongos como *Fusarium oxisporum* y el nematodo *Meloidogyne* sp.

Estas enfermedades se presentan generalmente por plántulas de mala calidad o porque los lotes donde se construyeron los invernaderos están afectados por algún patógeno del suelo.

Fusarium oxisporum Schlechtend

Este patógeno puede estar en semillas, suelo y plántulas tipo trasplante o inclusive en plantas adultas. El síntoma inicial se presenta en plántulas pequeñas (semilleros), este patógeno produce necrosis en la raíz y las raicillas hasta ocasionar pudrición del tallo (Figura 7, izquierda); una vez es infectada la planta, la infección sigue la ruta ascendente por tejidos y parénquima, formando un anillo de color café oscuro, el síntoma se presenta en plantas y en las hojas ocasionando una marchitez y muerte total del cultivo (Figura 7, derecha).

Manejo. Usar semilla certificada y libre de patógeno, desinfectar la semilla con productos biológicos o productos de síntesis química de baja categoría antes de hacer los semilleros, es también muy importante desinfectar el suelo que se va a utilizar en los semilleros y en el lote de siembra, manejar adecuadamente el riego, evitar encharcamiento, usar camas altas, si se presentan síntomas iniciales en planta es necesario aplicar productos fungicidas sistémicos de baja categoría y alternarlos con productos biológicos como el hongo antagonista *Trichoderma* spp. aplicado al cultivo en forma preventiva al daño.



FIGURA 7. ATAQUE DE *Fusarium oxisporum* EN RAÍZ Y PLANTAS DE TOMATE. IZQUIERDA: PRESENCIA TEMPRANA EN RAÍCES. DERECHA: PLANTAS EN ESTADO AVANZADO DE INFESTACIÓN.

Meloidogyne sp.

Este nematodo produce nódulos radicales se encuentra distribuido en climas templados, calidos y fríos, atacando diversos cultivos entre ellos algunas variedades de tomate de mesa bajo invernadero. Uno de los problemas que se ha observado es cuando se hacen invernaderos en lotes que han sido infectados con *Meloidogyne*, las hembras de este género producen nódulos en raíces como se observa en la Figura 8, los nematodos en general producen lesiones en las raíces lo cual permite que otros patógenos como hongos y bacterias penetren en las raíces y ocasionen daños de mayor incidencia, hay un alto porcentaje de los cultivos atacados por nematodos del género *Meloidogyne* que están en complejo con el hongo *Fusarium oxisporum*. Los daños ocasionados por este complejo pueden producir pérdidas hasta en un 100%, los síntomas iniciales de una planta atacada por el complejo son: el bajo desarrollo de la planta, tallos delgados, amarillamientos en las hojas, enanismo, encrespamiento de hojas, marchitez prematura, destrucción del sistema vascular en las raíces, pudrición radical y muerte total de la planta.



FIGURA 8. NÓDULOS CAUSADOS POR *Meloidogyne* sp.

Manejo. No utilizar suelo infectado o lotes donde se hayan presentado los patógenos; desinfectar la semilla o semilleros, con productos nematicidas, extractos vegetales, bio-controladores existentes en el mercado, termoterapias de semilla; no hacer semilleros en piso; no dejar plántulas en el piso antes de ser llevadas al lote; drenar sitios donde se presenten encharcamientos.

Phytophthora infestans (Mont.) de Bary

Esta enfermedad foliar, conocida como “tizón tardío” o “gota” es considerada una de las enfermedades que más limita en la producción de tomate en las zonas tomateras, los factores o condiciones que favorecen su ataque son los cambios térmicos, temperaturas entre 15 a 20 °C y humedades entre 75% y 85% favorecen su ataque, este patógeno puede ser transmitido por semillas, el agua, herramientas, el viento y el hombre o simplemente puede sobrevivir en estado de micelio en plantas hospederas. Los síntomas se pueden presentar en hojas, frutos y tallos.



Las manchas se presentan en los sitios de ataque y pueden ser de color café, ladrillo o castaño; la apariencia inicial de la lesión puede ser verde pálido, húmeda, pero cuando la lesión es avanzada o madura presenta desarrollo de micelio tipo algodónoso. La Figura 9 presenta una hoja con síntoma inicial y un ataque parcial de *P. infestans* en el cultivo de tomate de mesa.



FIGURA 9. PLANTAS CON SÍNTOMAS DE *P. infestans*. IZQUIERDA: HOJA CON ATAQUE INICIAL. DERECHA: CULTIVO AFECTADO PARCIALMENTE.

Manejo. No usar altas densidades de plantas, mantener espaciamento entre surcos, hacer podas de hojas bajas, disminuir humedades dentro del invernadero o del cultivo, en lo posible eliminar los desechos de labores culturales hechas al cultivo como hojas, malezas, tallos, frutos, etc., y realizar aplicaciones de fungicidas protectantes a base de Mancozeb, productos biológicos y extractos vegetales, y seguir recomendaciones del técnico asistente.

Alternaria solani Sorauer

Se le conoce como “tizón temprano” o “amarillera”; también es una enfermedad foliar que ocasiona pudrición del fruto. Se considera uno de los patógenos más limitantes y de importancia económica en la producción de tomate. Puede afectar frutos y hojas entre otros órganos de la planta, los períodos húmedos y cálidos son esenciales para que se dispare el ataque de *Alternaria*, pues es muy fácil su diseminación por la lluvia, el viento, el hombre, las herramientas, el movimiento de materiales contaminados y la semilla contaminada procedente de plantas infectadas. *Alternaria solani* presenta lesiones en formas anilladas; la mancha es de color café ladrillo, en el centro de la mancha se presenta un punto más intenso de color ladrillo transparente, sobre el punto de lesión se desarrolla la esporulación del hongo, en semilleros puede producir lesiones en el tallo de plántulas ocasionando la muerte total de la planta, en la Figura 10 se puede observar una hoja atacada por *Alternaria solani*.





Manejo. Mantener buenas densidades de siembra y podas constantes de hojas viejas bajas, con esta práctica se favorecería la entrada de aire al cultivo; controlar arvenses dentro del cultivo. Cuando se presente alta incidencia de la enfermedad se deben retirar frutos, ramas, hojas del sitio del cultivo, con el fin de disminuir la incidencia de la enfermedad. Una recomendación para evitar el problema de este patógeno es tratar la semilla con productos químicos, biológicos o extractos de plantas antes de hacer los semilleros.

FIGURA 10. LESIÓN EN HOJA OCASIONADA POR *Alternaria solani*.

Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary

Llamada “moho blanco” o “esclerotinia”, esta enfermedad se presenta ocasionalmente en cultivos de tomate; sin embargo, el cultivo que más ataca es el pimentón. En la Sabana de Bogotá se encuentra este patógeno atacando algunos cultivos de tomate bajo invernadero, su severidad de ataque hace que se presenten pérdidas hasta de un 20% de las plantas cultivadas. En los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca se ha encontrado atacando cultivos de tomate bajo invernadero.

En la Figura 11 (izquierda) se observan las estructuras reproductivas del hongo las cuales se encuentran dentro del tallo; este patógeno ataca raíces, tallos y en ocasiones frutos. El síntoma inicial se evidencia en las hojas las cuales presentan un marchitamiento total de la planta. *Sclerotinia* ataca principalmente el tallo causando una pudrición acuosa.



FIGURA 11. IZQUIERDA: ESCLEROCIOS EN PLANTAS DE TOMATE BAJO INVERNADERO. DERECHA: PLANTA ATACADA POR *Sclerotinia* sp. MALFORMACIÓN DE FRUTOS.



Manejo. Debido a la forma de supervivencia de este patógeno, el cual sobrevive en el suelo mediante esclerocios, se recomienda tratar el suelo por medio de solarizaciones y tratamientos térmicos con temperaturas entre 40 y 50 °C antes de ser utilizado para semilleros; se recomienda incorporar al suelo productos biológicos a base de *Trichoderma*. Manejar densidades de siembra entre plantas, las podas y los deshojes son prácticas que pueden disminuir el inóculo. Cuando se presente el síntoma en plantas, éstas deben erradicarse, cortarse en trozos, introducirse en bolsas plásticas, cerrar y exponerlas al sol (solarización seca), práctica que induce la rápida descomposición de los tejidos de las plantas y la muerte del hongo. El control químico se recomienda hacerlo mediante aspersiones tempranas de productos a base de Carbendazim + Iprodione (Tamayo, P. y Jaramillo, J., 2006).

Botrytis cinerea Pers.

Causante del moho gris, esta enfermedad es muy constante en una gran diversidad de cultivos entre ellos tomate de mesa, pimentones y ají, en invernadero se considera este patógeno un gran problema cuando se dan condiciones para su desarrollo. En condiciones de campo este patógeno puede producir epidemias en cultivos, cuando se da la condición de extensas y prolongadas lluvias. Los ataques de *B. cinerea* más severos se presentan cuando el cultivo está finalizando la etapa de producción, entonces se amplía su rango de hospedero atacando tallos, hojas, flores, frutos entre otros órganos de la planta (Figura 12) (Pava *et al.*, 2002).



FIGURA 12. DAÑO DE *Botrytis cinerea* Pers. EN FLORES DE TOMATE BAJO CUBIERTA.

Manejo. Las podas programadas y deshojes reducen el inóculo; la recolección de las partes afectadas; control de arvenses; después de estas labores se recomienda realizar aplicaciones de productos biológicos existentes en el mercado como son los biocontroladores a base de *Trichodermas*; se pueden alternar estas prácticas con aplicaciones de químicos de baja categoría como Benomil, Iprodione, Clortalonil entre otros, las dosis que se utilizarán deben ser las recomendadas por el técnico o agrónomo asistente.

Otras enfermedades fungosas

Existen reportes sobre otras enfermedades que atacan el tomate, entre ellas se pueden mencionar: *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Verticillium* sp., *Oidium* Link (mildeo polvoso) o *Oidiosis scalia* (mildeo polvoso), *Stemphylium solana* Weber, *Cladosporium* Link, *Cladosporium fulva*, etc. (Tamayo, P.J., 1993).

1.4.3 Enfermedades abióticas del tomate

Pudrición terminal del fruto. La aparición de este síntoma se relaciona con niveles deficientes de calcio en el fruto, aunque el estrés hídrico y la salinidad también influyen en su aparición al momento del llenado, pero se expresa al momento de la cosecha.

Golpe de sol. Se produce como una pequeña depresión en los frutos acompañada de manchas blanquecinas; para prevenirlo se debe evitar la eliminación de las hojas que ofrecen sombreado al racimo.

Cara de gato. Se caracteriza por frutos que presentan protuberancias entre las cuales se observan bandas de tejido corchoso en forma de cavidades (arrugas) que penetran profundamente dentro del fruto. Generalmente ocurre por polinización deficiente en un ambiente con temperaturas bajas y humedad relativa alta. Para prevenir este problema se recomienda hacer polinización mecánica.

Rajado de frutos. Las principales causas de esta alteración son desequilibrios en los esquemas de riego y fertilización, además de descensos bruscos de temperaturas nocturnas después de días de calor.

Manchado. Se trata de la aparición de coloraciones anormales e irregulares en la parte externa del fruto que pueden ser manchas de color verde pálido a zonas absolutamente decoloradas, las cuales se asocian con baja intensidad lumínica, temperaturas bajas, alta humedad del suelo, exceso de nitrógeno y falta de potasio.

1.5 Etapas fenológicas del cultivo de tomate bajo invernadero

El trasplante de las plántulas se realiza cuatro (4) ó cinco (5) semanas después de haber sembrado las semillas en las bandejas, siempre y cuando el suelo presente buena humedad.

Cuando la flor está totalmente desarrollada, luego de la fecundación y la polinización, el tiempo requerido desde el cuajamiento del fruto hasta que éste se desarrolla completamente oscila entre siete y nueve semanas dependiendo de la variedad cultivada y las condiciones ambientales. En la Tabla 1 se muestran las diferentes etapas en el cultivo de tomate bajo invernadero.



TABLA 1. ETAPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO.

PERÍODO FENOLÓGICO	Días
DESARROLLO VEGETATIVO	DE 0 A 20-30
INICIO DE FLORACIÓN	DE 20 A 30
INICIO DE CUAJE DE FRUTOS	DE 36 A 42
INICIO DE COSECHA	DE 98 A 105
PERÍODO DE PRODUCCIÓN	DE 98 A 200
TOTAL	DE 220 A 215



2. RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-CLIMA



Para llevar a cabo un manejo eficiente del agua en la producción del tomate bajo cubierta debe tenerse en cuenta, no sólo los parámetros básicos como el agua, el suelo, la planta y el clima, sino las interacciones que deben existir entre estos elementos y el equilibrio entre ellos.

2.1 El suelo

Además de ser el sustento físico de la planta, el suelo cumple con dos funciones fundamentales para la producción del cultivo: en primer lugar aporta los nutrientes químicos y en segundo lugar sirve como medio de almacenamiento del agua. Para conocer la aptitud de un suelo para el cultivo de tomate bajo invernadero es necesario analizar su fertilidad, así como algunas características físicas como la textura, la densidad, la porosidad y la capacidad de retención del agua.

2.1.1 Fertilidad

Los invernaderos se pueden instalar en gran variedad de suelos, pero para el caso del tomate protegido los terrenos ideales son aquellos que presentan textura franca y altos contenidos de materia orgánica.

La preparación del terreno requiere arar y rastrillar el suelo para obtener condiciones físicas adecuadas que faciliten el establecimiento de las plantas y el desarrollo del sistema radical.

Cuando se aplica materia orgánica adicional es importante conocer la composición física y química, así como el grado de salinidad del material que se va a utilizar a fin de definir la dosis a emplear. También es necesario que la materia orgánica haya sido debidamente compostada para evitar que las plantas se contaminen (Figura 13).

Además, es necesario conocer las necesidades nutricionales del cultivo y elaborar un plan de fertilización basado en un estudio de suelo para hacer los correctivos. Inicialmente, las mayores necesidades del cultivo son de nitrógeno y fósforo, los cuales promueven el crecimiento de las plantas. Más adelante, a medida que comienza el desarrollo de los frutos, aumentan los requerimientos de elementos como potasio y magnesio.





FIGURA 13. LOS SUELOS TÍPICOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ USADOS PARA EL CULTIVO DE TOMATE SON RICOS EN MATERIA ORGÁNICA.

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos con textura franca y altos contenidos de materia orgánica. El pH más apropiado debe oscilar entre 6.2 y 6.8. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad, tanto del suelo como del agua de riego. La conductividad eléctrica óptima está entre 1.5 y 2.0 dS/m.

Para el manejo adecuado del agua es necesario el conocimiento de algunas características físicas de los suelos entre las que sobresalen las propiedades hidrodinámicas (retención de humedad, densidad aparente y real, infiltración, aireación, etc.) que son de utilidad para determinar los niveles reales de almacenamiento de agua en el suelo que sustenten la producción de cultivos.

La productividad y sostenibilidad de los suelos dependen también en gran parte de un manejo adecuado de las propiedades físicas, las cuales determinan además la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Entre las propiedades físicas de los suelos de mayor importancia para el cultivo de tomate se cuentan la textura, la densidad y la porosidad.

2.1.2 Textura

La textura del suelo se relaciona con el tamaño de las partículas minerales que lo integran y, más específicamente, con la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas (arenas, limos y arcillas). Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de los nutrientes sino también de agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas.

Si un suelo tiene cantidades aproximadamente iguales de arena, limo y arcilla, posee textura franca y se trata de suelos medianos. Éstos son ricos en nutrientes, no se encharcan y son fáciles de cultivar. Se dice que son los mejores suelos para la producción agrícola.

2.1.3 Densidad

La densidad es un término que expresa la masa por unidad de volumen de una sustancia; en suelos, esta propiedad se determina bajo dos formas: la densidad aparente y la densidad real.

Densidad aparente

La densidad aparente es una de las características del suelo de gran importancia. Se define como la relación entre la masa seca y el volumen total del suelo e incluye el espacio poroso; las unidades de medida son gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) (IGAC, 2006).

El valor de la densidad aparente es muy importante en la determinación de la fertilidad pues permite evaluar la masa de la capa arable, calcular el espacio poroso cuando se conoce la densidad de las partículas y estimar el grado de compactación del suelo (Figura 14). Además, en la toma de decisiones de riego la densidad aparente sirve para determinar la lámina de agua aprovechable; también se utiliza como parámetro para clasificar los suelos orgánicos de aquellos derivados de cenizas volcánicas (IGAC, 2006).



FIGURA 14. MUESTREADOR UHLAND PARA TOMA DE MUESTRAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE. IZQUIERDA: DISPOSITIVO DESARMADO. DERECHA: DISPOSITIVO ARMADO (LUTHIN *ET AL.*, 1967).

Los valores de la densidad aparente pueden variar desde valores muy bajos de $0.3 - 0.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ en los suelos con alto contenido de materia orgánica o suelos arcillosos, hasta valores altos de $1.3 - 1.8 \text{ g}/\text{cm}^3$ en suelos con textura arenosa o compactados (Suárez, G., 1986).

Según Gavande, S. (1987), los suelos con densidad aparente de 1.9 g/cm³ limitan el desarrollo radical. Sin embargo, el límite crítico para la penetración de las raíces en suelos arcillosos es de 1.6 a 1.7 g/cm³.

Densidad real o densidad de los sólidos del suelo

La densidad de las partículas es la masa (peso) por unidad de volumen de las partículas sólidas del suelo sin incluir el espacio poroso; la unidad de medida es el gramo por centímetro cúbico y el rango de valores varía entre 2.3 y 2.7 g/cm³, siendo su valor medio de 2.65 g/cm³. El análisis de la densidad aparente del suelo es importante porque permite calcular la porosidad total.

2.1.4 Porosidad

La porosidad total del suelo es el espacio ocupado por el agua y el aire. La porosidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde, η : Porosidad total (%)
 ρ_b : Densidad aparente del suelo (g/cm³)
 ρ_r : Densidad real (g/cm³)

La porosidad es una característica física importante para el movimiento y retención del agua en el suelo, y depende del tamaño y arreglo del espacio poroso. La principal característica física relacionada con la porosidad es la estructura. El mejor tamaño de los agregados que representa un equilibrio entre los macroporos y los mesoporos está comprendido entre 1 y 3 mm. En estas condiciones hay un suministro de aire adecuado para el desarrollo de los cultivos (Suárez, G., 1986).

2.1.5 Retención de humedad y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo

La capacidad de retención de agua es una de las características más importantes del suelo para cultivos ya que determina la cantidad y frecuencia de los riegos. Las fuerzas que determinan el potencial de humedad del suelo son la adhesión, es decir el grado de atracción de agua por el suelo, la cohesión o fuerza de atracción de las moléculas del agua entre sí y la combinación de las dos anteriores dentro de los microporos (Suárez, G., 1986).

A partir de las curvas hidrofísicas (curvas de retención de humedad) se pueden determinar las constantes de humedad del suelo: capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) (Figura 15).



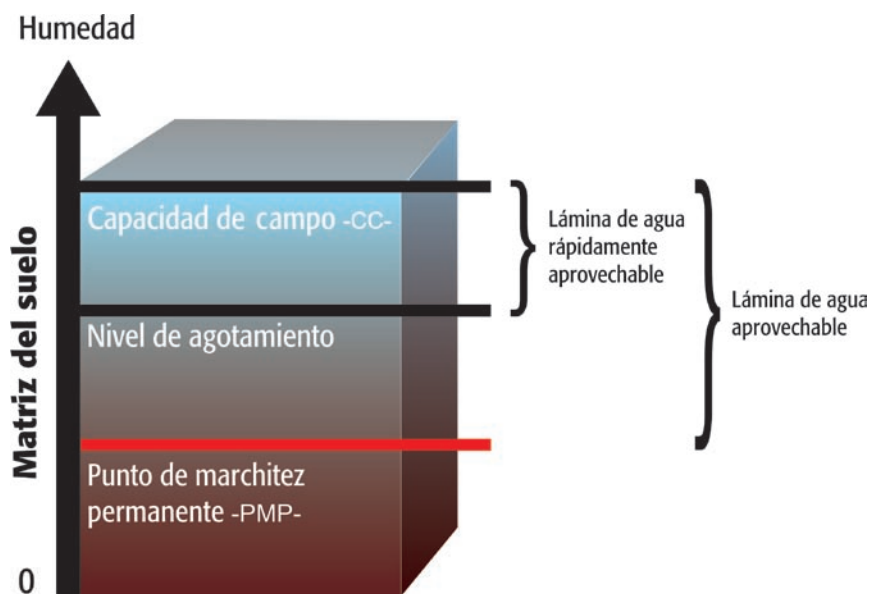


FIGURA 15. ESQUEMA DE LA MATRIZ DEL SUELO CON LOS NIVELES DE HUMEDAD.

La capacidad de campo (CC) se define como el contenido de humedad del suelo que se alcanza dentro de los tres días siguientes a un riego o precipitación abundantes cuando la velocidad de movimiento vertical ha decrecido sustancialmente (Suárez, G., 1986). Los métodos para determinar la capacidad de campo en el laboratorio son las cámaras de succión, la humedad equivalente y las columnas de Colman; por su parte, en campo se utilizan métodos gravimétricos.

El estado de capacidad de campo (CC) es la situación más favorable para el desarrollo de los cultivos, ya que hace disponible una gran cantidad de agua retenida por el suelo, la cual genera una baja energía de succión que es superada fácilmente por las raíces, a la vez que se dispone de aire abundante para la respiración de las raíces (Fuentes, J., 1996).

A partir de la capacidad de campo, el agua del suelo se va perdiendo progresivamente por evaporación y absorción por las plantas. Llega un momento en el que las plantas ya no pueden succionar el agua que necesitan y se marchitan irreversiblemente. Se dice entonces que el suelo ha alcanzado el punto de marchitez permanente (PMP). Este estado marca el límite inferior de aprovechamiento del agua del suelo por las plantas y se puede determinar en el laboratorio a través de cámaras de succión y platos de presión, y en el campo, con plantas indicadoras como el girasol.

2.2 El clima

El clima es el aspecto más importante que se debe tener en cuenta para hacer eficiente el uso del agua; en producción bajo cubierta el clima puede ser controlado favoreciendo los desarrollos fisiológicos de la planta y optimizando el nivel de consumo de agua.

Del clima dependen varios elementos algunos de los cuales pueden ser manejados en el invernadero; tal es el caso de la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad relativa y la evapotranspiración. Las condiciones climáticas pueden ser monitoreadas con una estación climática o simplemente por termómetros ubicados dentro del invernadero (Figura 16).

2.2.1 Necesidades climáticas de la planta

La planta de tomate es termoperiódica, lo que significa que crece mejor cuando está sometida a temperaturas variables que constantes, facultad que varía con la edad de la planta. Así, diferencias noche/día de 6 a 7 °C se han reportado como óptimas. La temperatura promedio ideal para el cultivo del tomate varía según la luminosidad, siendo mayor la temperatura a más elevados niveles de radiación. En términos generales, la temperatura promedio óptima recomendada se sitúa entre 18 y 22 °C, siendo el promedio más elevado el más apropiado cuando se cuenta con buenas condiciones de luminosidad. Temperaturas promedio mayores de 25 °C pueden causar la caída de las flores, limitar el cuajado del fruto, afectar la fructificación por inadecuado desarrollo de los óvulos, así como el desarrollo de la planta en general y del sistema radical en particular. Esto será más severo en condiciones de baja luminosidad.

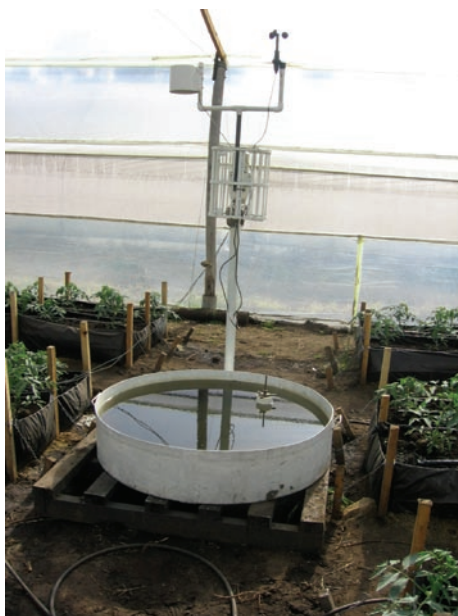


FIGURA 16. TANQUE EVAPORÍMETRO “TIPO A” Y ESTACIÓN CLIMÁTICA EMPLAZADOS DENTRO DE UN INVERNADERO PARA PRODUCCIÓN DE TOMATE.

La humedad relativa óptima oscila entre 60% y 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y causan agrietamiento del fruto y dificultades para la fecundación debido a que el polen se compacta abortando parte de las flores. El rajado del fruto puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o por riego abundante tras un período de estrés hídrico. La humedad del aire también tiene una influencia directa en la fecundación: valores elevados, especialmente con poca iluminación, pueden reducir la viabilidad del polen. El rango óptimo de humedad relativa para la polinización está entre 60% y 85%; debajo de éste se reducen las características pegajosas del estambre, lo que puede reducir la adhesión y germinación del polen. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

En las condiciones de la Sabana de Bogotá, la temperatura es el mayor limitante para la producción de tomate seguido del nivel de radiación. En clima medio, donde la temperatura es más elevada y cercana a la ideal para el cultivo del tomate, la radiación solar será el factor de mayor impacto sobre la productividad. En efecto, se sabe que una baja intensidad luminosa puede reducir la productividad; la cobertura plástica reduce la luminosidad entre 20% y 40%, por lo que en lugares con baja radiación se puede presentar un problema potencial.

La concentración natural de CO₂ en el aire se considera suficiente para una buena productividad del cultivo del tomate, mientras que en ambientes completamente cerrados y con control total de la atmósfera interna, el enriquecimiento del ambiente con CO₂ favorece la producción.

2.2.2 La radiación solar

Para manejar la luminosidad natural del invernadero deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Utilizar materiales de cubierta con buena transparencia.
- Orientar adecuadamente el invernadero. Para la Sabana de Bogotá se recomienda la orientación norte-sur preferiblemente, en sentido transversal a la dirección predominante del viento.
- Usar materiales que reduzcan las sombras interiores.

2.2.3 La temperatura del aire

Es el factor que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente, la temperatura óptima para las plantas de tomate se encuentra entre 18 y 20 °C, siendo la mínima biológica de 10 a 13 °C y la máxima tolerable de 28 a 32 °C.

La temperatura en el interior del invernadero depende de la radiación solar, la clase de cubierta, la ventilación y el diseño del invernadero (altura y tipo). En la Sabana de Bogotá se debe controlar las variaciones excesivas de la temperatura ambiente entre el día y la noche por medio de cortinas que se puedan cerrar en las horas de la noche.

2.2.4 La humedad relativa del aire

Existe una relación inversa entre la temperatura y a la humedad relativa. Cuando la temperatura es elevada, aumenta la capacidad del aire para retener partículas de agua y, por lo tanto, la humedad relativa disminuye. Por el contrario, cuando baja la temperatura la humedad relativa aumenta.



Cada especie agrícola tiene una humedad ambiental idónea para llevar a cabo su desarrollo vegetativo en condiciones apropiadas; el tomate se desarrolla mejor cuando cuenta con una humedad relativa entre 55% y 60% (Castillo, F. *et. al.*, 1996).

Cuando la humedad relativa es excesiva se reduce la transpiración en las plantas; por lo tanto, disminuye su crecimiento, se producen abortos florales por aglutinación del polen y existe mayor susceptibilidad a las enfermedades. Por el contrario, cuando la humedad relativa es baja las plantas transpiran en exceso provocando deshidratación y problemas durante el cuajamiento del fruto.

A corto plazo la humedad relativa se refleja en el balance hídrico de la planta (absorción y transpiración) y en el balance de carbohidratos (fotosíntesis y respiración), procesos fisiológicos que aportan agua y energía para su crecimiento. A su vez, el balance hídrico influye en el transporte de minerales, en el balance energético del invernadero y en el desarrollo de los tejidos aéreos. De estos procesos dependerá la estrategia de control del clima a corto plazo.

2.2.5 Evaporación y evapotranspiración

Es el fenómeno por el cual el agua que se encuentra en el suelo regresa a la atmósfera en forma de vapor; cuando en dicha medida se incluye la pérdida de agua por parte de las plantas se denomina evapotranspiración (E_{vt}) y, en la práctica, corresponde al agua que se le debe suministrar al cultivo mediante el riego. Esta evapotranspiración se define como:

$$E_{vt} = K_c * E_v \quad (2)$$

Donde K_c es llamado coeficiente del cultivo e indica el nivel de los requerimientos hídricos del cultivo durante su ciclo de vida en función de la evaporación presente. Por su parte, E_v es el valor de la evaporación, el cual se obtiene mediante el tanque evaporímetro “Tipo A”; éste consiste en una bandeja de volumen conocido que contiene agua y es revisada diariamente con el objetivo de verificar cuánto se ha evaporado durante ese lapso de tiempo (Figuras 16 y 34).

2.2.6 Recomendaciones sobre manejo del clima

Si la temperatura desciende a cero grados o menos, los cultivos pueden sufrir daños; esta es una de las razones por las cuales en la Sabana de Bogotá se prefiere la producción bajo cubierta. Según Castillo, F. *et al.* (1996) la temperatura mínima letal para el tomate está entre 0 y 4 °C.

En este sentido, hay que aprovechar el efecto positivo que ofrece el invernadero de mantener las temperaturas del aire y del suelo, lo que favorece el desarrollo de las raíces y de la parte aérea de las plantas.

Las aberturas o roturas de la cubierta plástica hacen perder calor al invernadero, pues el aire tibio comienza a escapar a través de ellas generándose enfriamiento interno. Como el aire caliente es más liviano asciende a la parte alta del invernadero, mientras que el aire frío, que es más pesado, se mantiene en la parte baja lo que daña aún más las plantas. Para evitar esta



situación, el invernadero debe permanecer perfectamente cerrado durante las horas de menor temperatura ambiental de manera que se conserve la temperatura interior.

En las noches, o durante las temporadas de invierno, es recomendable usar estufas eléctricas o a gas, aserrín, leña o parafina, con el fin de mantener la temperatura adecuada para el desarrollo de los cultivos.

Cualquiera que sea el sistema de calefacción que se emplee, es muy importante inducir la circulación del aire dentro del invernadero mediante ventiladores, a fin de obtener una mejor distribución del calor para favorecer todas las plantas.

En zonas con corrientes de aire muy frías es conveniente instalar cortinas cortavientos alrededor del invernadero; así, se evita que el aire helado entre en contacto con las cubiertas laterales de los invernaderos, las enfríe y reduzca la temperatura interior de la estructura.

2.3 El agua

El agua en la Sabana de Bogotá es un recurso limitado para la producción agrícola en general y, en particular, para la producción de hortalizas. En el sector agrícola se resaltan los sistemas de producción de flores como los pioneros en cultivos protegidos y los que mayor manejo del agua han tenido.

2.3.1 La precipitación

Es importante resaltar que para la producción de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá es necesario caracterizar el clima local y, en especial, la precipitación; aunque el cultivo no se encuentra a libre exposición, los niveles de lluvia medidos en la finca o en una estación climática cercana arrojan información importante para estimar el reabastecimiento de acuíferos, caños, ríos veredales, lagunas y acequias; se usa para tomar decisiones respecto del llenado de reservorios y la captura de aguas lluvias para posteriormente ser usadas en la producción agrícola.

En la Sabana de Bogotá la precipitación promedio es variable; se ha observado que, en general, las estaciones localizadas en los cerros tienen una precipitación promedio mayor que las localizadas en la Sabana misma; en estas últimas estaciones también es notorio que la precipitación anual promedio tiene un margen de variación bastante amplio (555 mm a 1.220 mm) (IGAC – ORSTOM, 1984).

2.3.2 Fuentes de agua en la Sabana de Bogotá

Las fuentes de agua en la Sabana de Bogotá son limitadas; sin embargo, las pocas existentes han permitido que la Sabana cuente con sistemas de producción bien establecidos como las flores y la lechería del trópico alto, además de otros sistemas como el cultivo de papa, entre otros.

Las principales fuentes de agua que han venido abasteciendo los sistemas agrícolas establecidos en la Sabana son la precipitación, las aguas superficiales procedentes principalmente



de la red de los ríos tributarios del Bogotá, las pequeñas lagunas o represas existentes en la zona y las aguas subterráneas. En la actualidad se estima que la extracción de agua de capas subterráneas puede requerir perforaciones con profundidades que van desde los 150 a 300 m.

Para producción de cultivos, excluidas las flores, Yachiyo, Co. *et al.* (2002) reportan que la disponibilidad de agua en la Sabana de Bogotá en el año 2015 será de 43,5 m³/s para aguas superficiales y 0,22 m³/s para el caso de aguas subterráneas.

2.3.3 Sistemas de captación de aguas lluvias

Una alternativa viable para regularizar el suministro de agua al cultivo es la “cosecha de aguas lluvias” o captación de la precipitación en la finca, lo cual se puede hacer mediante el aprovechamiento del agua que escurre de los techos de los invernaderos (Figura 17). Se procede evaluando la precipitación histórica ocurrida en la zona durante un determinado tiempo, la época de ocurrencia y la alternancia de períodos de lluvia y sequía; el objetivo es captar este recurso y dirigirlo a reservorios apropiados, previamente diseñados con un volumen acorde con el área de captación, los requerimientos del cultivo y las precipitaciones esperadas.



FIGURA 17. RESERVOIRIO DE AGUAS LLUVIAS COLECTADAS CON BASE EN CUBIERTAS DE INVERNADEROS.

2.3.4 Calidad del agua

Debido a los altos índices de uso de agua a nivel doméstico e industrial que tiene la Sabana de Bogotá, el sector agrícola debe recurrir algunas veces al uso de aguas con algunos problemas de calidad. Por esta razón es necesario realizar los análisis estándar de agua para riego (conductividad eléctrica, cationes y aniones, y relación de absorción de sodio –RAS-) procedentes de las fuentes usadas, los cuales pueden extenderse a análisis más específicos si se considera



pertinente (metales pesados, microbiológicos, etc.). En el caso de que la fuente de agua requiera de un proceso de depuración antes de ser usada en el riego es necesario costear dicho sistema de tratamiento e incluirlo dentro del plan de amortización de la deuda o la inversión.

2.4 La planta



FIGURA 18. PLANTAS DE TOMATE EN INVERNADERO.

Los procesos que regulan la circulación del agua a través de la planta son la transpiración y la absorción (Figura 18).

2.4.1 La transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera (Allen, R. *et al.*, 2006).

La intensidad de la transpiración vegetal está condicionada por una serie de factores, unos dependientes de las condiciones atmosféricas y otros de la planta. Los primeros son la humedad relativa y temperatura del aire, la velocidad del viento y la radiación solar. Los segundos se refieren a las condiciones de eficiencia fotosintética, las resistencias estomatal y aerodinámica.

2.4.2 La evaporación

En la Sabana de Bogotá se han constatado evaporaciones promedio de 2.2 a 3.3 mm/día en cultivos de tomate a libre exposición (Yachiyo, Co. *et al.*, 2002). De acuerdo con investigaciones realizadas por *CORPOICA* la evaporación que tiene lugar dentro de invernaderos con cobertura de polietileno está un milímetro por debajo de la que se presenta a libre exposición.



2.4.3 Factores del cultivo

Es importante recordar que el consumo hídrico depende del tipo de cultivo, la variedad cultivada y la etapa de desarrollo. Las diferencias en cuanto a resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo (es decir, la resistencia aerodinámica), el reflejo de la radiación, la cobertura del suelo y las características radicales del cultivo dan lugar a diferentes niveles de evapotranspiración (ET) en diversas especies cultivadas aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas (Allen, R. *et al.*, 2006).

2.4.4 La absorción

La absorción es el paso del agua desde el suelo hacia la planta a través de la raíz. El agua aprovechada por la planta es el agua disponible comprendida en la profundidad de suelo explorado por las raíces. El desarrollo del sistema radical depende de la especie cultivada y de las características del suelo. Los suelos de textura gruesa permiten mayor profundidad de raíces que los de textura fina.

2.4.5 El balance hídrico

El balance hídrico de la planta es el resultado de los ingresos y las pérdidas de humedad. Es más frecuente que las pérdidas superen los ingresos, en cuyo caso se produce un déficit hídrico cuyos efectos negativos dependen de su intensidad, duración y estado fenológico de la planta.

Un déficit de pequeña intensidad o escasa duración tiene poca repercusión y la planta se repone cuando se recupera la situación normal. Es el caso, por ejemplo, del déficit que experimentan muchas plantas durante las horas de máxima insolación de un día caluroso. Cuando el déficit hídrico es importante en duración o intensidad, las hojas adquieren una consistencia flácida y la planta empieza a marchitarse, con el consiguiente efecto negativo sobre el rendimiento del cultivo y su calidad.



FIGURA 19. EL TENSIÓMETRO PUEDE SERVIR PARA ESTIMAR LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA EVALUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO.

El tensiómetro (Figura 19) es un aparato que posee un tubo, el cual en uno de sus extremos tiene una cápsula porosa de cerámica que se inserta en el suelo de forma que quede íntimamente relacionada con las partículas del suelo; en el otro extremo tiene un vacuómetro (medidor en forma de reloj) que registra la tensión de succión del agua que ocurre dentro del suelo medida en centibares. En condiciones de suelo seco el vacuómetro presenta lecturas altas y cuando el suelo está húmedo las lecturas serán bajas. Es importante tener en cuenta que el tensiómetro tiene un rango de operación aceptable con humedades cercanas a la capacidad de campo.

La mayoría de las plantas atraviesa por unos períodos críticos durante los cuales las necesidades de agua son mayores, de tal modo que si no absorben la cantidad precisa la producción se resiente notablemente. Estos períodos críticos suelen coincidir con períodos de rápido crecimiento, la floración y la formación de frutos y semillas. De aquí la importancia de conocer las diferentes fases de crecimiento del cultivo de tomate bajo invernadero, para determinar en cuál momento es necesaria la aplicación de riego (Fuentes, J., 1996).

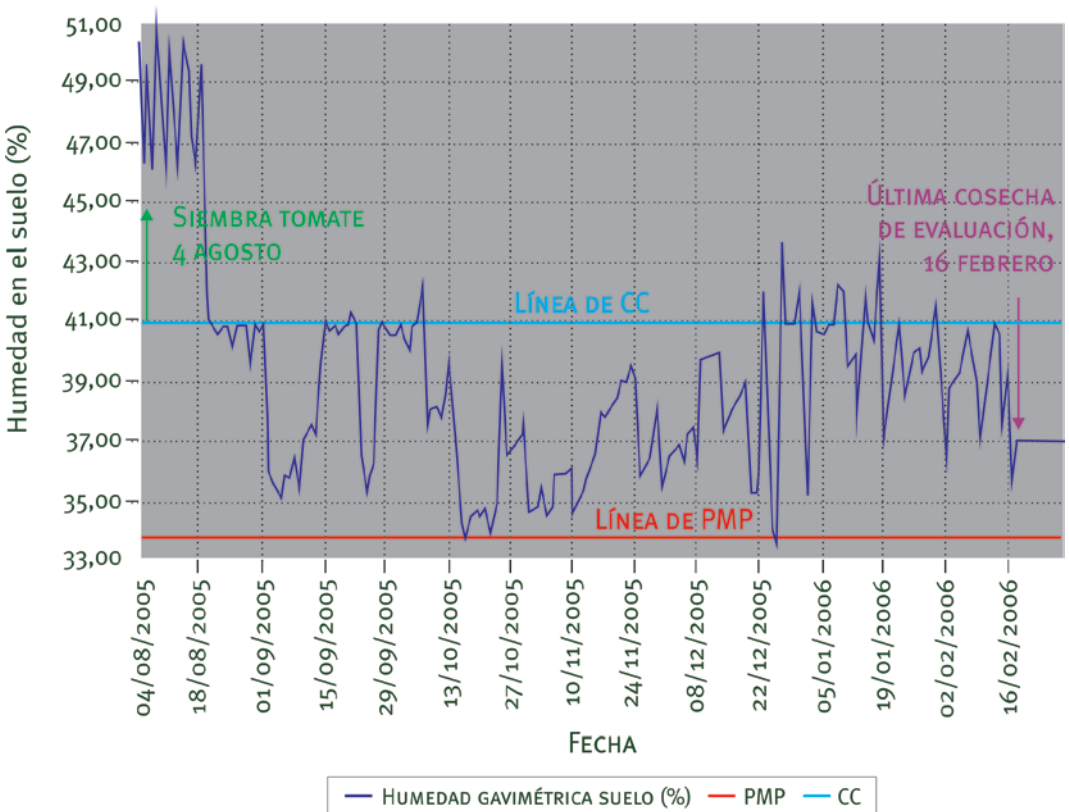


FIGURA 20. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO DE UN INVERNADERO PARA PRODUCCIÓN DE TOMATE VARIEDAD ROCÍO, PARA UN TRATAMIENTO DE RIEGO DE 1.4 DE LA EVAPORACIÓN DEL TANQUE “TIPO A” EN EL C.I. TIBAITATÁ.



La Figura 20 muestra el comportamiento de la humedad del suelo como resultado del cálculo del balance hídrico realizado en la investigación que determinó los requerimientos hídricos en tomate larga vida variedad Rocío en un invernadero del C.I. Tibaitatá.

Se utilizó el Modelo Automático de Balance Hídrico Agrícola (MABHA) (Terán, C., 2004) el cual calcula el balance hídrico del suelo evitando que la humedad del mismo sobrepase los límites de capacidad de campo (CC), en cuyo caso habría sobre riego, así como déficit hídrico bajo el punto de marchitez permanente (PMP) situaciones en las cuales la planta estaría presentando estrés hídrico. La Figura 20 muestra una humedad alta al principio del ciclo que fue provocada para favorecer el enraizamiento en la época del transplante.



3. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO DEL TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ



Desde el trasplante hasta el inicio de la floración, los riegos deben ser cortos y frecuentes de modo que se pueda mantener un nivel apropiado de la humedad en los primeros 15 cm del suelo donde se están desarrollando las raíces. El período más crítico para el riego tiene lugar desde el inicio de la floración hasta el momento en que los primeros frutos comienzan a madurar. Nunca se debe dejar que el suelo se seque demasiado y luego aplicar grandes cantidades de agua pues esta práctica puede ocasionar daños en la planta.

3.1 Requerimientos hídricos del cultivo

Es importante resaltar que los requerimientos hídricos del tomate bajo cubierta establecidos en esta investigación dependen en gran medida de las condiciones del invernadero utilizado; en efecto, el tipo de material, las condiciones de ventilación, ubicación y orientación, las condiciones del suelo, la humedad interna, determinan los requerimientos hídricos del cultivo. Los resultados que se obtuvieron fueron derivados a partir de un invernadero típico utilizado en la región para la producción de tomate (Figura 21).



FIGURA 21. EXPERIMENTO DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN TOMATE BAJO CUBIERTA. CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ, 2005-2006 (MOSQUERA, CUNDINAMARCA).



Se probaron varias láminas de riego usando un sistema de riego por cintas cuyas características se detallan más adelante. Las láminas fueron obtenidas como porcentaje de la evaporación del tanque “Tipo A” y sus valores fueron de 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 y 1.6. El resultado de la investigación arrojó que la lámina proyectada (ciclo total) con la que se obtuvo el mejor rendimiento fue de 832.5 mm/ciclo¹ para el tratamiento de 1.4 de ET, con un riego promedio de 2.7 mm/día, con lo cual se logró una producción 40 t/ha para los cuatro primeros racimos en la variedad Rocío (Figura 22).

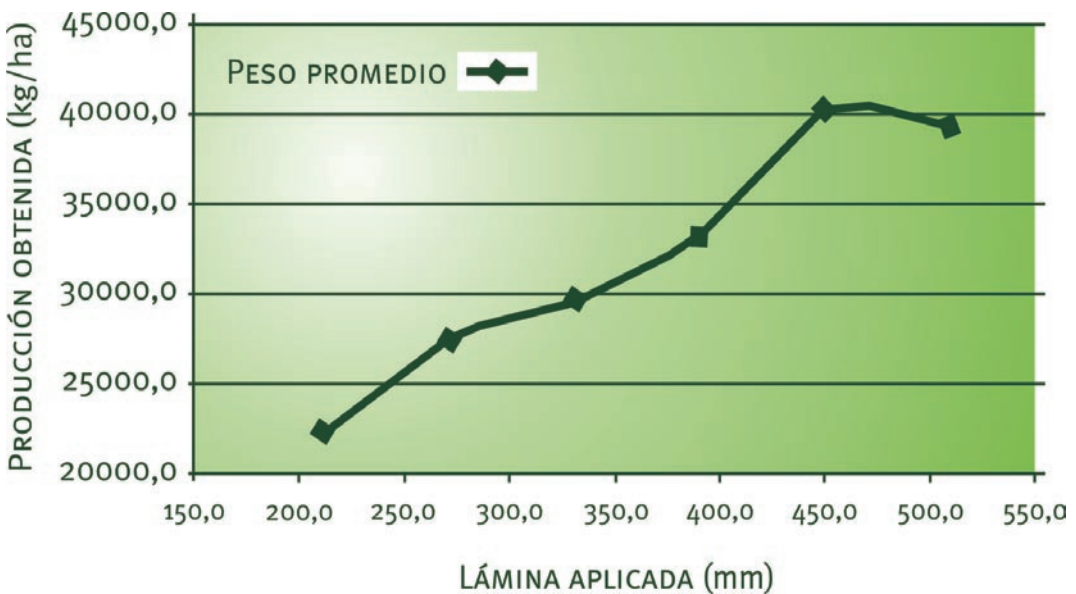


FIGURA 22. PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA (VARIEDAD ROCÍO) OBTENIDA EN FUNCIÓN DE LA LÁMINA DE AGUA APLICADA DE LA VARIEDAD ROCÍO PARA LOS CUATRO PRIMEROS RACIMOS EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

3.2 Coeficientes del cultivo a través del ciclo vegetativo

Los coeficientes del cultivo (K_c) determinan la proporción de riego que debe suministrarse al cultivo teniendo en cuenta su estado fenológico (Vergel *et al.*, 2004).

La Figura 23 muestra la curva de evapotranspiración de referencia, con la cual se determinó la potencialidad evapotranspirativa dentro del invernadero ubicado en la Sabana de Bogotá. Predominan algunas condiciones climáticas internas, las cuales no superan los 2.5 mm/día ni son inferiores a 0.5 mm/día, conservando un nivel promedio de 1.5 mm/día aproximadamente bajo las condiciones controladas del invernadero.

¹ Se estima que el ciclo de tomate sea de 34 semanas.



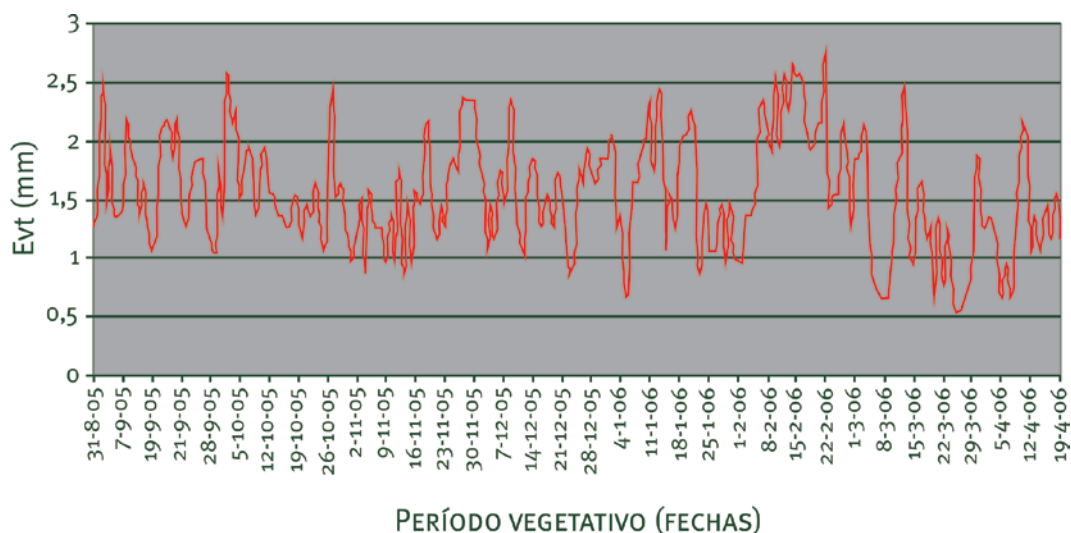


FIGURA 23. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA CALCULADA POR EL MODELO DE PENMAN-MONTEITH PARA INVERNADEROS EN LA SABANA DE BOGOTÁ (PERÍODO DEL CICLO DEL CULTIVO EVALUADO) (ET EN mm).

Según la curva de evapotranspiración real (Figura 24), es posible mejorar tanto los rendimientos como disminuir el volumen de agua aplicado, pues al usar la curva se obtiene un promedio ponderado de 1.9 mm/día para un total de 448.0 mm/ciclo. La Figura 24 muestra que la mejor producción se obtuvo para el tratamiento de 1.4 de ET; sin embargo, debido a que la planta no requiere este nivel de agua durante todo el ciclo, se estima que se puede optimizar, tanto la producción como la irrigación, con el uso de la curva de evapotranspiración. En esta curva se pueden observar cuatro niveles los cuales se pueden resumir así:

1. Fase de establecimiento: 0.8 desde el transplante hasta el inicio del desarrollo, 13 días, aproximadamente.
2. Fase de desarrollo vegetativo hasta inicio de formación de frutos: con 1.1 desde el día 14 al día 57, aproximadamente.
3. Fase de inicio de floración hasta formación del primer racimo: con 1.3 desde el día 60 hasta el día 92 aproximadamente.
4. Fase de cosecha: con 0.9, que va desde el día 93 aproximadamente en adelante.



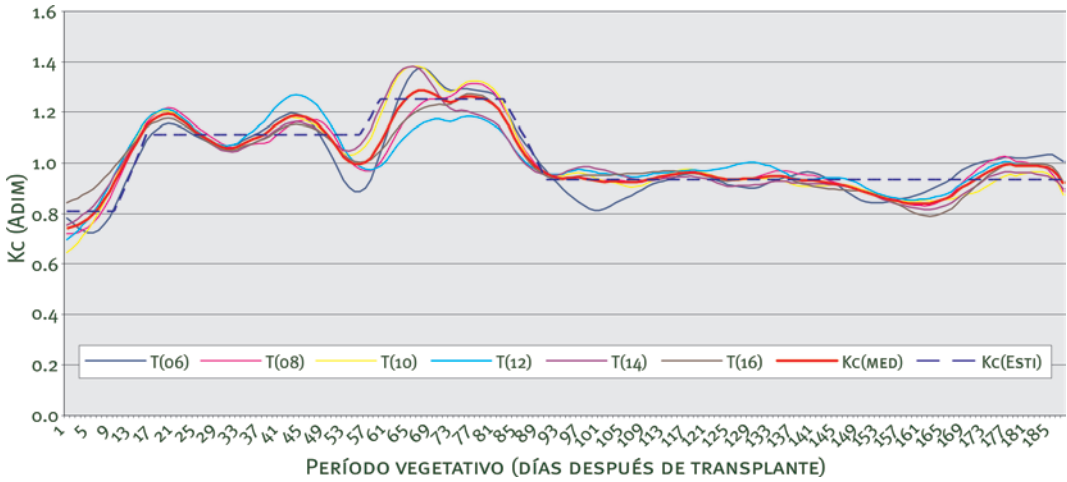


FIGURA 24. CURVA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL TOMATE VARIEDAD ROCÍO BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ. CADA UNA DE LAS CURVAS REPRESENTA LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS; LA CURVA ROJA (Kc MED) SE REFIERE AL PROMEDIO DE LOS REQUERIMIENTOS OBTENIDOS Y LA AZUL (Kc EST) MUESTRA LOS Kc REFERENCIADOS SEGÚN LAS RECOMENDACIONES DE LA FAO (ALLEN, R. *et al.*, 2006).

Esta última etapa se encontró acorde con lo expresado por Yaacov Bar Am (2002) quien afirma que unos diez días antes de comenzar la cosecha debe reducirse la dosis de agua entre 20% y 30 %, lo cual mejorará la calidad del fruto.



4. RIEGO POR GOTEO EN TOMATE BAJO CUBIERTA



El sistema de riego más utilizado y recomendado para el cultivo de tomate bajo invernadero es el de riego por goteo. En la actualidad se utiliza la cinta de riego por su economía y diversas ventajas de manejo; el sistema utiliza una cinta de riego por cada línea de plantas, la cual posee emisores cada 10 ó 20 cm. La ventaja de utilizar este método es que funciona a bajas presiones lo que permite una aplicación uniforme del agua al cultivo y baja potencia electromotriz (Figura 25) (Castañón, 2000).



FIGURA 25. RIEGO POR GOTEO CON CINTA PARA TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

4.1 Ventajas del riego por goteo

El sistema de riego por goteo tiene las siguientes ventajas sobre algunos otros métodos de riego:

1. Requiere un emparejamiento mínimo de la superficie del terreno. Esta labor es necesaria para prevenir problemas de drenaje superficial, los cuales pueden presentarse con las lluvias; también es necesaria para acomodar cualquier equipo especial de labranza utilizado.



2. La uniformidad de distribución de agua puede ser muy alta (0.90) en terrenos razonablemente adecuados y con un excelente diseño, ya que ésta depende sólo de la hidráulica y del diseño más que del manejo y/o de las diferencias de suelo.
3. Los sistemas de riego por goteo pueden instalarse en parcelas de cualquier tamaño y forma. Además, se adaptan muy bien a ambientes bajo cubierta con limitaciones de espacio.
4. En general, no hay que enfrentar problemas de escorrentía superficial.
5. Se tiene la capacidad de aplicar riegos con alta frecuencia sin sacrificar la uniformidad de distribución, como sí ocurre con los métodos de riego en superficie; así mismo, reduce las pérdidas por evaporación excesivas, como acontece en el método de riego por aspersión. Los riegos de alta frecuencia como el goteo, permiten el mantenimiento de una humedad óptima en la zona de raíces, lo cual reviste especial importancia cuando se emplean aguas salinas o en cultivos de raíces poco profundas.
6. Los fertilizantes pueden ser aplicados directa y uniformemente a la zona de raíces en cualquier estado de crecimiento y cualquier dosificación, sin humedecer el follaje de las plantas.
7. La porción superior de la zona de raíces suele mantenerse húmeda, lo que favorece la toma de nutrientes como el fósforo y el amonio, los cuales típicamente se concentran cerca de la superficie del suelo. Esta simple ventaja es probablemente de excepcional importancia para el mejoramiento de la producción de algunos cultivos.

Tal como ocurre con cualquier otro método de riego, una operación apropiada depende de un buen diseño, un buen equipo y un mantenimiento óptimo.

4.2 Desventajas del riego por goteo

1. Obturación de los emisores causada por partículas sólidas en suspensión en el agua y por el depósito de sales disueltas, además de la obstrucción producida por algas, bacterias e insectos.
2. La uniformidad de distribución puede degradarse rápidamente con el tiempo debido a causas estándar, tales como filtrado insuficiente de agua, el lavado de tuberías laterales y/o la inyección de fertilizantes.
3. El sistema de goteo es muy susceptible al daño causado por el vandalismo.
4. A pesar de que a menudo existe el potencial para obtener excelentes resultados (ahorros de agua, eficiencia en la fertilización, optimización de la producción), éstos solamente pueden lograrse con diseño y manejo excelentes del sistema. Es frecuente que a regadores y agricultores les tome varios años desarrollar habilidades de manejo promedio. Por fortuna, muchos productores desean aprender por completo las técnicas de operación del riego cuando son expuestos a un nuevo método de riego.
5. El agua debe estar disponible para el sistema en forma frecuente y confiable.



6. Asumiendo eficiencias similares, los costos de energía para instalación y operación de los sistemas de riego por goteo son generalmente mayores que para métodos de riego por superficie en terrenos planos. No obstante, la eficiencia global en el uso de energía puede ser superior en el riego por goteo/microaspersión, si se tiene en cuenta que hay reducción de la cantidad de fertilizantes aplicados y que la producción se mejora; en forma similar, los requerimientos de energía pueden ser menores en sistemas de riego por goteo/microaspersión, si se necesita una menor adecuación de la superficie del terreno.

7. El sistema de riego por goteo puede implicar costos iniciales muy altos dependiendo de la tecnología que se escoja.

8. La disminución de la superficie mojada, en los casos de falta de suministro de agua, tiene como inconveniente una muy rápida aparición de estrés hídrico en el cultivo, especialmente cuando se aplican riegos de alta frecuencia. Este punto debe ser tenido en cuenta en el diseño para evitar interrupciones en el riego no dependientes de la instalación, como puede ser la falta de fluido eléctrico.

4.3 Descripción del sistema de riego por goteo

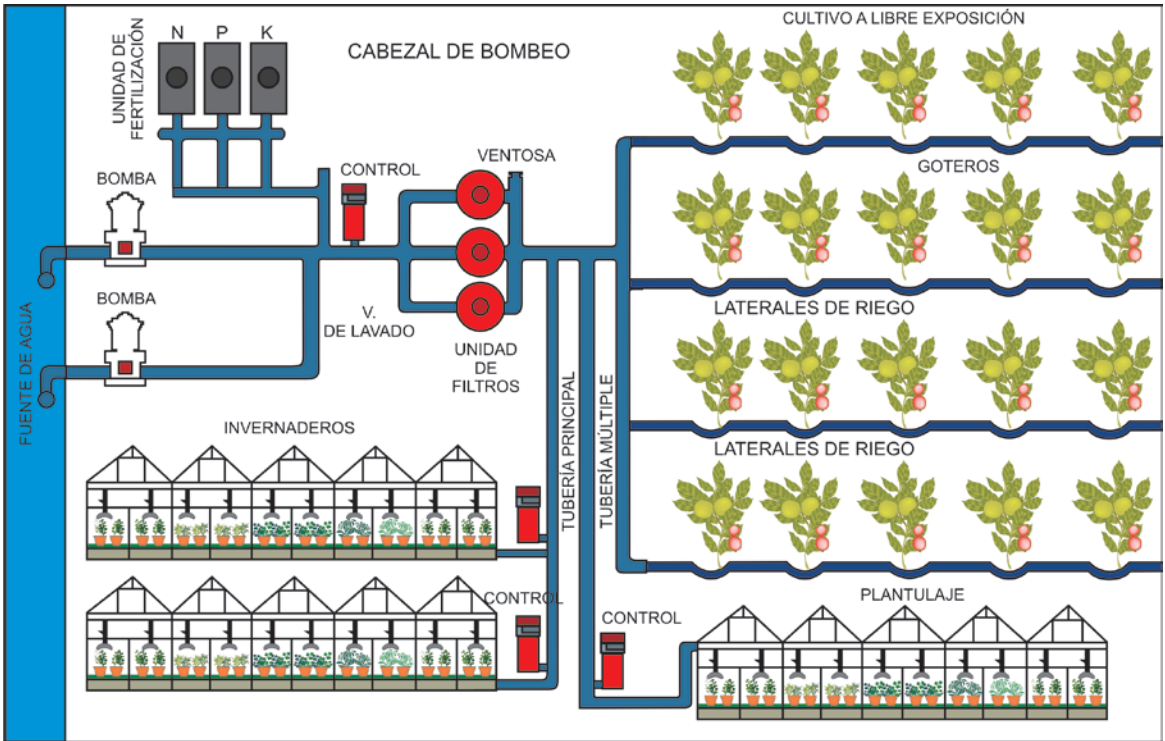


FIGURA 26. ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA TOMATE: EN LA PARTE SUPERIOR DERECHA SE ILUSTRAN UN SISTEMA A LIBRE EXPOSICIÓN, MIENTRAS EN LA PARTE INFERIOR SE OBSERVA EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO BAJO INVERNADERO.



4.3.1 Cabezal de control

Compuesto por el equipo de bombeo, el dispositivo de inyección de fertilizantes, el sistema de filtrado, controles, tanques, válvulas, etc. En la Figura 27 se presenta un cabezal para un sistema de riego por goteo para tomate protegido en la Sabana de Bogotá.



FIGURA 27. CABEZAL DE CONTROL O BOMBEO PARA UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA TOMATE EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

Equipo de bombeo. Tiene como función suministrar la energía necesaria de trabajo en la instalación.

Equipo de inyección de fertilizantes. Permite la incorporación de elementos nutritivos directamente al agua de riego.

Sistema de filtrado. Incluye todos los elementos necesarios para evitar la entrada de sustancias en suspensión en las redes de riego. Entre los más conocidos se encuentran los filtros de arena, de mallas y de discos.

Los filtros de arena son tanques a presión, los cuales se llenan con algún tipo de arena con gradación de partículas. La mayoría de los filtros de arena usados en agricultura son del tipo vertical en lugar de horizontal. La arena es retenida en el tanque por un drenaje subyacente, el cual tiene orificios pequeños que no permiten la salida de las partículas de arena, aunque sí permiten que el agua limpia pase hacia el sistema de riego. La entrada al interior del tanque está equipada con algún tipo de platina difusora cuya función es esparcir uniformemente el agua que ingresa sobre el lecho de arena (Figura 28).



FIGURA 28. CONJUNTO DE FILTROS DE ARENA.

Los filtros de arena han sido tradicionalmente los más populares cuando se deben depurar aguas sucias. Son excelentes para remoción de material orgánico y con frecuencia se les prefiere cuando hay una carga de suciedad de material orgánico y/o inorgánico elevada. La profundidad del lecho de arena proporciona un proceso de filtrado de tres dimensiones en comparación con el filtro de mallas, lo que permite mayor capacidad de retención de basuras. Las arcillas y los limos muy finos usualmente no son removidos por los filtros de arena usados en agricultura.

Por su parte, los filtros de mallas están constituidos por cilindros metálicos o de material plástico anticorrosivo, que llevan en su interior una serie de discos concéntricos de mallas, los cuales debe atravesar el agua para depositar en ellos las partículas en suspensión (Figura 29).





FIGURA 29. FILTRO DE MALLAS.

Finalmente, en los filtros de discos, el elemento filtrante consta de anillos ranurados múltiples con un hueco en el centro; cuando estos discos se disponen herméticamente juntos, forman un cuerpo filtrante cilíndrico el cual tiene alguna semejanza con una malla tubular profunda (Figura 30). El grado de filtrado depende del número de ranuras en cada uno de los anillos; las opciones típicas corresponden al tamaño de tamices 40, 80, 120, 140 y 200. Comúnmente los anillos se codifican por color para fines de identificación. La posición de las ranuras de cada disco en relación con los discos adyacentes es al azar, de manera tal que se forme algo así como una matriz de varias mallas.



FIGURA 30. CONJUNTO DE FILTROS DE DISCOS.

Los filtros de discos se seleccionan con frecuencia para caudales muy pequeños, menores de $5.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ (25 galones/minuto, GPM), debido a que tienen una capacidad de retención de suciedad mucho mayor que las mallas y a que los filtros de tanques de arena no se encuentran generalmente a precios razonables para pequeños caudales. Las unidades pequeñas a menudo están compuestas de sólo un elemento de filtro, el cual debe desensamblarse y limpiarse manualmente con una manguera y agua a presión.

Controles. Existen un conjunto de controles orientados a múltiples usos y que cumplen variadas funciones dentro del sistema de riego, como los controles de presión y las válvulas de distribución y de aire.

Los reguladores de presión son imprescindibles para evitar variaciones de presión en los ramales de riego, debidas a las diferentes condiciones de funcionamiento, y para obtener una buena eficiencia de riego (Figura 31).



FIGURA 31. VÁLVULA DE DISTRIBUCIÓN Y VÁLVULA DE ALIVIO DE AIRE.

Las válvulas de distribución son de utilidad para sectorizar el riego y para evitar que, en caso de mal funcionamiento o de roturas, ocurran pérdidas innecesarias; así mismo, permiten el correcto funcionamiento de las zonas o sectores no afectados en los que no se interrumpe el riego.

Por su parte, las válvulas de aire son esenciales en los sistemas de riego por goteo por las siguientes razones:

1. Regulan la salida de grandes volúmenes de aire al arrancar el sistema lo que previene roturas y bloqueos por acción del aire y del golpe de ariete. Esto ocurre con válvulas especiales, las cuales funcionan sólo antes de que el sistema esté bajo presión.
2. Salida continua de aire después de que el sistema ha sido presurizado. De nuevo, las válvulas son necesarias para prevenir el golpe de ariete y los bloqueos por aire. Esto requiere una válvula de aire especial la cual tiene un orificio más pequeño que el de las válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.
3. Previenen la creación de vacíos en las líneas después de apagado el sistema. En general, la función de alivio de vacíos es parte del diseño de válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.



4.3.2 Red de distribución

Comprende las tuberías principales y secundarias que conducen el agua desde el cabezal a la red de riego. Dichas tuberías suelen ser de PVC o mangueras de polietileno de baja densidad.

Los diámetros utilizados dependen del diseño previo, el cual debe ser proporcional al tamaño de la instalación, a la distancia respecto de la toma de agua y al caudal manejado.

4.3.3 Red de riego

Comprende el múltiple y las líneas de riego, que son las conducciones que tienen los emisores o dispositivos que suministran el agua (Figura 32).



FIGURA 32. TUBERÍA MÚLTIPLE DE DISTRIBUCIÓN EN UNA NAVE DE INVERNADERO PARA TOMATE.

La selección de las líneas de riego depende de su longitud y de las necesidades de cada cultivo. El material más utilizado es el polietileno sobre el cual pueden ir insertados los emisores; previamente se debe especificar al fabricante la separación entre éstos. Los diámetros comerciales más utilizados son de 12 y 16 mm. Para estas mangueras se utilizan goteros con caudales que van desde 1 L/h hasta 12 L/h siendo los caudales más utilizados los de 2 L/h; en el caso de cultivos más extensivos como frutales y árboles se utilizan caudales más altos.



En la actualidad el implemento más utilizado es la cinta de riego, la cual es de polietileno de menor calibre y viene en diámetros comerciales de 12 y 16 mm. Es más económica que la manguera de polietileno pero, a su vez, es más susceptible al deterioro; proporciona caudales más pequeños, uniformes y constantes que los goteros convencionales.

4.4 Instalación del sistema de riego por goteo

Con base en los requerimientos hídricos de la planta y los volúmenes de caudal disponible, y desde luego teniendo en cuenta las condiciones topográficas de la finca, se diseña y construye el sistema de riego.

En este manual se ha querido ilustrar cuál sería el diseño típico de un sistema de riego por goteo con mangueras perforadas de polietileno de baja densidad para una hectárea de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Tal disposición se presenta en la Figura 33, en la que se ilustra cuatro módulos con seis naves, cada una de 7 m × 60 m, de tal forma que cada módulo maneja un área de 2.520 m².

Se consideran distancias entre hileras de 0.8 m y entre plantas de 0.4 m pero se usan mangueras con perforaciones cada 0.2 m para un caudal de 0.5 L/h. Por lo tanto, cada nave tendría la posibilidad de manejar ocho mangueras aproximadamente, aunque se pueden disminuir para dejar espacio para los caminos de manejo del cultivo.

En el cabezal de bombeo se dispone un conjunto de reservorios para almacenamiento de aguas lluvias o provenientes de otras fuentes como por ejemplo un pozo profundo. Se utilizan tuberías principales de 2" de PVC y tuberías múltiples de 1" de PVC de 42 m de longitud con conexión central.

La disposición de cuatro módulos que se presenta en la Figura 33 está diseñada para optimizar los materiales usados; su área útil puede llegar hasta 10.080 m² y las dimensiones mostradas sólo se aplican a superficies totalmente planas. Las dimensiones del reservorio dependen de la disponibilidad hídrica de la finca y de los regímenes de precipitación y sequía locales.

Es importante recalcar que la Figura 33 es una disposición general; para cada caso específico se debe rediseñar según las condiciones de topografía (altimetría y planimetría) de la finca, sus condiciones ambientales locales, su disponibilidad hídrica, los materiales que se encuentren en la región y un análisis de costos que muestre las rentabilidades requeridas, etc.



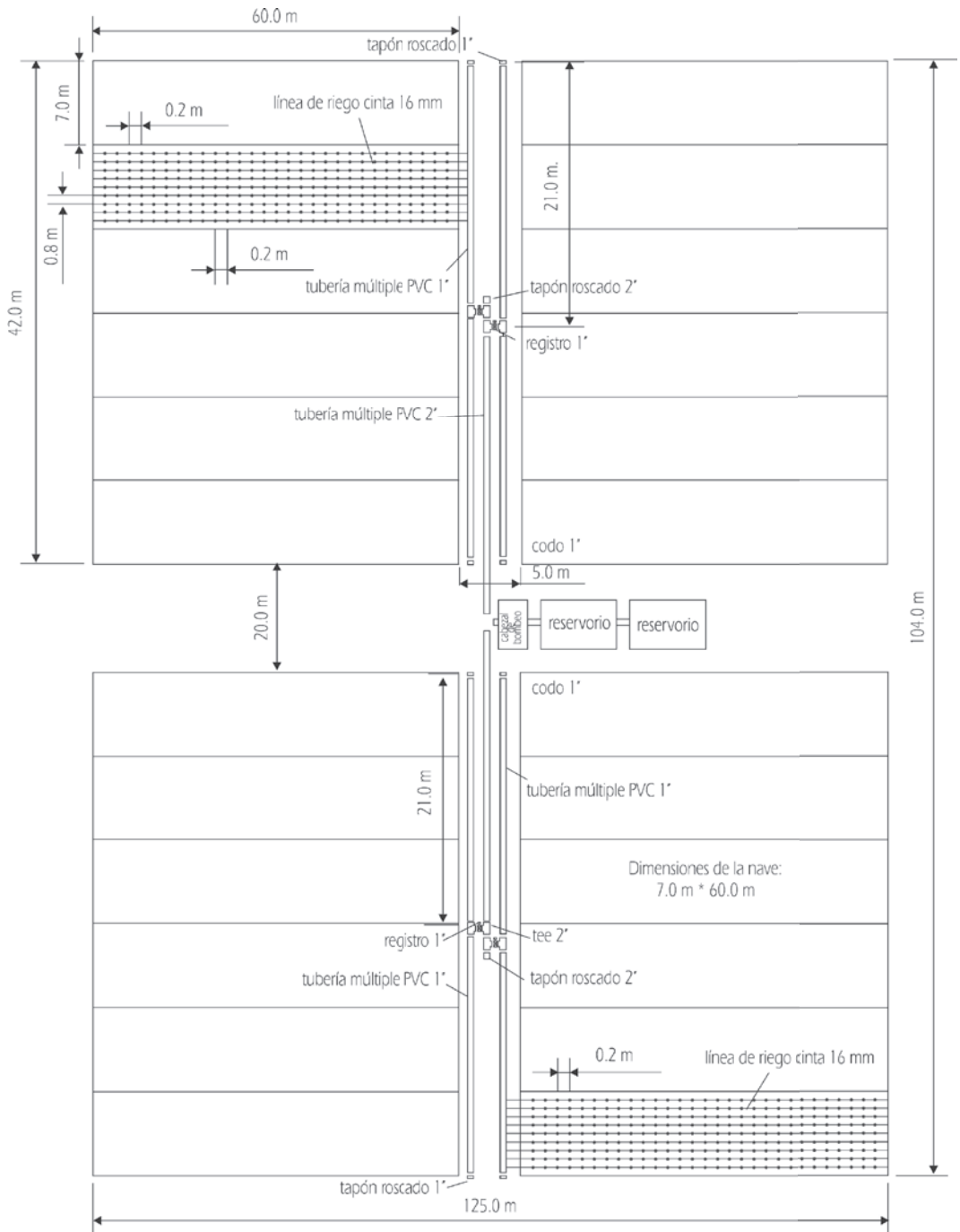


FIGURA 33. DISPOSICIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO CON CINTA PERFORADA, PARA PRODUCCIÓN DE UNA HECTÁREA DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.



4.5 Operación del sistema de riego

Un buen manejo debe asegurar que la cantidad de agua en el suelo no limite la transpiración de los cultivos. Por ello la frecuencia debe ser elevada, reponiendo el agua consumida con el fin de que ésta sea fácilmente absorbida por las plantas.

Para tener éxito en el manejo del riego por goteo para tomate bajo invernadero es necesario realizar un diseño previo de la instalación para lo cual se deben tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- Longitud del lateral del riego (cinta de riego).
- Materiales y disposición del múltiple.
- Caudal de la cinta.
- Regulación de presión.
- Separación entre laterales (cintas).
- Lavado.

4.5.1 Cantidad de agua a aplicar

Es indispensable tener la información de la evaporación diaria registrada dentro del invernadero. Para esto se deberá instalar un tanque evaporímetro “Tipo A”, el cual se presenta en la Figura 34.

Uso consumtivo. Tomando una evaporación promedio bajo invernadero de 2 mm/día y el Kc del cultivo determinado mediante la curva de evapotranspiración para cada etapa fisiológica, es posible determinar los requerimientos de agua o uso consumtivo.

El uso consumtivo se calcula de la siguiente manera:

$$UC = \frac{Ev * Kc * \%A}{e} \quad (3)$$

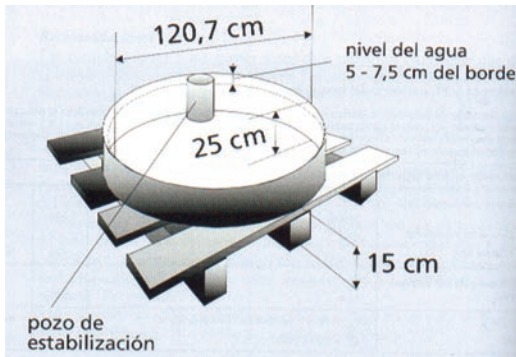
Donde:

- UC* : Uso consumtivo (mm/día)
Ev : Evaporación diaria (mm/día)
Kc : Coeficiente del cultivo (de acuerdo con la etapa fenológica)
%A : Porcentaje de área humedecida (%Dec)
e : Eficiencia del sistema de riego (%Dec)

Por ejemplo:

$$UC = \frac{2.08 \text{ (mm)} * 0.9 * 0.8}{0.9} = 1.664 \text{ mm/día} = 16.640 \text{ L/ha/día}$$





Fuente: Allen, R. et al. (2006).

FIGURA 34. TANQUE EVAPORÍMETRO “TIPO A”. IZQUIERDA: DIMENSIONES ESQUEMÁTICAS. DERECHA: EL OBSERVADOR ESTÁ ADICIONANDO LOS MILÍMETROS EVAPORADOS EL DÍA ANTERIOR.

Teóricamente se asume que la eficiencia del riego por goteo es del 90% aunque es recomendable realizar la evaluación en cada finca con el fin de realizar los ajustes necesarios al sistema de riego en el caso de que este valor sea menor.

Bajo las condiciones típicas del sistema de producción de tomate bajo cubierta, se tienen las siguientes características:

- Separación entre plantas = 0.40 m
- Ancho de surco = 0.5 m
- Separación entre surcos = 0.8 m
- Plantas por hectárea = 31.250 plantas/ha

Para evaluar el caudal requerido por planta, es necesario iniciar los cálculos con el caudal requerido por hectárea (Q/ha) y el caudal total (Q_T), así:

$$Q/ha = \# \text{ plantas} * \# \text{ emisores} * Q \text{ emisor} \quad (4)$$

$$Q/ha = 31.250 * 2 * 0.5 \text{ L/h} = 31.250 \text{ L/h} = 137.6 \text{ GPM}$$

$$Q_T = Q/ha * \text{Área (ha)} \quad (5)$$

$$Q_T = 137.6 \text{ GPM} * 2.520 \text{ m}^2 = 34.67 \text{ GPM} = 7.875 \text{ L/h}$$

$$\text{Requerimiento por planta} = \frac{UC}{\# \text{ plantas/ha}} \quad (6)$$

$$\text{Requerimiento por planta} = \frac{16.640 \text{ L/día/ha}}{31.250} = 0.532 \text{ L/día/planta}$$



4.5.2 Tiempos de riego

Es el tiempo en que dura la aplicación de agua de riego al cultivo. Durante este tiempo se lleva la humedad del suelo de la zona radical al nivel de capacidad de campo (CC), lo cual depende del caudal del gotero y del contenido de humedad del suelo al momento del riego.

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{Volumen aplicado}}{\text{Volumen a aplicar}} = \frac{\text{Requerimiento}}{\# \text{ emisores} * Q_e} \quad (7)$$

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{0.53 \text{ L/día/planta}}{2 * 0.5 \text{ L/h}} = 0.532 \text{ h/día/planta} \approx 30 \text{ min}$$

4.5.3 Frecuencia de riego

Es el intervalo de tiempo que transcurre entre la aplicación de dos riegos a la zona radical del cultivo.

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{\text{Lámina de agua aprovechable}}{\text{Transpiración}} = \frac{\text{LAA (mm)}}{\text{Evaporación} * K_c \text{ (mm/día)}} \quad (8)$$

La frecuencia y el tiempo de riego en el sistema de goteo se determinan bajo el criterio de que se debe reponer el agua perdida durante el día anterior; por lo tanto, el riego suele ser diario aunque algunas veces se deben aplicar varios riegos a través del día.

Una alternativa de utilidad en la toma de decisiones sobre la frecuencia del riego es la instalación de tensiómetros en el cultivo. A tensiones altas, debe aplicarse el riego, mientras que a tensiones bajas, debe detenerse el riego. Los valores de tensión se pueden calibrar con los primeros riegos; estos dispositivos pueden indicar tanto la frecuencia como el tiempo de riego (Figura 35).

FIGURA 35. TENSÍOMETROS DE RELOJ. VIENEN CON LONGITUDES 6, 12 Y 24 PULGADAS, PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES DE RAÍZ (EIJKELKAMP, SF).



5. FERTIRRIGACIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO INVERNADERO



La fertirrigación es el suministro de nutrientes a la planta mediante el agua de riego; los objetivos de la fertirrigación son disminuir la pérdida de los nutrientes, incrementar la absorción de los mismos y aumentar la producción y la rentabilidad.

5.1 Ventajas de la fertirrigación

- 1. Disminución de la mano de obra en la aplicación de los fertilizantes.** La aplicación manual es dispendiosa e inexacta. La aplicación mecánica es relativamente costosa y algunas veces ocasiona compactación del suelo y daños a las plantas.
- 2. Mejor distribución del fertilizante.** Las soluciones nutritivas se diluyen en forma homogénea en el agua de riego y esto hace que distribuya en la misma forma que el agua en la zona de raíces, mejorando la eficiencia y disminuyendo los costos.
- 3. Eficiencia en el uso y economía de los fertilizantes.** El suministro de los nutrientes en forma fraccionada aumenta la asimilación, disminuye las pérdidas por lavado y favorece un aprovechamiento más eficiente de los fertilizantes.
- 4. Control de la profundidad de aplicación.** De acuerdo con las características del suelo el fertilizante y el cultivo, algunas veces es conveniente aplicar los fertilizantes al finalizar el riego para evitar la lixiviación de los nutrientes en el perfil del suelo.
- 5. Dosis de aplicación y control.** Se pueden aplicar cantidades exactas; además, el sistema de fertilización puede conectarse bajo control automatizado en forma hidráulica, eléctrica, electrónica o sistematizada, usando programas específicos de fertilización.
- 6. Aplicación precisa de microelementos.** Estos nutrientes son costosos y por lo general se aplican en pequeñas dosis; por lo tanto, es necesario tener un sistema preciso y exacto para la aplicación eficiente.

5.2 Limitaciones de la fertirrigación

- 1. Compatibilidad de los fertilizantes.** La fertirrigación está indicada para fertilizantes en solución o para aquellos que sean solubles. No es apropiada cuando se utilizan fertilizantes poco solubles e insolubles; además, algunos fertilizantes no pueden ser mezclados, pues pueden producir interacciones químicas no deseadas o precipitaciones que puedan dañar o taponar las tuberías o los goteros.
- 2. Daños en partes metálicas del sistema.** Algunas de las partes metálicas de la red pueden dañarse por acción corrosiva de los fertilizantes, especialmente el equipo de fertirrigación.
- 3. Reacción de los fertilizantes en la red.** Existen algunos fertilizantes, especialmente los sulfatados, que pueden provocar precipitados en la red como reacción a niveles altos de pH en el agua de riego.
- 4. Obstrucción de las tuberías, emisores y mangueras.** Ésta es causada por incompatibilidades químicas en las sales utilizadas para preparar las soluciones o entre las sales y la calidad del agua de riego.
- 5. Salinización o sodificación del suelo.** Aumento excesivo de la salinidad del agua de riego por uso inadecuado de altas dosis de sales nutritivas.
- 6. Bajo desarrollo del sistema radical.** El sistema radical se concentra en la superficie del terreno puesto que las raíces encuentran fácilmente el nutriente cercano, lo cual desfavorece su desarrollo.

5.3 Componentes del sistema de fertirrigación

El equipo de fertirrigación consta de varios depósitos que contienen los elementos nutritivos, los inyectores venturi o bombas de inyección, los equipos automáticos de control, las electroválvulas y los sensores.

Para realizar una fertirrigación adecuada en tomate bajo cubierta, el técnico o el agricultor deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Realizar un análisis de suelos.
2. Establecer los requerimientos nutritivos del tomate, los cuales se orientan a la elaboración de soluciones nutritivas estándar.
3. Determinar las fuentes de los fertilizantes para la preparación de las soluciones nutritivas.
4. Revisar compatibilidad química entre los fertilizantes usados en las soluciones concentradas.



5. Elaborar la solución concentrada en la fertirrigación. Cálculos para determinar la cantidad del fertilizante requerido y su volumen en la solución.

6. Implementar el método para la aplicación de la solución concentrada al sistema.

5.4 Análisis de suelos

Se debe hacer un análisis químico del suelo para identificar los niveles de nutrientes que están disponibles en el suelo. Esto ayuda a identificar los elementos que se encuentran deficientes y que es necesario suministrar mediante la aplicación de la fertirrigación (Freid y Broeshart, 1967).

Se toma una muestra representativa del área a sembrar, la cual se compone de varias submuestras tomadas en forma aleatoria. Esta muestra debe ser de por lo menos un kilogramo de suelo, la cual se lleva al laboratorio y se solicita un análisis completo (N, P, K, Ca, Mg, Fe, S, Cu, Mn, Zn, B) para determinar los macronutrientes y micronutrientes, además de la salinidad (CE) y la acidez del suelo (pH y Al).

5.5 Soluciones nutritivas para el tomate

Como en el caso del agua, las plantas necesitan un nivel de nutrientes para su desarrollo normal. Respecto del tomate bajo cubierta existen recomendaciones sobre los diferentes nutrientes y sus niveles de suministro recomendados. No obstante el escaso número de investigaciones que se han realizado en esta área para Colombia, y específicamente para la Sabana de Bogotá, se dispone de alguna información la cual se presenta en el presente apartado.

Para la formulación de las soluciones nutritivas existen varias alternativas; las más utilizadas son aquellas que recurren a las tablas de requerimientos nutricionales establecidas a nivel internacional. Otra alternativa es basarse en los análisis de suelos, los requerimientos del cultivo, las fuentes de materias primas, con lo que se calculan las soluciones concentradas aplicadas al sistema de fertirrigación. En la Figura 36 se ilustra la preparación de las soluciones nutritivas para la fertirrigación.



FIGURA 36. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS ESTÁNDAR PARA LA FERTIRRIGACIÓN. IZQUIERDA: DOSIFICACIÓN CON PIPETA. DERECHA: DIFERENTES TIPOS DE SOLUCIONES PREPARADAS PARA SU ADMINISTRACIÓN MEDIANTE TRES TANQUES.



Los niveles de requerimientos nutricionales del tomate bajo cubierta que se han utilizado en Colombia se basan en investigaciones hechas por el Ministerio de Agricultura Holandés (1990); estos niveles fueron adaptados a nuestras condiciones por el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, ubicado en la Sabana de Bogotá. Además H.R.I. Little-Hampton, Sonneveld y Straver (1994) citados por Urresstarazu, M. (2004), quienes han trabajado en el ámbito europeo en concentraciones para hidroponía, presentan marcadas diferencias con la tabla de requerimientos anterior. La Tabla 2 muestra los elementos y la concentración de las soluciones que recomiendan estos autores.

TABLA 2. SOLUCIONES NUTRITIVAS ESTÁNDAR PARA TOMATE BAJO INVERNADERO.

ELEMENTO	HRI, LITTLE-HAMPTON (1994) (para hidroponía)	MIN AGRICULTURA HOLANDES CITADO Y ADAPTADO POR UJTL (1990) (para suelo bajo invernadero)	
	ppm ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$	ppm ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
N-NH ₄	20	0.5	7
NO ₃	200	9.4	132
N TOTAL	220	9.9	139
P	30	1	31
K	400	5	195
Ca	200	2	80
Mg	75	1.5	36
S		1.05	34
Fe	10	15	3.9
Mn	0.8-1.0	25	1.4
Cu	0.3-0.4	1.2	0.08
Zn	0.3-0.4	4	0.26
B	0.3-0.4	30	0.3
Mo	0.1	0.5	0.05
C ELÉCTRICA	3.5-4.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	1.25 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	

FUENTES: FUBJTL, CIAA (2001) Y URRESTARAZU, M. (2004).

Otro de los criterios para la determinación de las soluciones nutritivas son los niveles de requerimientos de nutrientes de acuerdo con varias fuentes como Corresponsal Internacional Agrícola -CIA- (1987), Freid y Broeshart (1967), IFA (1992) e ICA (1994). Esta última fuente hace referencia a recomendaciones que se deben aplicar de acuerdo con el análisis de suelo realizado previamente a la siembra del cultivo. La Tabla 3 muestra dichas recomendaciones.



TABLA 3. NIVELES DE REQUERIMIENTOS O RECOMENDACIONES NUTRICIONALES PARA TOMATE SEGÚN LOS AUTORES CITADOS (kg/ha).

NUTRIENTE	CIA (1987)	FREID, M.Y BROESHART (1967)	IFA (1992)	ICA (1994)*
N	140	170	100-150	25-75
P	28	25	9-17	66-98
K	157	275	124-248	41-62
Ca		150		
Mg	15	25	12-18	
S	30	22		

*Valores de recomendación deben ajustarse de acuerdo con el análisis de suelo.



5.6 Fuentes de los fertilizantes para fertirrigación

Las principales fuentes que generalmente se tienen en cuenta para la fertirrigación se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4. FUENTES DE FERTIRRIGACIÓN MÁS COMÚNMENTE USADAS.

FERTILIZACIÓN	GRADO	SOLUBILIDAD ($g \cdot l^{-1}$) A 20°C	% DEL ELEMENTO QUE APORTA
NITRATO DE AMONIO LÍQUIDO	21-0-0		21 N
ÚREA	46-0-0	1080	46 N
SULFATO DE AMONIO	21-0-0	800	21 N
FOSFATO DIAMÓNICO	18-46-0	400-950	18 N; 20 P
FOSFATO MONOAMÓNICO	11-53-0	220-950	11 N; 23 P
FOSFACEL-800	20-53-0		20 N; 23.1 P
NITRATO DE CALCIO	15-0-0-19		15 N; 19 Ca
NITRATO DE POTASIO	13-0-46	310-320	13 N; 38.3 K
CLORURO DE POTASIO	0-0-60	340	50 K
SULFATO DE POTASIO	0-0-50	110	41.6 K
SULFATO DE MAGNESIO	16% MgO	710	9.6 Mg
SULFATO DE COBRE			25 Cu; 11 S
SULFATO DE MANGANESO		500	28 Mn; 11 S
SULFATO DE ZINC		750	30 Zn; 12 S
SOLUBOR (BORAX)		50	20 B
AGRO-K	0-39-52		17 P; 22.7 K
KELATEX-Ca			9 Ca
KELATEX-Mg			9 Mg
KELATEX-Cu			9 Cu
KELATEX-Zn			9 Zn
KELATEX-Fe		90-220	9 Fe
KELATEX-Mn			9 Mn
MOLIBDATO DE AMONIO			54 Mo
COSMOCEL	20-30-10		20 N; 13.1 P; 8.3 K
FOSFATO MONOPOTÁSICO	0-53-34		23.1 P; 28.3 K
FOSFATO DIPOTÁSICO	0-41-54		17.9 P; 45 K

Fuente: SCCS (1997).

5.7 Compatibilidad química de los fertilizantes

Cuando se preparan las mezclas a partir de fertilizantes simples se debe tener en cuenta que los ingredientes sean químicamente compatibles. En el caso de los principales fertilizantes simples, por fortuna sólo hay pocas combinaciones que pueden tener problemas de interacciones químicas indeseadas.



Por ejemplo, las combinaciones de urea con superfosfato generalmente tienen compatibilidades limitadas, al punto que las muestras pueden tornarse completamente incompatibles dependiendo de la humedad del superfosfato. Se acostumbra a separar la aplicación del ácido fosfórico de la de fertilizantes cálcicos pues la mezcla tiende a precipitarse y a taponar tuberías y goteros.

La Tabla 5 presenta la compatibilidad química entre fertilizantes en solución concentrada. Muestra las combinaciones posibles entre fertilizantes y se identifican las combinaciones incompatibles con rojo y las que tienen problemas de solubilidad reducida con amarillo.

TABLA 5. COMPATIBILIDAD QUÍMICA ENTRE FERTILIZANTES EN LA SOLUCIÓN CONCENTRADA.

COMPATIBILIDAD QUÍMICA ENTRE FERTILIZANTES EN LA SOLUCIÓN CONCENTRADA	UREA	NITRATO DE AMONIO	SULFATO DE AMONIO	NITRATO DE CALCIO	NITRATO DE POTASIO	CLORURO DE POTASIO	SULFATO DE POTASIO	FOSFATO DE AMONIO	SULFATOS DE Fe, Zn, Cu, Mn	QUETATOS DE Fe, Zn, Cu, Mn	SUPERFOSFATO TRIPLE	SULFATO DE MAGNESIO	ÁCIDO FOSFÓRICO	ÁCIDO SULFÚRICO	ÁCIDO NÍTRICO
UREA															
NITRATO DE AMONIO															
SULFATO DE AMONIO															
NITRATO DE CALCIO															
NITRATO DE POTASIO															
CLORURO DE POTASIO															
SULFATO DE POTASIO															
FOSFATO DE AMONIO															
SULFATOS DE Fe, Zn, Cu, Mn															
QUETATOS DE Fe, Zn, Cu, Mn															
SUPERFOSFATO TRIPLE															
SULFATO DE MAGNESIO															
ÁCIDO FOSFÓRICO															
ÁCIDO SULFÚRICO															
ÁCIDO NÍTRICO															

INCOMPATIBLE = ■ SOLUBILIDAD REDUCIDA = ■

Fuente: SCCS (1997).



5.8 Elaboración y uso de la solución de fertirrigación

A partir de los resultados de los análisis de suelos se hace la interpretación con el fin de determinar la dosis y las fuentes de la fertirrigación.

Por ejemplo, en la Tabla 6 se muestran los resultados del análisis que reportó el Laboratorio de Química de Suelos de *CORPOICA* para un suelo del municipio de Tenjo (Cundinamarca), derivado de cenizas volcánicas y clasificado como Pachic Melanudands.

TABLA 6. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELO DE UNA MUESTRA PROVENIENTE DEL MUNICIPIO DE TENJO (SABANA DE BOGOTÁ).

FERTILIDAD													
MUESTRA	NUTRIENTE	M.O	P	S	K	Ca	Mg	CIC	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	UNIDADES	%	mg*kg ⁻¹		cmol*kg ⁻¹			mg*kg ⁻¹					
TENJO A	CONCENTRACIÓN	8.3	36	19	1.25	12	2.1	18.05	110	5.6	4	4.75	0.35
	INTERPRETACIÓN	MEDIA	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	BAJO	ALTO	MEDIO

ACIDEZ					SALINIDAD				
MUESTRA	UNIDADES	pH	AL+H	Al	SAT. Al	MUESTRA	UNIDADES	C.E	Na
			cmol+kg ⁻¹		%			dS*m ⁻¹	cmol+kg ⁻¹
TENJO A	CONCENTRACIÓN	6.3	0.25	0	0	TENJO A	CONCENTRACIÓN	1.8	2.55
	INTERPRETACIÓN	SIN PROBLEMAS DE ACIDEZ				TENJO A	INTERPRETACIÓN	SUELO SÓDICO 14.12 % PSI Na	

Fuente: Laboratorio de Suelos C.I. Tibaitatá, *CORPOICA*.

Según la publicación “Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación” del ICA (1994) se recomienda aplicar 75 kg/ha de nitrógeno, 150 kg/ha de P₂O₅, 20 kg/ha de K₂O, 10 kg/ha de sulfato de manganeso.

Las fuentes seleccionadas para suministrar estos requerimientos fueron las siguientes: nitrato de potasio (KNO₃), DAP (fosfato diamónico), sulfato de manganeso y sulfato de amonio.

5.8.1 Cálculos de las dosis de los fertilizantes en la solución concentrada

Para calcular cada uno de los elementos que se deben aplicar para la elaboración de la solución concentrada, se procede de la siguiente forma (ICA, 1988):

Se toma como ejemplo el cálculo de la cantidad de nitrato de potasio (KNO₃) requerida por el cultivo, el cual se encuentra en el fertilizante comercial de grado del fertilizante (13-0-44). En la tabla de resultados del Laboratorio de Suelos (Tabla 6) se observa un contenido alto de potasio (1.25 cmol*kg⁻¹); sin embargo, se recomienda una dosis de mantenimiento de 20 kg/ha de K₂O. Por lo tanto, se realiza una regla de tres, así:

De 100 kg de KNO₃ que tienen 44 kg de K₂O, ¿cuántos kg de KNO₃ se necesitan para obtener los 20 kg de K₂O que se requieren?

$$X = \frac{100 * 20}{44} = 45.5 \text{ kg de KNO}_3$$



Se necesita saber cuánto nitrógeno aportan los 45.5 kg de KNO_3 por lo cual se razona así:

De 100 kg de KNO_3 que tiene 13 kg de nitrógeno, 45.5 kg de KNO_3 ¿cuánto nitrógeno aporta?

$$X = \frac{45.5 * 13}{100} = 5.9 \approx 6.0 \text{ kg de nitrógeno}$$

De la misma forma se realizan los cálculos para el DAP (fosfato diamónico), el sulfato de manganeso y el sulfato de amonio (Tabla 7); es importante resaltar que debido a que el suelo es sódico, se utilizó el sulfato de amonio por su contenido de azufre el cual es un elemento indispensable para la recuperación de los suelos sódicos.

Para el caso del sulfato de amonio se aplicó una dosis de 12.32 kg para completar la dosis requerida de 75 kg/ha, recomendación derivada de la quinta aproximación (ICA, 1994), debido a que tanto el nitrato de potasio como el DAP aportaron conjuntamente 62.68 kg/ha.

El volumen de agua en litros (L) para la solución se calcula de la siguiente manera: se sabe que la solubilidad del producto es un parámetro dado por los fabricantes de los fertilizantes; para determinar la concentración se relaciona con la cantidad de fertilizante a aplicar que se acaba de calcular.

La solubilidad del nitrato de potasio es de 316 g/L por lo cual son 316 kg/1.000 L. Si se disuelven 316 kg de KNO_3 en 1.000 L, 45.5 kg de KNO_3 ¿en cuánta agua se disolverá?

$$X = \frac{1000 * 45.5}{316} = 143.9 \approx 144 \text{ Litros}$$

TABLA 7. CÁLCULOS DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTE Y VOLUMEN DE LA SOLUCIÓN CONCENTRADA EN LITROS POR HECTÁREA.

FERTILIZANTE	CONTENIDO	CANTIDAD	SOLUBILIDAD	CONCENTRACIÓN
	Grado	kg	g/L A 20 °C	L/ha
NITRATO DE K	13-0-44	45.5	316	144
FOSFATO DIAMÓNICO	18-46-0	326	413	789
SULFATO DE MANGANESO	28 Mn y 11 S	35	500	70
SULFATO DE AMONIO	21-0-0-24 (S)	58.66	800	73
TOTAL		465.16		1076

Finalmente se determina la concentración de nutrientes en el fertilizante líquido de esta forma:

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Cantidad total del fertilizante (kg)}}{\text{Total litros solución}} = \frac{465.16}{1.076} = 0.43 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \quad (9)$$



La solución de fertilizantes dependerá de los valores de pH y CE, los cuales deben ser monitoreados permanentemente de acuerdo con los requerimientos o tolerancia del cultivo: para el tomate la CE debe ser de 1.25 dS/m (FUJTL-CIAA, 2001), mientras que el pH óptimo para la producción de tomate está entre 6.2 y 6.8 (FUJTL-CIAA, 2001). En ocasiones se colocan dos sensores de cada tipo para contrastar las medidas; si sus lecturas son muy distintas, uno u otro no funcionan correctamente. Se recomienda limpiar y calibrar regularmente los sensores.

5.8.2 Método para aplicar la solución concentrada al sistema

Una vez elaborada la solución concentrada es necesario inyectarla al sistema de riego y aplicarla al cultivo; para ello existen dos clases de métodos disponibles:

1. Los que utilizan energía hidráulica proveniente del mismo sistema de riego como fuente de energía para su propulsión. Dentro de este grupo se tienen cuatro modalidades:
 - a. Inyección mediante succión de la bomba.
 - b. Inyección mediante presión diferencial.
 - c. Sistema venturi.
 - d. Uso de la bomba de inyección de propulsión hidráulica.
2. Los que utilizan una fuente de energía externa, tal como energía mecánica proveniente de un motor eléctrico o de combustión interna. Dentro de este grupo se tienen los siguientes:
 - a. Bombas inyectoras eléctricas.
 - b. Bombas inyectoras hidráulicas.
 - c. Controles electrónicos y transmisores de pulso.

La mayoría de los agricultores de tomate que usan la fertirrigación utilizan el sistema de presión diferencial propiciado por la cabeza de un tanque elevado que inyecta el fertilizante al sistema o usan la inyección mediante la succión de la bomba. Sin embargo, estos métodos tienen algunos inconvenientes como son:

1. La inyección se realiza previo al bombeo, lo cual causa daño por corrosión de la bomba.
2. Poca precisión en la tasa de inyección debido a que ésta se modifica con las variaciones de presión del sistema.
3. Incrementa los riesgos de contaminación de la fuente de agua.

Por estas razones se recomienda los sistemas que puedan tener mayor control en el momento de la inyección de los fertilizantes, como el método de venturi que es un dispositivo que utiliza la misma energía hidráulica del sistema y los métodos de controles electrónicos y transmisión de pulso. Sin embargo, estos últimos no son accesibles a la mayoría de los agricultores de tomate por lo cual se recomiendan los sistemas venturi, que son de reducido costo y fácil instalación y manejo. A continuación se describe el proceso de fertirrigación usando este sistema.



5.9 Sistema de inyección por venturi

Un inyector venturi consiste en un tubo por el que circula agua, el cual está conectado en paralelo a la tubería de suministro, provisto de un estrechamiento en el que aumenta la velocidad del agua y se genera una presión negativa. En la zona de estrechamiento el venturi lleva conectada una tubería cuyo extremo se introduce en un depósito con la solución a inyectar, la cual se encuentra a presión atmosférica. La depresión provoca la succión del líquido y su incorporación a la red. La Figura 37 presenta un sistema venturi usado para fertirrigación.

Sin embargo, para la fertirrigación con tubo venturi es necesario tener preparada previamente la solución concentrada, cuya composición depende como ya se dijo de los niveles de requerimientos nutricionales, fuentes y dosis que se aprendieron a calcular en el numeral 5.8.



FIGURA 37. SISTEMA VENTURI INSTALADO DENTRO DE LA TUBERÍA DE DESCARGA DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESIÓN.

5.9.1 Un solo tanque de fertilización (caso 1)

Ahora se necesita saber el volumen de la concentración, el cual depende del tanque que se dispone para preparar la disolución final de fertirrigación (Figura 38). En un ejemplo práctico se supone que el tanque de fertirrigación tiene un volumen de 1.500 litros (L) y la solución será inyectada al riego por medio de un sistema tipo venturi con las características requeridas para una hectárea de cultivo de tomate.

Las concentraciones que se requieren se presentan en la Tabla 7 (página 66), simplemente se multiplica por el volumen que se necesita (1.500 L) y así se obtiene la cantidad en gramos de cada compuesto que se debe pesar para obtener la solución deseada. Por ejemplo, para el nitrato de potasio se razonaría de la siguiente manera:

Peso de nitrato de potasio a considerar:

45,5 kg de KNO_3 se disuelven en 1.076 L ¿cuántos kg de KNO_3 se requieren para 1.500 L?

$$X = \frac{45.5 * 1.500}{1.076} = 63.43 \approx 63.5 \text{ kg de KNO}_3 \text{ que deben pesarse para disolver en el tanque de 1.500 litros.}$$

De la misma forma se calcula para cada uno de los compuestos o nutrientes a utilizar.



FIGURA 38. TANQUE DE FERTILIZANTES (OBSERVE LA MARCA DE 500 L, LA CUAL DEPENDE DE LAS CONDICIONES AGRONÓMICAS Y DIMENSIONES DEL CULTIVO).

Una vez realizados todos los pesajes se procede de la siguiente manera: se llena el tanque de fertilización hasta cerca de la mitad de su capacidad, se disuelven uno por uno cada fertilizante, comenzando preferentemente por los de menor solubilidad y se van añadiendo previamente disueltos.

En la práctica, el objetivo es preparar la solución nutritiva para suministrar a las plantas el menor número de veces posible y así disminuir el tiempo necesario para repetir la fabricación de la disolución de fertirrigación.

5.9.2 Más de dos tanques de fertilización (caso 2)

La disposición de dos o más tanques de fertilización con sus correspondientes sistemas de inyección o dosificación facilitan la fertirrigación en gran medida, con relación a los volúmenes que se pueden realizar y las compatibilidades de los compuestos que se utilizan.

El problema más importante a resolver es la tendencia a la precipitación del Ca^{2+} ante la presencia de los iones carbonato, sulfato o fosfato. Por lo tanto, no se deben utilizar en la mezcla



de fertirrigación concentrada aquellos fertilizantes que introduzcan iones sulfatos o fosfatos que transporten el calcio. Así, al usar dos tanques se puede evitar estas mezclas.

Se recomienda fabricar y almacenar soluciones madre entre 100 y 200 veces concentradas, lo cual ahorrará tiempo en la elaboración de las mezclas para aplicar. Es además recomendable que se utilice un tanque independiente para el ácido, lo cual facilita aún más la estabilidad de las mezclas y su duración.

Para realizar unas disoluciones concentradas considerando los tanques A y B cada uno de 1.000 L ($\times 1.000$) con concentraciones de 100 veces ($\times 100$), simplemente se debe multiplicar los valores de pesos obtenidos por los coeficientes entre paréntesis obteniendo así los nuevos pesos.

Para el manejo de los dos tanques de fertilización, Smith (1987) recomienda que se separen los diferentes compuestos de la manera que muestra la Tabla 8.

TABLA 8. RECOMENDACIÓN DE LOS FERTILIZANTES QUE SE PUEDEN INCLUIR EN CADA TANQUE DE FERTIRRIGACIÓN.

TANQUE A	TANQUE B
ÁCIDO NÍTRICO (LA MITAD)	ÁCIDO NÍTRICO (LA MITAD)
NITRATO DE CALCIO	ÁCIDO FOSFÓRICO
NITRATO DE POTASIO (LA MITAD)	NITRATO DE POTASIO (LA MITAD)
QUELATO FÉRRICO	SULFATO POTÁSICO
	SULFATO DE MAGNESIO
	SULFATO MONOPOTÁSICO (O AMÓNICO)
	ELEMENTOS MENORES

Fuente: Smith, 1987.

Una vez se tenga los tanques de fertirrigación preparados y listos para colocar el fertirriego en el sistema, se debe proceder a su inyección con el tubo venturi el cual debe haber sido previamente diseñado específicamente para el sistema de riego y los niveles de fertilización requeridos. Se recomienda usar un equipo venturi por cada tanque.

5.9.3 Selección del dispositivo venturi

Estos son unos dispositivos muy sencillos que usan parte de la energía de la bomba del sistema de riego para su funcionamiento y además proporcionan el fertilizante de forma constante a la red de riego. Sin embargo, generan una gran pérdida de presión en la tubería donde se instalan, lo que limita su uso si se dispone de poca presión en la red (Figura 39).

Para seleccionar un equipo venturi se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

Volumen (L): Qué cantidad se desea inyectar.

Caudal motriz: La cantidad de agua que se debe hacer pasar por el inyector.

Presión de entrada: Presión aguas arriba del inyector.

Presión de salida: Es la presión que tiene el inyector aguas abajo.





Fuente: Mazzei (2005)

FIGURA 39. INYECTORES VENTURI.

El flujo total de agua deberá ser mayor que la capacidad de flujo motriz del inyector (es decir, el agua que fluye por el inyector).

TABLA 9. TABLA DE RENDIMIENTO PARA LOS INYECTORES VENTURI.

INJECTOR PERFORMANCE TABLE													
WATER SUCTION CAPACITY * INJECTOR INLET PREASURE 0.35 - 3.52 kg / cm ²													
OPERATING PRESSURE kg/cm ²		MODEL 1585X 1,5" Threads		MODEL 1587 1,5" Threads		MODEL 2081 2" Threads		MODEL 2083X 2" Threads		MODEL 3090 3" Threads		MODEL 4091 4" Threads	
INJECTOR INLET	INJECTOR OUTLET	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min	MOTIVE FLOW L/min	WATER SUCTION L/min
0,35	0,00	40,6	7,60	67,0	15,4	122,6	39,7	31,8	28,8	288	66,2	643	132,5
	0,07		4,70		6,5		39,7		10,0		56,8		94,5
	0,14		1,70		5,8		39,7				47,7		75,7
	0,21				3,4		13,5				28,8		53,0
	0,28		(0,25)				(0,29)		(0,32)		8,5		(0,10)
0,70	0,00	57,4	15,20	94,7	17,0	173,4	39,7	49,6	35,4	409	91,2	810	177,9
	0,14		9,80		15,7		39,7		9,7		91,2		177,9
	0,35		2,70		6,5		29,5				54,9		117,3
	0,49				3,7		9,4				25,0		49,2
	0,56		(0,46)				0,9		(0,63)		1,9		(0,17)
1,05	0,00	70,3	16,50	116,0	17,1	212,3	39,8	60,9	42,4	500	90,5	950	177,9
	0,35		10,00		11,7		39,3				90,1		177,9
	0,49		5,50		9,7		36,4				65,9		143,8
	0,70				6,2		13,4				34,8		45,4
	0,84		(0,66)				2,4		(0,94)		4,8		(0,26)
1,41	0,00	81,2	19,50	134,0	16,8	245,3	39,8	71,5	47,8	579	89,3	1030	177,9
	0,35		14,60		16,8		39,8		14,9		89,3		177,9
	0,70		7,60		11,0		29,5				73,8		170,3
	0,84		2,50		9,0		18,8				50,0		113,6
	1,05		(0,89)				5,5		(1,23)		9,5		(0,40)
1,76	0,00	90,8	20,50	149,7	16,7	274,4	39,8	82,5	51,2	647	84,8	1162	177,9
	0,35		17,40		16,7		39,8		27,1		84,8		177,9
	0,70		12,90		14,5		39,5				85,5		177,9
	1,05		3,20		9,9		25,5				58,7		124,9
	1,41		(1,08)				3,5		(1,57)		8,5		(0,50)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

Los números entre paréntesis indican la presión de salida del inyector cuando la succión es interrumpida (punto de succión cero)

Fuente: Mazzei Inyector Corporation (2005), URL: <http://www.mazzei.net>



El sistema venturi viene acompañado por unas tablas de calibración o tablas de rendimiento (Tabla 9). Allí se debe buscar la presión de entrada del inyector que más se aproxime a la presión máxima de agua disponible. Luego se debe buscar la presión de salida del inyector que más se aproxime a la presión del sistema aguas abajo del inyector después de la instalación.

De esta forma se ubica un modelo de inyector cuya capacidad de succión sea mayor que la capacidad de succión requerida. Se debe utilizar una válvula dosificadora o un conjunto de orificio para ajustar la tasa de succión del inyector a fin de obtener exactamente el nivel de succión requerido.

No se debe olvidar que para que el inyector funcione correctamente, la presión de entrada deberá ser mayor que la presión de salida (llamada de presión diferencial). La mayoría de los inyectores son muy eficientes y comienzan a funcionar a una presión diferencial de tan sólo 20%.

5.9.4 Instalación de un sistema venturi

El inyector se instala sobre un punto de restricción del flujo, tal como una válvula reguladora o una válvula de compuerta/bola, para crear un diferencial de presión a través del inyector. Esto permite que el inyector produzca un vacío y arrastre el material.

Por lo general, el sistema venturi se ubica en la tubería principal (Figuras 27, 37 y 39). Debe contar con un diferencial de presión suficiente para funcionar. En otras palabras, la presión de entrada debe ser suficientemente mayor que la presión de salida.

Los inyectores de fertilizantes deberán instalarse con la flecha de dirección de flujo en posición horizontal o apuntando hacia arriba.

Las siguientes son pruebas sencillas para determinar si un inyector está funcionando o no:

1. Con la línea de succión desconectada y el inyector en funcionamiento, coloque el dedo sobre el puerto de succión ¿Puede sentir la succión?
2. Con la línea de succión desconectada y el inyector en funcionamiento, presione suavemente la bola que está dentro de la válvula interna de retención ubicada en el puerto de succión. Para hacer esto, deberá utilizar una herramienta delgada y sin filo ¿Sale agua a chorros del puerto de succión?

Si puede sentir succión y el agua, es decir que no sale a chorros del puerto de succión durante el funcionamiento, significa que el inyector está generando vacío y funciona correctamente. Si no puede sentir succión y el agua sale a chorros del puerto de succión durante el funcionamiento, significa que el inyector no está generando vacío.

5.9.5 Algunas razones por las cuales el venturi no funciona

Diferencial de presión insuficiente. Comúnmente los venturi comienzan a succionar con cerca del 20% de diferencial de presión de agua. La succión importante no comienza hasta que el diferencial de presión de agua alcance un 25% - 30%. Cuando los venturi succionan líquidos,



alcanzan su máxima succión cuando el diferencial de presión de agua es de alrededor del 50%. Cuando los inyectores succionan gases, la capacidad de succión aumenta hasta que la presión de salida de agua se convierte en cero. No hay manera de estimar el diferencial de presión de agua. Deberá medirse con manómetros, tanto aguas arriba como aguas abajo del inyector.

Flujo de agua insuficiente. En cualquier combinación de presiones de entrada y de salida de agua, los sistemas venturi requieren cierto flujo de agua. El flujo necesario para cada inyector puede determinarse mediante la tabla de rendimiento. Si se suministra menor cantidad de agua que la que indica la tabla de rendimiento la capacidad de succión puede disminuir o bien desaparecer totalmente.

Línea de succión obstruida. La línea de succión que va a un inyector puede ensuciarse o taparse, por lo cual deberá ser revisada periódicamente para verificar que esté limpia y sin obstrucciones.

Inyector con acumulación de sarro y contaminantes. Muchos de los contaminantes que se encuentran en el agua pueden acumularse por precipitación sobre las superficies húmedas, incluyendo el interior del inyector. Cuando esto ocurre el rendimiento del inyector puede verse seriamente afectado. Una suficiente cantidad de depósitos acumulados y/o contaminación puede causar la pérdida completa de la capacidad de succión.

5.10 Algunas recomendaciones sobre fertirrigación

- Aplicación de nutrientes de acuerdo con el análisis de suelos.
- Uso de nutrientes para fertilización según niveles recomendados por el documento *Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación* (ICA, 1994).
- Se deben hacer los cálculos en forma precisa para evitar la salinización de los suelos. Al respecto, ver el patrón de cálculo presentado en la sección 5.8.
- Uso de succión por medio de tubo venturi diseñado de acuerdo con los requerimientos del sistema de riego.
- Cálculo de volúmenes de flujo y caudal de acuerdo con las necesidades del sistema y el venturi.
- Se deben hacer frecuentes monitoreos de pH y conductividad eléctrica con el fin de evitar los límites críticos.
- Por manejo y oportunidad se recomienda una frecuencia de fertirrigación preferiblemente semanal.
- Periódicamente se debe chequear el funcionamiento del sistema de inyección para verificar el caudal de trabajo.



- Se debe trabajar con fertilizantes de alta solubilidad y siempre prefiriendo el uso de fuentes simples.
- Tener en cuenta los compuestos no miscibles recomendados (Tabla 5, página 64).
- Uso de dos tanques o momentos diferentes de fertilización para elementos no compatibles.
- Una vez finalizado el cultivo es recomendable el lavado del terreno con riego intensivo preferiblemente por superficie.
- Se recomienda lavar la tubería al final de la cosecha o cuando presente problemas de taponamiento con una solución de ácido fosfórico disuelta del 5% al 10%.
- Adecuada preparación del recurso humano para el manejo apropiado de la fertirrigación.
- La fertirrigación debe ser técnicamente realizada con el fin de que sea beneficiosa para la producción de tomate bajo cubierta.



6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ



Como una contribución adicional al esquema de producción de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá planteado en capítulos anteriores, y en vista de la gran proyección de este sistema de producción por las ventajas de aptitud biofísica e infraestructura que muestra la zona, se presenta el análisis económico y financiero de este sistema de producción. En primera instancia se advierte que, desde el punto de vista financiero, la inversión deberá ser asumida como un proyecto a mediano o largo plazo a fin de lograr alcanzar las rentabilidades propuestas.



FIGURA 40. PRODUCTORES Y TÉCNICOS RECIBEN INFORMACIÓN SOBRE LA INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN Y REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL TOMATE BAJO CUBIERTA. CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATÁ (MOSQUERA, CUNDINAMARCA).



El presente análisis se realizó considerando módulos de producción integrada de un área de 2.520 m² el cual hace referencia a un conjunto de seis naves de tomate bajo cubierta (7 m x 60 m cada una). Los valores mostrados fueron calculados bajo cotizaciones y con base en diseños reales y materiales que se hallan fácilmente en la zona. Aunque se presenta el valor del dólar a la fecha (TRM¹: \$2.015/US\$) toda la información está referida a pesos colombianos (\$) del año 2007. La Tabla 10 muestra las especificaciones técnicas y de escala que se tuvieron en cuenta para el cálculo de los análisis económicos y financieros para la producción de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá.

TABLA 10. ESPECIFICACIONES DE ESCALA Y SUPUESTOS BÁSICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	ESCALA A	ESCALA B	ESCALA C
ÁREA DEL INVERNADERO (ESCALA)	m ²	2.520	10.000	5.040
DENSIDAD DE SIEMBRA	PLANTAS/m ²	2,78	2,78	2,78
DURACIÓN TOTAL DEL CICLO	SEMANAS	30	30	30
TIEMPO DE COSECHA	SEMANAS	14	14	14
MESES POR CICLOS	MES	6,9	6,9	6,9
CICLOS POR AÑO	CICLO/AÑO	1,73	1,73	1,73
PLANTAS POR CICLO	PLANTAS	6.654	26.404	13.307
PRODUCCIÓN POR PLANTA	kg/PLANTA	6,0	6,0	6,0
PRODUCCIÓN TOTAL POR CICLO	kg	39.922	158.421	79.844
RELACIÓN DE ÁREAS		1	3,97	2

Es importante resaltar que el análisis financiero se realizó considerando economías de escala. Bajo las condiciones de inversión y requerimiento de costos, la unidad mínima rentable fue de once naves y media (4.830 m²), la cual arrojó una rentabilidad de 13.9% (Tasa Interna de Retorno, TIR). Sin embargo, se prefirió presentar los resultados obtenidos para 12 naves (5.040 m²) lo cual arroja resultados financieramente más estables, con niveles de rentabilidad de 14.8% (TIR). A pesar de esto, se observa que para el caso de una hectárea la rentabilidad se mejoraría bastante alcanzando un nivel de 25.7% (TIR) en cuyo caso se requeriría una inversión inicial de \$183'337.605, con un valor presente neto de \$302'756.758 estimado para 10 años a una tasa igual al interés sobre capital.

En todos los casos se calcularon las inversiones, costos y gastos, tanto por ciclo del cultivo como por año, pues de ambas formas puede ser requerido; en general las amortizaciones son exigidas por ciclo, pero las comparaciones entre varios negocios alternativos o mutuamente excluyentes se hacen por año.

¹ TRM: Tasa Representativa del Mercado.



6.1 Inversiones

Para el establecimiento del proceso productivo de tomate bajo cubierta es necesario realizar unas inversiones iniciales que perduran a través del período de producción, aunque algunas de ellas pueden ser renovadas dependiendo del tiempo de explotación. En todo caso el tiempo probable de duración del activo se ha amortizado en su proporción anual correspondiente según el tiempo de vida útil.

En la Tabla 11 se muestran las inversiones requeridas para una explotación de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá; en ella se observa que este sistema de producción requiere de una inversión inicial alta.

TABLA 11. INVERSIONES REQUERIDAS PARA UN CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ (5.040 m²).

ACTIVO	INVERSIÓN TOTAL	TIEMPO DE AMORTIZACIÓN	AMORTIZACIÓN POR AÑO	AMORTIZACIÓN POR CICLO	COSTOS DE INVERSIÓN POR kg PRODUCIDO
RUBRO/UNIDADES	\$ DEL AÑO 2007	AÑOS	\$ DEL AÑO 2007	\$ DEL AÑO 2007	\$/ kg
ESTRUCTURA DEL INVERNADERO	31.525.875	8	3.940.734	2.273.501	28,47
PLÁSTICO	12.363.996	2,5	4.945.598	2.853.230	35,73
TUTORADO	5.552.693	5	1.110.539	640.695	8,02
CABEZAL DE BOMBEO	4.500.000	10	450.000	259.615	3,25
RIEGO DE LAS NAVES	6.045.288	5	1.209.058	697.533	8,74
CANASTAS	1.997.899	10	199.790	115.263	1,44
ADECUACIÓN DE TERRENO	1.700.000	10	170.000	98.077	1,23
RESERVORIO	7.530.000	10	753.000	434.423	5,44
MEMBRANA	5.150.000	10	515.000	297.115	3,72
TERMÓMETROS DE MÁXIMA Y MÍNIMA	200.000	6	33.333	19.231	0,24
SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS	3.746.800	6	624.467	360.269	4,51
ADECUACIÓN DE BODEGA DE POSTCOSECHA	12.000.000	10	1.200.000	692.308	8,67
INFRAESTRUCTURA ADMINISTRATIVA	1.606.251	10	160.625	92.668	1,16
TOTAL COSTO DE INVERSIONES	93.918.802	7,6	15.312.144	8.833.928	110,62

TRM = 2.015 \$/US\$

Para el caso de la Sabana de Bogotá se han considerado inversiones que, por las condiciones específicas de algunas zonas de la región, es necesario realizar; tal es el caso del reservorio y su respectiva membrana de recubrimiento, inversión propuesta para aquellas fincas sin disponibilidad suficiente de aguas superficiales que obliga a acudir a la colecta de aguas lluvias mediante los techos de los invernaderos. Otra inversión alternativa es el uso de una planta de tratamiento de aguas, implemento que se recomienda cuando se debe tomar el agua para riego de algún afluente o efluente del río Bogotá, en este sentido se cotizó un prototipo de bajo costo propuesto por la Universidad Nacional de Colombia, a través de la Unidad Ambiental del Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Facultad de Ingeniería y con la colaboración de la Facultad de Agronomía (Arguello, H. *et al.*, 2006; Bustos, M. *et al.*, 2004). Otras inversiones opcionales podrían ser la construcción de una bocatoma y/o desarenador para suministro de agua de una fuente potable (caño, embalse, represa, etc.), así como la limpieza o perforación de un pozo de agua para el aprovechamiento del recurso subterráneo; esta última alternativa no se descarta, siempre y cuando el nivel de escala y la rentabilidad lo permitan.



Un costo adicional que se ha tenido en cuenta es la adecuación de la bodega de poscosecha, la cual es indispensable dado el volumen de material cosechado que se debe manejar en la producción. Además dentro del rubro del cabezal de bombeo se ha incluido un costo básico (\$1'000.000) para llevar energía eléctrica al lote.

Para cada proyecto en particular se recomienda la evaluación y justificación de cada una de estas inversiones propuestas, pues algunas de ellas no son indispensables ni aplicables a todos los casos.

Es importante resaltar que el plazo de la recuperación o el tiempo de amortización, aunque no proporciona información acerca de la rentabilidad absoluta o relativa de la inversión, indica que, a igualdad de los criterios anteriores, la inversión es más interesante cuanto más reducido sean tanto su plazo de recuperación como el tiempo de amortización y además indica el año a partir del cual el agricultor o inversionista obtendría rendimientos positivos o pagaría su deuda (Urrestarazu, M., 2004).

6.2 Costos de producción

Los costos de producción se pueden dividir en costos fijos —aquellos que no dependen del volumen o la escala de la producción— y costos variables, aquellos que varían con los volúmenes de producción alcanzados en el cultivo.

6.2.1 Costos fijos

Los costos fijos para este sistema de producción se presentan en la Tabla 12; allí se consideran los costos del asistente técnico encargado, obreros de base y la asesoría técnica. Además, se incluyen los gastos de administración asumidos como el 3% de la suma de los costos fijos, mientras que el 2% de los costos de inversión se consideran como gastos de mantenimiento.

TABLA 12. COSTOS FIJOS REQUERIDOS PARA UN CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ (5.040 m²).

DESCRIPCIÓN	COSTO POR CICLO	COSTO FIJO POR kg PRODUCIDO	COSTOS POR AÑO
TÉCNICO ENCARGADO	9.073.800	113,6	15.727.920
OBROS	20.869.740	261,4	36.174.216
ARRIENDO DE LA TIERRA	756.000	9,5	1.310.400
PREPARACIÓN DEL SUELO	400.000	5,0	693.333
ENERGÍA Y COMBUSTIBLES	230.000	2,9	398.667
ASESORÍA TÉCNICA	1.615.960	20,2	2.800.997
GASTOS ADMINISTRATIVOS (3%)	1.309.058	16,4	2.269.034
GASTOS DE MANTENIMIENTO (2%)	1.083.678	13,6	1.878.376
TOTAL COSTOS FIJOS	35.338.236	442,6	61.252.943



6.2.2 Costos variables

Los costos variables están representados principalmente por los insumos que se deben comprar, pues la magnitud de éstos es proporcional al volumen de la producción. Se puede observar que el rubro que más incrementa los costos variables son los fertilizantes. En la Tabla 13 se presentan los costos variables que se requieren para la producción de tomate bajo invernadero en la Sabana de Bogotá.

TABLA 13. COSTOS VARIABLES REQUERIDOS PARA UN CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ (5.040 m²).

DESCRIPCIÓN	COSTO POR CICLO	COSTO VARIABLE POR kg PRODUCIDO	COSTOS POR AÑO
PLÁNTULAS	3.168.000	39,7	5.491.200
TRANSPORTES	2.294.966	28,7	3.977.942
FERTILIZANTES	9.456.000	118,4	16.390.400
INSUMOS ORGÁNICOS, BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS	5.472.000	68,5	9.484.800
ACOLCHADOS E HILOS	827.500	10,4	1.434.333
ENMIENDAS (COMPOST CAL)	1.200.000	15,0	2.080.000
ANÁLISIS DE SUELOS Y FOLIARES	153.120	1,9	265.408
TOTAL COSTOS VARIABLES	22.571.586	282,6	39.124.083

6.2.3 Costos totales

Los costos totales son la suma de los costos de amortización de las inversiones iniciales, los costos fijos y los costos variables. En la Tabla 14 se presentan los costos totales resumidos para una explotación con un área de 5.040 m² de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá; en ella se muestran los costos por ciclo y por año, así como el costo por kilogramo de tomate producido.

TABLA 14. COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN PARA UN CULTIVO DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ (5.040 m²).

DESCRIPCIÓN	COSTOS POR CICLO (\$)	COSTOS TOTALES POR kg PRODUCIDO (\$)	COSTOS POR AÑO (\$)
AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN	8.833.928	111	15.312.144
COSTOS FIJOS	35.338.236	443	61.252.943
COSTOS VARIABLES	22.571.586	283	39.124.083
TOTAL COSTOS TOTALES	66.743.750	837	115.689.170

Es importante resaltar que, si bien los costos de producción son altos para el primer año, éstos tienden a decrecer en los años siguientes.



6.3 Ingresos esperados

Los ingresos esperados se estiman a partir de los precios de mercado, los cuales dependen de la categoría de calidad alcanzada; el productor puede mejorar el volumen, obtener una calidad óptima y alcanzar mejores precios que los presentados en la Tabla 15, lo cual le permitirá mejorar la rentabilidad del negocio. Además se pueden obtener mejores precios con negociaciones directas.

TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y PRECIOS ESPERADOS PARA UNA EXPLOTACIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ (5.040 m²).

CATEGORÍA	PORCENTAJE	PRECIO x kg	PRODUCCIÓN TOTAL POR CICLO	INGRESO POR CICLO	PRODUCCIÓN TOTAL POR AÑO	INGRESO POR AÑO
	%	\$ / kg	kg	\$	kg	\$
TOMATE EXTRA	65	1.200	51.899	62.278.599	89.958	107.949.572
TOMATE CATEGORÍA I	15	900	11.977	10.778.988	20.760	18.683.580
TOMATE CATEGORÍA II	10	750	7.984	5.988.327	13.840	10.379.767
PÉRDIDAS ESPERADAS	10	-	7.984	-	13.840	-
TOTAL	100	990	79.844	79.045.914	138.398	137.012.919

La Tabla 15 presenta los cálculos de producción y precios alcanzados por ciclo y por año; se espera un porcentaje de pérdida del 10% el cual se puede mejorar si se realiza un buen manejo de poscosecha.

Los precios unitarios también se pueden mejorar en la medida que se logren mejores negociaciones, evitando los intermediarios y realizando convenios con tiendas al detal y las cadenas de supermercados; ello requiere también de una buena planeación de la producción y manejo de poscosecha.

6.4 Análisis financiero y rentabilidad del cultivo

La rentabilidad del negocio se ha estimado a largo plazo (10 años) pues las altas inversiones iniciales castigan los resultados de corto plazo. El análisis mostró que la deuda puede pagarse en siete años para la mayoría de las escalas. Así mismo, se supuso que todo el capital de inversión provenga de una fuente de financiación externa, lo cual puede mejorarse con el aporte del agricultor que permitiría una recuperación del capital a menor término. Se asumió una producción promedio estándar por planta de 6.0 kg, lo cual sirve como factor de seguridad en el cálculo de la rentabilidad estimada, aunque este nivel de producción puede ser superado.

La Tabla 16 muestra los flujos financieros, comparados para media (1/2 ha) y una (1 ha) hectárea de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá durante un período de 10 años, el balance de ingresos y egresos anual, con el cálculo de las utilidades o pérdidas del negocio de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá. Obsérvese que la amortización de la inversión se termina en el año siete para ambos casos.



TABLA 16. FLUJOS FINANCIEROS, COMPARADOS PARA MEDIA Y UNA HECTÁREA EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO INVERNADERO EN LA SABANA DE BOGOTÁ DURANTE UN PERÍODO DE 10 AÑOS.

ÁREA DE PRODUCCIÓN = RUBRO / AÑOS	5,040 m ²										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EGRESOS		128.546.654	126.450.421	124.354.189	122.257.956	120.161.724	118.065.491	102.703.053	100.377.026	100.377.026	100.377.026
INVERSIÓN INICIAL	93.918.802										
COSTOS FIJOS		61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943	61.252.943
COSTOS VARIABLES		39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083	39.124.083
COSTOS FINANCIEROS		12.857.484	10.761.251	8.665.019	6.568.786	4.472.554	2.376.321	280.089	0	0	0
AMORTIZACIÓN DE LA DEUDA		15.312.144	15.312.144	15.312.144	15.312.144	15.312.144	15.312.144	2.045.938	0	0	0
SALDO DE LA DEUDA	93.918.802	78.606.658	63.294.514	47.982.370	32.670.226	17.358.082	2.045.938	0	0	0	0
INGRESOS		137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919
VENTA DE LA PRODUCCIÓN		137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919	137.012.919
UTILIDAD											
UTILIDAD BRUTA	93.918.802	8.466.265	10.565.497	12.658.730	14.754.962	16.851.195	18.947.427	34.309.806	36.635.893	36.635.893	36.635.893
UTILIDAD BRUTA ACUMULADA	93.918.802	8.466.265	19.028.762	31.687.491	46.442.454	63.293.648	82.241.075	116.550.941	153.186.834	189.822.727	226.458.619
INVERSIÓN Y EGRESOS EN EL PRIMER AÑO		222.465.456									

ÁREA DE PRODUCCIÓN = RUBRO / AÑOS	10,080 m ²										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EGRESOS		237.232.933	233.102.073	228.971.213	224.840.353	220.709.493	216.578.633	184.565.361	181.959.727	181.959.727	181.959.727
INVERSIÓN INICIAL	183.337.605										
COSTOS FIJOS		103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968	103.976.968
COSTOS VARIABLES		77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758	77.982.758
COSTOS FINANCIEROS		25.098.918	20.968.098	16.837.198	12.706.338	8.575.478	4.444.618	313.758	0	0	0
AMORTIZACIÓN DE LA DEUDA		30.174.288	30.174.288	30.174.288	30.174.288	30.174.288	30.174.288	2.291.876	0	0	0
SALDO DE LA DEUDA	183.337.605	153.163.316	122.989.028	92.814.740	62.640.452	32.466.164	2.291.876	0	0	0	0
INGRESOS		274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837
VENTA DE LA PRODUCCIÓN		274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837	274.025.837
UTILIDAD											
UTILIDAD BRUTA	183.337.605	36.792.904	40.973.764	45.054.624	49.185.484	53.316.344	57.447.204	89.460.476	92.066.110	92.066.110	92.066.110
UTILIDAD BRUTA ACUMULADA	183.337.605	36.792.904	77.716.668	122.771.293	171.956.777	225.273.121	282.720.326	372.180.802	464.246.912	556.313.022	648.379.133
INVERSIÓN Y EGRESOS EN EL PRIMER AÑO		420.570.537									



En la Tabla 17 se presenta el resumen financiero de la inversión el cual arroja una rentabilidad neta de 14.8% (TIR) para el caso de 5.040 m² de explotación y de 25.7% para el caso de una hectárea del cultivo, considerando un interés anual sobre las inversiones de capital de 13.69% en ambos casos.

TABLA 17. RESUMEN DEL ANÁLISIS FINANCIERO COMPARADO PARA MEDIA Y UNA HECTÁREA PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO CUBIERTA EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

PRODUCCIÓN ESPERADA kg/AÑO	138,398	276.794
RELACIÓN MÓDULO/NAVE 7*60=420 m ²	1/6	1/6
NÚMERO DE NAVES	12,0	24,0
MÓDULOS DE 2.520 m ²	2,0	4,0
INTERÉS ANUAL SOBRE CAPITAL	13,69%	13,69%
TIEMPO DE AMORTIZACIÓN (AÑOS)	7	7
HECTÁREAS	0,504	1,008
TIR	14,8%	25,7%
VALOR PRESENTE NETO (13,69%) (\$)	99.512.862	302.756.758

En conclusión, se puede decir que el sistema de producción de tomate bajo cubierta en la Sabana de Bogotá requiere una inversión alta, incluyendo el riego y sus implicaciones técnicas, sin el cual el sistema de producción no tendría viabilidad.

La rentabilidad del sistema puede mejorarse si se logra aumentar la producción por planta, disminuyendo los costos de inversión inicial y manejando la tecnología, tanto de riego como de manejo del cultivo, además de la asesoría técnica útil para minimizar los riesgos inherentes al negocio; además, es indispensable mejorar la calidad y la comercialización del producto final para obtener mejores precios.

El nivel de rentabilidad es aceptable; sin embargo, los riesgos técnicos del sistema de producción, por sostenibilidad del cultivo en el tiempo a causa de factores climáticos, incidencia de plagas y enfermedades y malos manejos técnicos, de mercadeo y administrativos generan también un alto riesgo de fracaso, por lo cual debe tenerse en cuenta estos aspectos técnicos, los cuales no han sido mostrados a fondo en el presente manual.



BIBLIOGRAFÍA



Allen, R.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO. Irrigation and drainage paper. No. 56, Rome, 300 p.

Allen, R.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Documento de riego y drenaje, No. 56, Roma, 298 p.

Arguello, H.; Calle, L.; Ramírez, A; Guevara, P. y López, L. 2006. Reuso de aguas residuales para riego de hortalizas. Litografía y tipografía Michel, Bogotá, D.C. 40p.

Bustos, M.; Arguello, H.; Díaz, M. y Ortiz, J. 2004. Programa integral de transferencia de tecnología para la producción limpia y comercialización de hortalizas en la Sabana de Bogotá. Componente 1: Tratamientos de aguas, Universidad Nacional de Colombia, Unidad Ambiental del Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola de la Facultad de Ingeniería y con la colaboración de la Facultad de Agronomía. Febrero de 2004, Bogotá D.C., s.p.

Castañón, G. 2000. Ingeniería del riego: utilización racional del agua. Paraninfo S.A. Thompson Learning, Madrid, 198 p.

Castillo, F.E.; Castellví, S.; Francesc. (y otros 15 autores). 1996. Agrometeorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, 517 p.

Corporación Colombia Internacional (CCI). 2007. Tomate larga vida. En: Plan Hortícola Nacional PHN. Corporación Colombia Internacional, Bogotá, D.C. pp. 437 - 461.

Corresponsal Internacional Agrícola (CIA). 1987. Vol 28 (3): 6 – 7.



Eijkelkamp Agrisearch Equipment. (sf). Catalogue, Soil, Water, Crop, Agro-Climate, Physical Survey, Sludge & Slurry. Eijkelkamp Agrisearch Equipment. (s.c.), 432p.

Freid, M. y Broeshart. 1967. The soil plant system in relation to inorganic nutrition. New York, Academic Press, 358 p.

Fuentes, J. 1996. Técnicas de riego. Ediciones Mundi-Prensa. España. 471p.

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (FUBJTL), Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA) y Colciencias. 2001. Producción de tomate bajo invernadero. Editores: Rebeca Lee y Hugo Escobar. Bogotá. 136 p.

Gavande, S. 1987. Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa, México D.F. 351 p.

Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA). 1988. Curso taller de riego por goteo. Edición: Forero S. J. A., Programa Manejo de Aguas, ICA. Bogotá (Colombia), 109p.

Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA). 1994. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. Subgerencia de Investigación, Sección Recursos Naturales, Manual de Asistencia Técnica No. 25. 64 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición, Bogotá, D.C. 648 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM). 1984. Estudio regional integrado del altiplano cundiboyacence. Sabana de Bogotá. sp.

International Fertilizer Industry Association (IFA). 1992. Ifa world fertilizer use manual. Potato Section. W. Wichman BASF Aktiengesellschaft, Agricultural Research Station, Limburgerhof (Germany). 632 p.

Jaramillo, J.; Rodríguez, P.V.; Guzmán, M.A. y Zapata, M.A. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín Técnico. Corpoica, Centro de Investigaciones La Selva. Rionegro, Antioquia, 48 p.



- Luthin, J. y Reeve, R. 1967.** Drenaje de campos de tierras agrícolas. Medición de la permeabilidad en el laboratorio. Limusa Wiley, S.A. México, 460 – 466 pp.
- Mazzei Inyector Corporation. 2005.** Catálogo de inyectoros venturi para fertirrigación de cultivos. Fábrica de inyectoros Mazzei®, tomado del website: <http://www.mazzei.net>
- Nozomu, M. y Carrijo, O.A. 1998.** Cultivo protegido do tomateiro. Brasilia: EMBRAPACNPH , Circular Técnica de EMBRAPA Hortaliças, 13 p.
- Pardo I., A. 2001.** Horticultura. En: Memorias del curso INIA-AECI. Horticultura protegida y semi-protegida. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 22 a 26 de octubre de 2001.
- Pava, E.C.; García, P.G. y Cotes, A.M. 2002.** Búsqueda de alternativas para el control biológico de *Botrytis cinerea* en la poscosecha de tomate mediante el uso de levaduras. 72 – 73 pp. En: memorias XXIII Congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. ASCOLFI. Bogotá, Colombia. Julio 3 a 6 de 2002. 138 p.
- Sánchez L., G.D. 2002.** Producción de tomate bajo cubierta. En: Taller de hortalizas, productividad – mercadeo. Corpoica, Tibaitatá, (Mosquera). Octubre 23 – 24 de 2002.
- Semillas Arroyave. 2002.** Reporte técnico del cultivo de tomate. Colombia. Tomado de: [http://www.semillasarroyave.com/ contenido/ productos/ reportes/ documentos/ cultivo_tomate.htm](http://www.semillasarroyave.com/contenido/productos/reportes/documentos/cultivo_tomate.htm)
- Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). 2006.** Cultivo del tomate. Sena. Central Mayorista de Antioquia. En: medio magnético. CD.
- Smith, D.L. 1987.** Rockwool in horticulture. Ed. Grower Book. Londres, Reino Unido, 153 p.
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). 1997.** Fertirrigación. Editor: Francisco Silva Mojica. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 164 p.
- Suárez, G. 1986.** Algunos parámetros hidrodinámicos usados en riego y drenaje. En: Manual de Riego y Drenaje. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Santa fe de Bogotá. 80 p.



- Tamayo, P. y Jaramillo, J. 2006.** Enfermedades del pimentón, ají y berenjena en Colombia. Guía para su diagnóstico y manejo. Corpoica, Centro de Investigaciones La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico. 7: 49 -100 pp.
- Tamayo, P.J. 1993.** Otras enfermedades amenazan el cultivo de tomate en Antioquia. ASCOLFI Informe 19 (2):12.
- Terán Ch., C.A. 1996.** Climatología agrícola. En: Curso taller sobre aspectos básicos del riego. Corpoica – INAT. Ibagué. Mayo de 1996. 12 p.
- Terán Ch., C.A. 2004.** Modelo automático de balance hídrico agrícola (MABHA). En: XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Programa y Memorias. Cartagena, 121 pp.
- Urresstarazu, M. 2004.** Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi Prensa. Universidad de Almería Consejería de Agricultura y Pesca, tercera edición, Madrid, 914 p.
- Vergel, L.; Terán, C.; Gómez, C.; Valenzuela, M.; Rengifo, G. y Conde, P. 2004.** Manual de riego en cebolla Ocañera. Manual Técnico. Corpoica. ACCA. Pronatta. Ocaña, Norte de Santander. 60 p.
- Yaacov Bar Am. 2002.** El cultivo en suelo de las variedades de tomate, bajo condiciones de invernadero. En: Curso sobre producción intensiva de hortalizas. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Asohfrucol, Corpoica, C.I. Tibaitatá, Mosquera. pp. 4-19.
- Yachiyo engineering Co. Ltd. y Asia Air Survey Co. Ltd. 2002.** The study on the sustainable groundwater development in Bogotá plain in the republic of Colombia. Japan International Cooperation Agency, Water Supply and Sewerage Company of Bogotá in the Republic of Colombia. Interim Report. Bogotá. 3 -173 p.





Terminó de imprimirse
en los talleres de



www.produmédios.com

Teléfono: 288 5338
Bogotá, D.C., Colombia

