

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE PIMENTÓN BAJO INVERNADERO



EDITORES ACADÉMICOS: CARLOS BOJACÁ Y OSCAR MONSALVE



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO



Centro de
Bio-SISTEMAS
Universidad Jorge Tadeo Lozano



Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE **PIMENTÓN** BAJO INVERNADERO



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO



Centro de
BIO-SISTEMAS
Universidad Jorge Tadeo Lozano



Libertad y Orden

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
República de Colombia

Manual de producción de pimentón bajo invernadero /
Héctor Casilimas ... [et al.]; editores académicos Carlos R. Bojacá,
Oscar Monsalve. – Bogotá: Universidad de
Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2012.
200 p.: il. col.; 28 cm.

ISBN: 978-958-725-099-2

1. PIMENTÓN - CULTIVO. 2. CULTIVOS DE INVERNADERO. I. Casilimas,
Héctor II. Bojacá, Carlos R., ed. III. Monsalve, Oscar, ed.

CDD635.643"M294"

©Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2012

Carrera 4 No. 22-61 / PBX: 2427030 /www.utadeo.edu.co

PRODUCCIÓN DE PIMENTÓN BAJO INVERNADERO

ISBN: 978-958-725-099-2

Primera edición: 2012

RECTORA:

Cecilia María Vélez White

VICERRECTOR ACADÉMICO:

Diógenes Campos Romero

DECANO FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA:

José Daniel Bogoya Maldonado

DIRECTOR CENTRO DE BIO-SISTEMAS:

Oscar Duarte Torres

DIRECTOR (E) DE PUBLICACIONES:

Jaime Melo Castiblanco

COORDINADOR EDITORIAL:

Henry Colmenares Melgarejo

REVISIÓN DE TEXTOS:

Camilo Gamboa y Henry Colmenares

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Oscar Joan Rodríguez

DISEÑO DE PORTADA:

Jairo Andrés García Gutiérrez

IMPRESIÓN:

Editorial Gente Nueva

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de la Universidad.

Editores académicos:

Carlos R. Bojacá

Oscar Monsalve

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE PIMENTÓN BAJO INVERNADERO

Autores:

Héctor Casilimas

Oscar Monsalve

Carlos R. Bojacá

Rodrigo Gil

Edwin Villagrán

Luis Alejandro Arias

Luz Stella Fuentes

El contenido de esta publicación se basa en las experiencias y resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto de innovación tecnológica denominado:

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE PRODUCCIÓN PARA
LOS CULTIVOS DE PEPINO Y PIMENTÓN BAJO INVERNADERO.**

Este proyecto fue cofinanciado por el Ministerio de Agricultura y
Desarrollo Rural.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
---------------------------	-----------

GENERALIDADES DEL CULTIVO	15
--	-----------

INTRODUCCIÓN.....	16
-------------------	----

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y FISIOLÓGÍA DEL CULTIVO	17
---	----

MANEJO DEL CULTIVO	19
---------------------------------	-----------

PROPAGACIÓN.....	20
------------------	----

INTRODUCCIÓN.....	20
-------------------	----

SEMILLEROS TRADICIONALES	20
--------------------------------	----

SEMILLEROS MODERNOS.....	21
--------------------------	----

PROPAGACIÓN DE PIMENTÓN	23
-------------------------------	----

MATERIAL VEGETAL.....	24
-----------------------	----

EVALUACIÓN DE MATERIALES DE PIMENTÓN.....	24
---	----

METODOLOGÍA.....	24
------------------	----

RESULTADOS.....	27
-----------------	----

LABORES CULTURALES	32
--------------------------	----

PODAS DE FORMACIÓN.....	32
-------------------------	----

TUTORADO DEL CULTIVO.....	38
---------------------------	----

DESHOJE	39
---------------	----

RALEO DE FRUTOS.....	39
----------------------	----

ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO Y MANEJO DEL CLIMA	41
---	-----------

ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO.....	42
--------------------------------	----

REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO	42
---	----

DESÓRDENES FISIOLÓGICOS Y CONDICIONES DE ESTRÉS.....	42
--	----

MANEJO DEL CLIMA	46
------------------------	----

INVERNADEROS EN COLOMBIA	47
--------------------------------	----

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO.....	48
--	----

RESULTADOS DE INVESTIGACIONES.....	58
------------------------------------	----

RIEGO	63
--------------------	-----------

INTRODUCCIÓN.....	64
-------------------	----

EL AGUA EN EL SUELO	64
NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO DE PIMENTÓN	68
EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET _o).....	68
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET _p)	69
COEFICIENTE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO D69PIMENTÓN (K _c)	69
NECESIDADES DE RIEGO DEL CULTIVO (ET_c)	70
EJEMPLO: DETERMINACIÓN NECESIDADES DE RIEGO DEL CULTIVO	71
PROGRAMACIÓN DEL RIEGO	72
MEDIDA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	73
MEDIDA DEL ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA.....	74
MEDIDA DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS	75
CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	76
CONCEPTOS PREVIOS DE RIEGO	77
UNIFORMIDAD DE RIEGO.....	77
EFICIENCIA DE APLICACIÓN	78
RIEGO POR GOTEO	78
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	79
CABEZAL PRINCIPAL DE RIEGO	80
DISEÑO DEL SISTEMA	92
MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	102
BUENAS PRÁCTICAS DE RIEGO	102
FERTILIZACIÓN	105
INTRODUCCIÓN	106
ELEMENTOS MAYORES	106
ELEMENTOS SECUNDARIOS	109
ELEMENTOS MENORES	111
ACIDEZ.....	114
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	114
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).....	115
MATERIA ORGÁNICA	115
TEXTURA	117
FORMULACIÓN DE FERTILIZANTES	117
FERTILIZACIÓN PRESIEMBRA (FONDO)	118
FERTILIZACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	121
FERTILIZACIÓN ORGÁNICA.....	124
MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	129
INTRODUCCIÓN	103
ARTRÓPODOS PLAGA EN PIMENTÓN	130

MOSCA BLANCA O PALOMILLA (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaci</i>)	131
PASADOR DEL FRUTO (<i>Neoleucinodes elegantalis</i>).....	133
ÁFIDOS O PULGONES (<i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Myzuspersicae</i> , <i>Aphisgossypii</i>)	135
TRIPS (<i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Trips palmi</i>).....	138
ENFERMEDADES DEL PIMENTÓN	140
GOTA O TIZÓN TARDÍO (<i>Phytophthora infestans</i>).....	140
MOHO GRIS (<i>Botrytis cinerea</i>).....	141
MILDEO POLVOSO (<i>Sphaerotheca fuliginea</i>).....	142
MARCHITEZ FUSARIANA (<i>Fusarium oxysporum</i>).....	144
ALTERNARIA O TIZÓN TEMPRANO (<i>Alternaria solani</i>)	146
MOHO FOLIAR O CLADOSPORIOSIS (<i>Fulvia fulva</i> ; <i>Cladosporium</i> <i>fulvum</i>).....	146
DAMPING-OFF O MUERTE SÚBITA	147
MARCHITAMIENTO BACTERIAL <i>Ralstonia solanacearum</i> (<i>Pseudomonas solanacearum</i>)	148
CANCER BACTERIAL (<i>Clavibacter michiganensis</i>).....	149
MANCHA BACTERIANA (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Vesicatoria</i>)	149
NEMÁTODOS (<i>Meloydogine</i> spp.)	150
VIRUS <i>El virus del mosaico del tabaco (TMV) y el virus del mosaico</i> <i>del tomate (ToMV)</i>	152
VIRUS <i>El virus del bronceado del tomate (TSWV)</i>	152
COSECHA Y POSCOSECHA	155
INTRODUCCIÓN.....	156
CALIDAD.....	156
CALIDAD COMERCIAL	156
CALIDAD SENSORIAL (ORGANOLÉPTICA)	157
CALIDAD HIGIÉNICA	157
FACTORES PRECOSECHA QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LOS FRUTOS	157
FACTORES AMBIENTALES	157
PRÁCTICAS DE MANEJO DEL CULTIVO	158
MADUREZ	159
MADUREZ FISIOLÓGICA	159
MADUREZ DE COSECHA	159
MADUREZ COMERCIAL	159
MADUREZ DE CONSUMO.....	160
ÍNDICES DE MADUREZ	160
COSECHA	160
INTRODUCCIÓN	160
EPOCA DE COSECHA.....	161

MÉTODOS DE COSECHA	162
COSECHA DE PIMENTÓN.....	162
POSCOSECHA	164
INTRODUCCIÓN	164
FISIOLOGÍA DE LA POSCOSECHA	165
CLASIFICACIÓN DE LAS FRUTAS	165
LABORES POSCOSECHA.....	165
POSCOSECHA DE PIMENTÓN	169

ANÁLISIS FINANCIERO **171**

INTRODUCCIÓN.....	172
ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA.....	172
INVERSIONES	172
COSTOS DE PRODUCCIÓN	173
INGRESOS.....	175
FLUJO DE CAJA	175
RELACIÓN BENEFICIO-COSTO (B/C).....	176
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	176
VALOR ACTUAL NETO (VAN)	177
PUNTO DE EQUILIBRIO	178
ESTADÍSTICA DE PRECIOS	178
EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE PIMENTÓN	179
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	181
INVERSIONES	181
EVALUACIÓN FINANCIERA	183
ANÁLISIS DE RESULTADOS FINANCIEROS.....	186
CONCLUSIONES FINANCIERAS	189

BIBLIOGRAFÍA..... **191**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Híbridos de pimentón seleccionados para su evaluación bajo condiciones semicomerciales.....	25
Tabla 2. Número promedio (\pm desviación estándar) de días a floración y a cosecha después del trasplante para los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.	27
Tabla 3. Número promedio (\pm desviación estándar) de días a floración y a cosecha después del trasplante para los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.	28
Tabla 4. Diámetro, longitud y peso de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.....	28
Tabla 5. Diámetro, longitud y peso de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.....	29

Tabla 6. Número promedio (\pm desviación estándar) total de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.....	29
Tabla 7. Número promedio (\pm desviación estándar) total de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios...	30
Tabla 8. Producción total de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.....	30
Tabla 9. Producción total de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.....	31
Tabla 10. Principales diseños de invernaderos utilizados en Colombia.	51
Tabla 11. Descripción de los modelos experimentales de invernaderos evaluados	59
Tabla 12. Velocidad de infiltración para distintos tipos de suelo.	68
Tabla 13. Valores de Kc para las diferentes etapas de cultivo de pimentón.....	70
Tabla 14. Valores de ETo para diferentes zonas del país.	70
Tabla 15. Requerimientos de riego para las diferentes etapas fenológicas del cultivo de pimentón en diferentes regiones del país.....	72
Tabla 16. Criterios para interpretar lecturas del tensiómetro.....	73
Tabla 17. Selección de filtros según la fuente de agua.	82
Tabla 18. Caudales máximos de filtración en función de la calidad del agua.	82
Tabla 19. Materiales porosos utilizados en la fabricación de filtros de arenas.....	83
Tabla 20. Selección de filtros en función del caudal del sistema y la calidad de agua de riego.....	83
Tabla 21. Selección de filtro de discos en función del caudal del sistema.....	85
Tabla 22. Selección de filtro de discos en función de su capacidad de filtrado en Mesh.	85
Tabla 23. Accesorios utilizados para la instalación de sistemas de riego por goteo.....	91
Tabla 24. Matriz de selección de tuberías en función de la velocidad de flujo y pérdidas por fricción en la tubería.....	93
Tabla 25. Factor de corrección en función del número de líneas de riego.	99
Tabla 26. Textura del suelo.	117
Tabla 27. Niveles óptimos en el suelo para el cultivo de pimentón.....	119
Tabla 28. Pesos atómicos de los elementos nutricionales esenciales para las plantas.....	120
Tabla 29. Contenido nutricional de la fórmula estándar de fertirriego para el cultivo de pimentón.....	122
Tabla 30. Extracción de nutrientes del cultivo de pimentón por ciclo de producción.	122
Tabla 31. Contenido nutricional de los materiales orgánicos caracterizados.....	125
Tabla 32. Clasificación de las frutas según su metabolismo	166
Tabla 33. Principales características de los diferentes tipos de clientes incluidos en la evaluación económica según los datos recopilados en campo y conversación directa con productores y clientes.	182
Tabla 34. Costos anuales necesarios para producir una hectárea de pimentón gourmet y pimentón rojo bajo invernadero.	183
Tabla 35. Flujo de caja para los cinco años del proyecto productivo del cultivo de pimentón rojo.....	184
Tabla 36. Flujo de caja para los cinco años del proyecto productivo del cultivo de pimentón <i>gourmet</i>	185

Tabla 37. Principales características de los diferentes tipos de clientes incluidos en la evaluación económica según los datos recopilados en campo y conversación directa con productores y clientes. 186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de pimentón en Colombia (2000-2009).....	16
Figura 2. Rendimiento de pimentón en Colombia (2000-2009).....	17
Figura 3. Plántula de pimentón recién transplantada.....	23
Figura 4. Invernadero F tipo venlo ubicado en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.....	25
Figura 5. Siembra de materiales de pimentón.....	26
Figura 6. Aborto de frutos en pimentón.	32
Figura 7. Estructura del nudo de una planta de pimentón con crecimiento indeterminado.....	33
Figura 8. Distancias de siembra sugeridas con el metodo holandés.....	33
Figura 9. Formación de la horqueta en plantas de pimentón y segmentación del eje principal.....	34
Figura 10. Podas de formación en plantas de pimentón con crecimiento indeterminado.....	35
Figura 11. División de tallos principales y formación de tallos secundarios en plantas de pimentón.....	35
Figura 12. Poda de mantenimiento en plantas de pimentón manejadas con el sistema holandés.....	36
Figura 13. Esquema de camas de pimentón manejadas con el sistema español...37	
Figura 14. Estructura de los tallos principales y productivos de la planta de pimentón con el método español.....	38
Figura 15. Estructura de tallos productivos en pimentón con el método español...38	
Figura 16. Sistema de tutorado con el metodo de manejo holandés	39
Figura 17. Fruto de pimentón en grado avanzado de afectación por el desorden conocido como pudrición apical.....	43
Figura 18. Hinchazón a la altura de las hojas cotiledonales conocida comúnmente como pie de elefante. Apariencia de la base del tallo y de la correspondiente planta.	44
Figura 19. Frutos de pimentón cuya forma regular se ha perdido.	45
Figura 20. Golpe de sol en frutos de pimentón.....	46
Figura 21. Plásticos utilizados para construcción de invernaderos.....	55
Figura 22. Invernadero de madera, de guadua y de metal.	55
Figura 23. Sistema de fijación del plástico tradicional y a presión.	56
Figura 24. Plástico con suciedad acumulada.....	56
Figura 25. Pantallas térmicas metálicas y plásticas.	57
Figura 26. . Ductos inflables.....	57
Figura 27. Acolchados plásticos.....	58
Figura 28. Patrones de velocidad del viento (m s ⁻¹) y distribución de temperatura (°C) simulados para: a) el invernadero prototipo No. 1, b) invernadero modificado No. 2 y c) invernadero modificado No. 3.	61
Figura 29. Detalle de la red de poros del suelo.....	64

Figura 30. El agua en el suelo.....	65
Figura 31. Suelo en condiciones de saturación, de capacidad de campo (CC) y marchitez permanente (PMP).....	67
Figura 32. Valores de Kc asumidos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.....	70
Figura 33. Tensiómetros, bloques de yeso y TDR.....	74
Figura 34. Sensores de variación del diámetro del fruto y del tallo, sensor de flujo de savia.....	75
Figura 35. Estación meteorológica remota.....	75
Figura 36. Uniformidad de aplicación del riego.....	77
Figura 37. Eficiencia de aplicación del riego.....	78
Figura 38. Reservorio de agua para riego.....	79
Figura 39. Cabezal principal de riego.....	80
Figura 40. Unidad impulsora de agua.....	80
Figura 41. Filtro hidrociclón, de arena y de discos.....	82
Figura 42. Selección de filtro hidrociclón en función del caudal de sistema y la pérdida de carga de la columna de agua y pérdida de carga de la columna de agua para los filtros funcionando en paralelo.....	84
Figura 43. Tanques de fertilización, inyector ventury y unidad de inyección de fertilizante impulsado con electrobomba.....	87
Figura 44. Manómetro (a), válvula de operación manual (b), válvula de operación automática (c), cabezal de campo (d), válvula cheque (e) y flujómetro (f).....	88
Figura 45. Controlador de riego, arrancador electrobomba.....	88
Figura 46. Tubería principal, terciaria y líneas de riego.....	89
Figura 47. Comportamiento del fósforo en la solución del suelo.....	107
Figura 48. Resultado de análisis de suelos realizado a un cultivo de pimentón bajo invernadero en el municipio de Filandia (Quindío).....	118
Figura 49. Porcentaje de humedad (a), densidad aparente (b), CIC (c), porcentaje de materia orgánica (d), relación C-N (e), pH (f) y CE (g) de los diferentes materiales orgánicos caracterizados.....	127
Figura 50. Adulto de mosca blanca (<i>T. vaporariorum</i>).....	131
Figura 51. Ninfa IV de mosca blanca (<i>T. vaporariorum</i>).....	131
Figura 52. Mosca blanca (<i>T. vaporariorum</i>) en hojas de pimentón.....	132
Figura 53. Adulto de la avispa parasitoide <i>Encarsia formosa</i> (izquierda). Ninfa de mosca blanca afectada por el hongo entomopatógeno <i>Beauveria bassiana</i> (derecha).....	133
Figura 54. Adulto del pasador del fruto del pimentón, <i>Neoleucinodes elegantalis</i>	134
Figura 55. Daño en fruto de pimentón ocasionado por larvas de <i>Neoleucinodes elegantalis</i>	134
Figura 56. Trampa con feromona para captura de adultos machos de <i>Neoleucinodes elegantalis</i>	135
Figura 57. Áfidos en hoja de pimentón (izquierda). Adulto del áfido <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (derecha).....	136
Figura 58. Larva de <i>Chrysoperla carnea</i> (izquierda). Larva de <i>C. carnea</i> consumiendo un áfido (derecha).....	138
Figura 59. Adulto del trips <i>Frankliniella</i> sp.....	139
Figura 60. Tallo de pimentón afectado por <i>B. cinerea</i> (izquierda). Flor de pimentón afectada por <i>B. cinerea</i> (derecha).....	141

Figura 61. Planta de pimentón afectada por mildew polvoso (<i>S. fuliginea</i>) (izquierda). Mildew polvoso (<i>S. fuliginea</i>) sobre hoja de pimentón (derecha)....	143
Figura 62. <i>Fusarium</i> en la base de la planta de pimentón (izquierda). Detalle afección en la base del tallo de pimentón por causa de <i>Fusarium</i> (derecha).....	144
Figura 63. <i>Dampig-off</i> en planta de pimentón.	147
Figura 64. Hojas de pimentón afectadas por mancha bacteriana.....	149
Figura 65. Frutos de pimentón afectados por bacteriosis. Fruto en desarrollo (izquierda). Fruto maduro (derecha).	150
Figura 66. Pimentones recolectados en canastillas plásticas.	163
Figura 67. Pimentones de diferentes colores.	163
Figura 68. Pimentones listos para recolección.....	164
Figura 69. Pimentones empacados con vinipel.....	169
Figura 70. Precios de venta de pimentón al consumidor, mes a mes en el período comprendido entre 2005 y 2011 en las principales ciudades de Colombia.....	179
Figura 71. Efecto de la variación porcentual del precio pagado al productor de dos proyectos productivos diseñados a cinco años y establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). El precio de referencia (Variación = 0%) corresponde al precio promedio pagado al productor durante los últimos cinco años en la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos) de acuerdo con los boletines del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA).....	187
Figura 72. Efecto de la variación porcentual de la productividad de los dos proyectos productivos diseñados a cinco años y establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). La productividad de referencia (Variación = 0%) corresponde a la productividad promedio obtenida a través de pruebas de campo.....	188
Figura 73. Efecto del precio pagado en diferentes puntos de venta de Bogotá de cinco cultivos establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) de los dos proyectos diseñados a cinco años. Donde: AB = Abastos, CEA = Consumidor final estrato alto, CEB = Consumidor final estrato bajo, EX = Exportador, GS = Gran superficie, TI = Tienda o supermercado de barrio.....	188



INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción de hortalizas bajo invernadero se ha enfocado casi en su totalidad a la producción de tomate y en particular a los cultivares tipo larga vida. Aun cuando en las principales zonas agrícolas bajo invernadero alrededor del mundo se ha desarrollado un amplio portafolio de productos hortícolas, este grado de diversificación no se ha dado en nuestro país. Productos como el pepino, el pimentón, la berenjena, la fresa, varios tipos de lechugas y diversas especies de hierbas aromáticas, cuentan hoy en día con paquetes de manejo agronómico adaptados a las condiciones que exige la producción bajo invernadero. Sin embargo, localmente los agricultores ven al tomate como el único producto generador de la rentabilidad suficiente para cubrir las inversiones y los costos asociados al cultivo bajo invernadero.

El presente manual de producción de pimentón bajo invernadero recoge las experiencias y resultados del proyecto de investigación “Desarrollo e implementación de un modelo de producción para los cultivos de pepino y pimentón bajo invernadero”. El objetivo general de este proyecto fue el de establecer un modelo de producción de pepino y pimentón bajo condiciones de invernadero, a partir de la optimización de las condiciones climáticas y el manejo agronómico de los cultivos. El propósito último del proyecto, y presentado a lo largo de este manual, es el de demostrarle a productores, asistentes técnicos y demás personas interesadas, la viabilidad en el establecimiento de sistemas alternativos de producción bajo invernadero con especies como el pepino y el pimentón.

A partir de las ventajas ofrecidas por los ambientes protegidos al limitar el efecto adverso que sobre la producción tienen diferentes factores biofísicos, es posible cultivar productos diferentes al tomate que generen al menos la misma rentabilidad ofrecida por este producto. Hortalizas como el pimentón de diversos colores, pueden convertirse en alternativas interesantes de rotación desde el punto de vista económico y de esta forma, disminuir el riesgo asociado a la variación de precios que tradicionalmente ha tenido no solamente el tomate sino también muchos de los productos hortícolas producidos y comercializados en el país.

La especialización de los mercados y los niveles de exigencia cada vez mayores por parte de los consumidores están creando nichos de mercado que permiten cultivar variedades de hortalizas tipo gourmet o poco conocidas en nuestro medio. Este tipo de oportunidades debe ser aprovechado por los agricultores, y se espera que manuales como el presente sean una guía práctica, aunque no la única, para el establecimiento de este tipo de sistemas productivos.



GENERALIDADES DEL CULTIVO

INTRODUCCIÓN

El pimentón es una planta cuyo origen botánico se centra en América del Sur, concretamente en el área entre Perú y Bolivia, desde donde se expandió al resto de América Central y Meridional. Es una planta cultivada desde hace varios siglos y una vez descubierta por los españoles fue enviada a España en 1493, para extenderse a lo largo de otros países de Europa, Asia y África durante el siglo XVI (Maroto, 1995). El pimentón constituía un elemento básico en la alimentación de los aborígenes americanos y sus usos culinarios diferían en función de la variedad, algunas de las cuales eran de uso exclusivo de las clases altas (Maroto, 1995).

La producción de pimentón en Colombia está concentrada principalmente en los departamentos de Santander, Valle del Cauca, Huila y Antioquia con 656, 532, 412 y 349 hectáreas respectivamente; correspondientes al 79% del área cultivada a nivel nacional. Durante el período 2000-2009, la mayor producción se obtuvo en el año 2002, alcanzando 54.796 toneladas en 2.480 hectáreas cultivadas (Figura 1) para un rendimiento promedio de 22,1 t/ha (Figura 2).

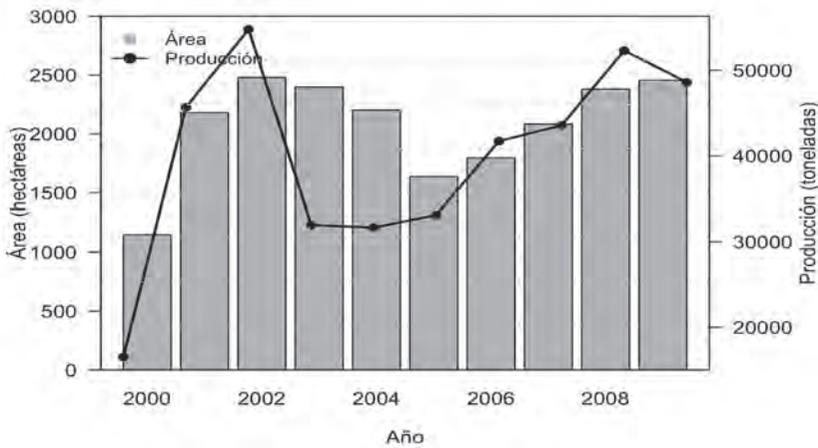


Figura 1. Producción de pimentón en Colombia (2000-2009).

Fuente: Agronet, 2011.

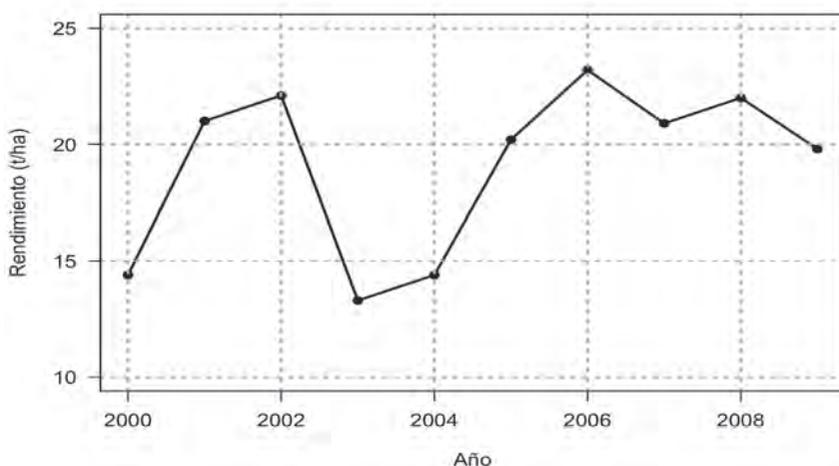


Figura 2.
Rendimiento de pimentón en Colombia (2000-2009).

Fuente: Agronet, 2011.

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y FISIOLÓGIA DEL CULTIVO

El pimentón pertenece a la familia Solanaceae y su nombre científico es *Capsicum annum* L. Algunos autores como Bailey (1977), solo reconocen una especie (*C. annum*), que engloba toda la variabilidad genética existente. Otros autores, como Purseglove (1974), distinguen dos especies: *Capsicum annum* L. y *Capsicum frutescens* L. que difieren fundamentalmente en el número y color de las flores por inflorescencia, forma y tipo de frutos y duración del ciclo vegetativo.

El pimentón es una planta herbácea anual. Tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro. El sistema de raíces pivotante llega a profundidades de 0,7 a 1,2 m, y lateralmente hasta 1,2 m, pero la mayoría de las raíces están a una profundidad de 5 a 40 cm (Guenko, 1983). Está provisto y reforzado con un número elevado de raíces adventicias. El tallo es de crecimiento limitado y erecto con un diámetro que puede variar entre 0,5 y 1,5 cm. Cuando la planta adquiere una cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente.

La altura promedio de la planta es de 60 cm pero varía según el tipo y/o especie de que se trate. Las hojas son planas, simples, lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un peciolo largo o poco aparente y de forma ovoide alargada. Para que se produzca la floración, además de unas condiciones climáticas adecuadas, se requiere una cierta "madurez" de la planta, que en la especie se materializa con la presencia mínima de 8 a 12 hojas.

Las flores son perfectas, formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura. Poseen la corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axilar. Su fecundación es claramente autógama, no superando el porcentaje de alogamia del 10% (Valadez, 1994).

El fruto es una baya semicartilaginosa y deprimida de color rojo o amarillo cuando está maduro, que se puede insertar pendularmente, de forma y tamaño muy variable. Los frutos se presentan en diferentes formas y tamaños, existiendo variedades que dan frutos de 1 o 2 g, frente a otras que pueden formar bayas de más de 300 g (Valadez, 1994).

Las semillas son redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener 3-5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central y son de un color amarillo pálido. En un gramo pueden concentrarse entre 150 y 200 semillas y su poder germinativo es de 3 a 4 años (Valadez, 1994). Aunque el pimentón es una especie que no se considera que posea latencia seminal, con mucha frecuencia se observa, tras una siembra de esta planta, una tardanza mayor de lo normal en producirse la emergencia, una heterogeneidad manifiesta en el nacimiento. Watkins & Cantliffe (1983) consiguieron estimular el índice de germinación mediante aplicaciones de giberelinas. Cabe señalar que Randle & Honma (1981) indicaron que en la rapidez y homogeneidad de la capacidad de germinación de las semillas del pimentón, además de determinados agentes físicos (temperatura y humedad, principalmente), también tienen influencia otros aspectos, como la variedad, la edad del fruto del que se han tomado las semillas y las condiciones de conservación de las mismas durante el almacenamiento.



MANEJO DEL CULTIVO

Héctor Casilimas
Oscar Monsalve

PROPAGACIÓN

INTRODUCCIÓN

El método más común de propagación de pimentón es por medio de plántulas (Figura 3), este es el primer eslabón del ciclo productivo, que incluye la selección y propagación del material vegetal. Una buena plántula para trasplante debe ser vigorosa, libre de patógenos y con buen desarrollo radicular. Una vez trasplantada, debe tolerar los cambios ambientales y de manejo para lograr un óptimo desarrollo (Vavrina, 2002).

En la actualidad, la producción de plántulas es realizada por empresas que poseen infraestructura y tecnología especializada que permite el crecimiento más homogéneo de las plantas, sin embargo, muchos agricultores aún emplean semilleros tradicionales para producir sus plántulas.

SEMILLEROS TRADICIONALES

Durante muchos años en el país, los horticultores hicieron almácigos directamente en el suelo en lugares cercanos a las viviendas, pues esto les facilitaba su manejo y control. Generalmente acondicionaban el sustrato (suelo) con *compost*, cascarilla de arroz y/o fertilizantes químicos sólidos y sembraban una gran cantidad de semillas por unidad de área. Cuando estas germinaban realizaban un raleo para dejar solo las plantas más vigorosas y que no estuvieran afectadas por insectos plaga o enfermedades. Adicionalmente, practicaban deshierbas para evitar la competencia de las arvenses por luz. De acuerdo a la ubicación y protección del semillero se presentaban plántulas más desarrolladas y vigorosas que otras (plantas heterogéneas) y ocurrían mayores o menores pérdidas ocasionadas por factores abióticos como encharcamientos del suelo (por exceso de lluvia y carencia de drenajes) y por factores bióticos como enfermedades, insectos y pájaros. Cuando las semillas de una misma especie eran sembradas repetidamente en el mismo sitio usualmente se incrementaban los problemas de plagas y enfermedades. Así mismo, en el momento de extraer la plántula para llevarla al campo, esta perdía una gran cantidad de raíces dependiendo del grado de compactación del sustrato, lo que ocasionaba estrés y generaba un mayor gasto de energía a la planta. A pesar de todos los inconvenientes de este tipo de semilleros, estos eran relativamente apropiados pues el costo de las semillas era bajo. Sin embargo, con la entrada al mercado de semillas mejoradas (variedades e híbridos), que poseían características que las hacían más atractivas para el consumidor y

ofrecían una mayor productividad por área, el costo se incrementó considerablemente y surgió la necesidad de implementar nuevos sistemas de producción de plántulas.

SEMILLEROS MODERNOS

Bandejas para germinación

Hace casi dos décadas como alternativa para mejorar la germinación, crecimiento y desarrollo de plántulas, se validó una tecnología proveniente de países europeos y de Norte América en la cual se utilizaban bandejas o contenedores con cavidades de igual capacidad y en donde son depositadas una a una y por separado las semillas de especies como el pimentón. De esta forma se logra que todas las plántulas dispongan de espacios individuales que les permitan tener las mismas oportunidades de obtener nutrientes del sustrato y disponer de espacio (evitando competencia por luz), consiguiendo de esta manera un crecimiento más homogéneo. La siembra de pimentón en bandejas germinadoras es recomendable debido a las ventajas que trae con respecto a la siembra directa y a los almácigos tradicionales, entre las que se pueden citar:

- Facilidad de manejo, ya que al tener una población de plantas confinadas en un mismo lugar, se facilitan las labores de mantenimiento tales como fumigación, fertilización, riego y seguimiento de blancos biológicos (insectos plaga y enfermedades).
- Se obtienen plantas más vigorosas y uniformes, debido a que estas se encuentran en condiciones controladas de temperatura, humedad y sustrato, lo cual favorece el desarrollo de raíces y hojas. Esto, a su vez, garantiza que las plantas toleren el ataque de enfermedades e insectos plaga.
- Mayor eficiencia en el uso de la tierra, pues se puede mantener ocupado el terreno donde se va a trasplantar por un mes, tiempo que duran las plantas en semillero.
- Reducción en los costos de producción, ya que se disminuyen el número de jornales para actividades tales como fumigación, fertilización, riego, raleo y desyerba. Igualmente, al disminuir el uso de productos químicos utilizados para el control de enfermedades, insectos y arvenses, disminuye el costo de producción.
- Se emplea una menor cantidad de semilla debido a que no es necesario hacer raleo y se mejora el porcentaje de germinación. De acuerdo al material utilizado el porcentaje de germinación varía de

un 93 a un 97% en híbridos y de un 85 a un 95% en variedades (Argüello, 2002).

- Por la forma de los alvéolos y dependiendo del sustrato, las plantas al ser retiradas de la bandeja no sufren la pérdida de raíces ni daños mecánicos.

El sustrato adecuado para el llenado de las bandejas depende del tamaño del alvéolo y de la especie que se va a sembrar. Así, bandejas con cavidades muy pequeñas requieren sustratos muy livianos y porosos (como la turba) y por este motivo necesitan de fertirriego. En cambio, las bandejas con alvéolos grandes admiten sustratos más pesados como el *compost* y la tierra.

Producción comercial de plántulas

En la Sabana de Bogotá la producción comercial de plántulas se realiza bajo cubierta y se utilizan bandejas de inserción de 200 a 288 alvéolos para la siembra de coles, lechugas y apio y de 128 alvéolos para tomate, pimentón y pepinos. Como sustrato se utiliza la turba importada. Las plantas duran un período de 27 a 30 días, para el caso de las primeras (excepto el apio que dura 60), y de 30 a 35 días para las siguientes. Están listas para ser trasplantadas cuando presentan dos hojas cotiledonales y tres hojas verdaderas.

La nutrición de las plantas se realiza mediante fertirriego, el cual se hace por medio de una poma que asperja suavemente el agua, de tal forma que el sustrato se humedece sin desenterrar la semilla. Es recomendable fertilizar en cada riego, para lo cual se utiliza un fertilizante hidropónico que contenga elementos mayores y menores, en concentraciones de 1 a 2 ml/litro de agua. Cuando faltan dos días para llevar la planta a campo se acostumbra a someterlas a estrés hídrico por unas cuantas horas para lograr el “endurecimiento”, es decir, que las hojas tomen una consistencia más fuerte, que no sean tan frágiles para que resistan el trasplante y los primeros riegos en campo, que generalmente se hacen mediante riego por aspersión. Así mismo, se logra que las raíces inicien una exploración más acelerada en busca de agua y de esta forma se consigue que se desarrollen más rápidamente en campo. Se construyen bancos altos con el fin de impedir que las bandejas queden en contacto directamente con el suelo, evitando así que las raíces salgan de los alvéolos y continúen su crecimiento en este. Con esto también se previene que patógenos e insectos que estén en el suelo entren en contacto con las bandejas. Estos bancos son hechos con guadua, madera o ángulos metálicos. En las calles se distribuye gravilla con el fin de no permitir el levantamiento de polvo que puede diseminar esporas de hongos patógenos y también para evitar encharcamientos.

Sustratos para siembra

Las hortalizas, independientemente del semillero en que se siembren (campo abierto, invernadero o bandejas) deben producirse en sustratos que permitan una excelente emergencia, buen desarrollo aéreo y radical de las plantas y que facilite su extracción con el sustrato completo para no causar daño aéreo ni radical y de esta forma obtener plántulas para trasplante sanas y vigorosas. Es por esto que los sustratos deben tener ciertas características físicas (porosidad, permeabilidad, aireación, retención de humedad), químicas (aporte de nutrimentos, capacidad de intercambio catiónico, pH) y biológicas (libre de microorganismos patógenos y, preferiblemente, inoculados con microorganismos benéficos). En un sustrato de cultivo son más importantes las propiedades físicas, ya que son más difíciles de modificar por el cultivador. Por el contrario, las propiedades químicas son más fáciles de modificar mediante técnicas de cultivo apropiadas, por ejemplo, aunque su conductividad sea elevada, esta se puede disminuir por lavado o si el pH no es el adecuado (5,5 – 6,8) se puede corregir mediante la adición de enmiendas como cal y/o azufre. Los sustratos se pueden clasificar en sintéticos, orgánicos y minerales. Para obtener un sustrato con las características adecuadas usualmente se hacen mezclas de componentes minerales y orgánicos.

PROPAGACIÓN DE PIMENTÓN

Una plántula de pimentón bien formada y lista para trasplantar debe tener mínimo 4 hojas verdaderas, con un tamaño promedio de entre 10 y 12 cm y con el 80% del *plug* o pan de tierra cubierto por raíces (Figura 3). El período de plantulación dura entre 45 y 50 días.



Figura 3.
Plántula de pimentón recién transplantada.

MATERIAL VEGETAL

Dada la complejidad taxonómica existente en el pimentón, es difícil establecer una clasificación homogénea que agrupe las distintas variedades. Smith *et al.* (1978) propusieron una clasificación estableciendo siete agrupaciones principales, a las que se llegaba a través de caracteres morfológicos del fruto (tamaño y forma), evolución del color de este en el proceso de la maduración, y sabor picante, entre otros. En cada una de estas agrupaciones (I a VII) se establecen diferentes criterios morfológicos, fisiológicos y características organolépticas (Maroto, 1995). Desde el punto de vista práctico existen tres grupos varietales:

- **Variedades dulces:** suelen tener frutos de tamaño grande; son los que se cultivan en invernaderos y su cultivo está muy extendido para el consumo en fresco y la industria de conservas.
- **Variedades con sabor picante:** muy cultivadas en Suramérica, suelen ser variedades de fruto largo y delgado.
- **Variedades para la obtención de pimentón:** que en realidad son un “subgrupo” de las variedades dulces.

En Colombia las variedades más cultivadas son de tipo lamuyo y california:

- **Tipo lamuyo:** son frutos largos y cuadrados, con pulpa gruesa. También llamados rectangulares.
- **Tipo california:** son frutos con 7 a 10 cm de longitud y 6 a 9 cm de ancho. Son de pulpa gruesa y se diferencian del tipo lamuyo en que tienen cuatro hombros bien marcadas. También se les llama cuadrados.

EVALUACIÓN DE MATERIALES DE PIMENTÓN

En el Centro de Bio-Sistemas (CBios) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano se llevó a cabo una investigación con el fin de evaluar el comportamiento y adaptación de diferentes híbridos de pimentón rojo y *gourmet*.

METODOLOGÍA

Para la investigación se dispuso el invernadero F del CBios. Este invernadero de vidrio tipo venlo tiene un área de 1.000 m² y se encuentra dividido en cuatro secciones (F1A, F1B, F2A y F2B), cada una de 250 m² (Figura 4).



Figura 4.

Invernadero F tipo venlo ubicado en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

En este invernadero se llevaron a cabo dos ciclos completos de cultivo bajo los mismos parámetros de manejo, tales como: podas, tutorado, manejo sanitario y control de la fertilidad. A partir del resultado del análisis de suelos se realizaron las correcciones nutricionales necesarias de acuerdo con los requerimientos del cultivo. La evaluación consideró 13 híbridos de pimentón, siete plantados en el primer ciclo (*gourmet* - colores) y seis en el segundo ciclo (rojos) (Tabla 1).

Tabla 1. Híbridos de pimentón seleccionados para su evaluación bajo condiciones semicomercial

CICLO	HÍBRIDO	TRATAMIENTO	TIPO	EMPRESA
1	Plinio	T1	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Orangery	T2	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Menta	T3	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Zamboni	T4	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Zirconio	T5	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Lirica	T6	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
	Taranto	T7	<i>Gourmet</i> - colores	Rijk Zwaan
2	Magali	T1	Rojos	-----
	Brenan	T2	Rojos	-----
	AF 6529	T3	Rojos	-----
	Brito F1	T4	Rojos	-----
	Dhara	T5	Rojos	-----
	Nathalie	T6	Rojos	Roger seeds

La siembra y trasplante de los materiales se realizó así:

- **Ciclo 1:** siembra 7 de marzo de 2009, trasplante 21 de abril de 2009 y fin de ciclo el 23 de noviembre de 2009.
- **Ciclo 2:** siembra 15 de agosto de 2009; trasplante 29 de septiembre de 2009 y fin de ciclo el 30 de junio de 2010.

Las plántulas se trasplantaron sobre camas de 80 cm de ancho cubiertas con un acolchado plástico, estableciendo dos hileras de plantas por cama con una distancia entre plantas de 60 cm para obtener una densidad de siembra de 2,5 plantas/m² (Figura 5).



Figura 5.

Invernadero F tipo venlo ubicado en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

En ambos ciclos se estableció un diseño completamente al azar (DCA). Para el primer ciclo se tuvieron siete tratamientos (Tabla 1) y cuatro réplicas por tratamiento, para un total de 28 unidades experimentales (UE). Para el segundo ciclo se tuvieron seis tratamientos (Tabla 1) y cuatro réplicas por tratamiento para un total de 24 UE. Cada UE constaba de 18 plantas para el primer ciclo y 16 plantas para el segundo ciclo y todo el ensayo se sembró sobre seis camas de 30 m de largo.

Las variables evaluadas fueron:

- **Días a floración y a cosecha:** se determinaron los días desde trasplante a floración y desde trasplante a cosecha para los doce primeros nudos de cada material.
- **Diámetro, longitud y peso de frutos:** se establecieron el diámetro, la longitud y el peso de los frutos cosechados sobre los doce primeros nudos de cada material.
- **Número total de frutos por planta:** se realizó la sumatoria de frutos recolectados por planta sobre los doce primeros nudos de cada material.

- **Producción total (por planta y m²):** se contabilizó la producción total por planta y por m² durante todo el ciclo de cultivo para cada material.

Se seleccionaron cuatro plantas sobre las que se registraba dos veces por semana las variables anteriormente descritas. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey utilizando el paquete estadístico R (R Development Core Team, 2010).

RESULTADOS

DIAS A FLORACIÓN Y A COSECHA

Ciclo 1

El material Zirconio presentó el menor número de días desde trasplante a floración con 107,8 días, mientras que el material Lirica presentó el mayor número de días desde trasplante a floración con 151,1 días (Tabla 2). El material Menta presentó el menor número de días a cosecha desde el trasplante con 175,7 días, mientras que el material Lirica presentó el mayor número de días a cosecha desde el trasplante, con 239,3 días (Tabla 2).

Tabla 2. Número promedio (\pm desviación estándar) de días a floración y a cosecha después del trasplante para los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	DÍAS A FLORACIÓN	DÍAS A COSECHA
Zirconio	107,8 \pm 18,5a	184,0 \pm 40,1b
Menta	112,6 \pm 33,9b	175,7 \pm 39,4a
Zamboni	128,7 \pm 51,9c	203,4 \pm 60,2c
Plinio	131,6 \pm 41,9d	216,4 \pm 58,0d
Taranto	132,2 \pm 37,9d	217,5 \pm 56,1de
Orangery	141,0 \pm 47,3e	21,3 \pm 47,9e
Lirica	151,1 \pm 43,8f	239,3 \pm 40,3f

Promedios con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significantes ($p < 0,05$).

Ciclo 2

El material AF6529 presentó el menor número de días a floración desde el trasplante con 71,8 días, mientras que el material Brenan registró el mayor número de días a floración con 100,5 días (Tabla 3). El material

Dhara presentó el menor número de días a cosecha desde el trasplante con 184,6 días, mientras que el material Brenan presenta el mayor número de días a cosecha con 212,8 días (Tabla 3).

Tabla 3. Número promedio (\pm desviación estándar) de días a floración y a cosecha después del trasplante para los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	DÍAS A FLORACIÓN	DÍAS A COSECHA
AF 6529	71,8 \pm 47,9a	188,4 \pm 35,1b
Dahra	74,6 \pm 46,6b	184,6 \pm 32,7a
Brito F1	82,2 \pm 54,8c	189,9 \pm 38,9bc
Magali	82,7 \pm 52,9c	197,0 \pm 43,7c
Nathaly	95,4 \pm 50,8d	204,0 \pm 39,0d
Brenan	100,5 \pm 54,1e	212,8 \pm 42,1e
Lirica	151,1 \pm 43,8f	239,3 \pm 40,3f

Promedios con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significantes ($p < 0,05$).

DIÁMETRO, LONGITUD Y PESO DE FRUTOS

Ciclo 1

El material Lirica presentó el mayor diámetro con 8,3 cm, mientras que Menta presentó el diámetro más bajo con 6,4 cm. El material Zirconio presentó la mayor longitud de frutos con 12,2 cm, mientras que el material Taranto presentó la menor longitud con 6,0 cm. El material Plinio presentó el mayor peso de frutos con 223,3 g mientras que el material Menta presentó el promedio más bajo con 112,1 g (Tabla 4).

Tabla 4. Diámetro, longitud y peso de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	PESO (kg)
Lirica	8,3 \pm 1,1a	7,5 \pm 2,5c	182,4 \pm 65,7c
Plinio	8,0 \pm 1,2b	11,3 \pm 2,6b	223,3 \pm 54,9a
Orangery	7,8 \pm 0,9c	6,3 \pm 1,6d	144,9 \pm 35,0e
Zamboni	7,7 \pm 0,9cd	7,3 \pm 2,6c	158,6 \pm 66,6d
Taranto	7,7 \pm 0,9cd	6,0 \pm 1,4de	133,5 \pm 45,3f
Zirconio	7,5 \pm 0,9d	12,2 \pm 1,7a	208,7 \pm 49,3b
Menta	6,4 \pm 0,9e	7,4 \pm 2,2c	112,1 \pm 50,9g

Promedios con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significantes ($p < 0,05$).

Ciclo 2

El material Brenan presentó el mayor diámetro, con 21,7 cm, mientras que AF6529 presentó el diámetro más bajo con 6,1 cm. El material Brenan presentó la mayor longitud de frutos con 17,5 cm, mientras que el material Brito F1 presentó la menor longitud con 11,9 cm. El material Brenan presentó el mayor peso de frutos con 268,7 g, mientras que el material Nathaly presentó el promedio más bajo con 135,0 g (Tabla 5).

Tabla 5. Diámetro, longitud y peso de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	DIÁMETRO (cm)	LONGITUD (cm)	PESO (gm)
Brenan	21,7±36,8a	17,5±19,2a	268,7±100,0a
Brito F1	7,4±1,7b	1,9±3,3d	192,0±108,5b
Dahra	7,3±1,3b	14,5±2,9b	191,2±79,2b
Nathaly	6,8±3,4c	13,3±3,3cd	135,0±35,7e
Magali	6,3±0,9d	14,6±3,1b	157,2±55,6c
AF 6529	6,1±1,3de	13,6±4,0c	150,0±74,6d

Promedios con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significantes ($p < 0,05$).

NÚMERO TOTAL DE FRUTOS POR PLANTA

Ciclo 1

Se encontró que el material Taranto presentó la mayor cantidad de frutos por planta con 29,8, seguido de Menta, Orangery y Zamboni, mientras que el material Plinio presentó la menor cantidad de frutos/planta (Tabla 6).

Tabla 6. Número promedio (\pm desviación estándar) total de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	NÚMERO DE FRUTOS
Taranto	29,8±3,6a
Menta	27,6±1,6b
Orangery	26,7±1,0c
Zamboni	25,6±2,4d
Lirica	22,3±2,9e
Zirconio	18,6±0,5f
Plinio	16,8±2,2g

Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Ciclo 2

Se encontró que el material Brenan presentó la mayor cantidad de frutos por planta, seguido de AF 6529 y Nathaly, mientras que el material Brito F1 presentó la menor cantidad de frutos (Tabla 7).

Tabla 7. Número promedio (\pm desviación estándar) total de frutos de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	NÚMERO DE FRUTOS
Brenan	19,1 \pm 28,6a
AF 6529	16,6 \pm 2,7b
Nathaly	15,2 \pm 3,2c
Magali	13,1 \pm 1,5d
Dahra	8,5 \pm 0,8e
Brito F1	6,8 \pm 0,5f

Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

PRODUCCIÓN TOTAL**Ciclo 1**

La mayor producción se encontró para los materiales Lirica, Orangery y Menta, mientras que los materiales Zamboni, Zirconio y Plinio presentaron la producción más baja, todos con 3,0 kg/planta (Tabla 8).

Tabla 8. Producción total de los materiales de pimentón evaluados en el primer ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	kg/planta	kg/m ²	COMPARACIÓN
Lirica	3,3 \pm 0,4	7,5 \pm 1,0	a
Orangery	3,3 \pm 0,5	7,4 \pm 1,0	a
Menta	3,2 \pm 0,3	7,3 \pm 0,6	ab
Taranto	3,1 \pm 0,5	6,9 \pm 1,1	bc
Zamboni	3,0 \pm 0,2	6,9 \pm 0,4	c
Zirconio	3,0 \pm 0,2	6,9 \pm 0,5	c
Plinio	3,0 \pm 0,2	6,8 \pm 0,4	c

Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Ciclo 2

La mayor producción se encontró para los materiales AF 6529, Nathaly y Dhara, mientras que los materiales Brito F1 y Brenan presentaron la producción más baja con 1,4 kg/planta (Tabla 9).

Tabla 9. Producción total de los materiales de pimentón evaluados en el segundo ciclo de cultivo en el CBios.

MATERIAL	kg/planta	kg/m ²	COMPARACIÓN
AF 6529	2,1±0,2	4,8±0,5	a
Nathaly	1,9±0,2	4,3±0,5	b
Magali	1,8±0,2	4,1±0,5	bc
Dahra	1,7±0,1	3,9±0,3	cd
Brito F1	1,4±0,1	3,1±0,3	d
Brenan	1,4±0,4	3,1±0,8	d

Promedios con la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE PRODUCCIÓN

Para la determinación de cuáles materiales son mejores se deben tener en cuenta las condiciones deseables del mismo. Generalmente, el principal requerimiento para cualquier material vegetal en evaluación es su alta capacidad productiva.

Ciclo 1

Con base en la productividad obtenida, los materiales Lirica, Orangery, Menta y Taranto presentan grandes potenciales. En cuanto a precocidad, los materiales Menta y Zirconio muestran una mayor rapidez en comenzar el período de cosechas, lo que también es una condición deseable para cualquier material. En términos generales, dentro de los pimentones de colores el material Menta presentó las mejores condiciones vegetativas, debido a su alto potencial productivo y su precocidad.

Ciclo 2

Al considerar la productividad, los materiales AF 6529, Nathaly, Magali y Dhara presentaron los mejores resultados. En cuanto a precocidad, los materiales AF 6529, Dhara y Brito F1 muestran una mayor rapidez en comenzar el período de cosechas, lo que también es una condición deseable para cualquier material. En conclusión, dentro de los pimentones rojos el material Dhara presentó las mejores condiciones vegetativas, tanto por su alto potencial productivo como por su precocidad.

LABORES CULTURALES

PODAS DE FORMACIÓN

Las plantas de pimentón con crecimiento indeterminado que se siembran bajo invernadero presentan un crecimiento continuo durante todo el ciclo del cultivo. De esta forma se genera un crecimiento vegetativo donde se producen nuevas hojas, tallos y un crecimiento reproductivo que genera órganos vertederos tales como flores, frutos y semillas.

Las podas en las plantas de pimentón bajo invernadero se deben hacer semanalmente debido a que estas producen continuamente nuevos puntos de crecimiento sobre los nudos de los tallos generando de esta forma brotes, flores y hojas. La poda estructurada de la planta permite controlar el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la misma (Gonzales *et al.*, 2008). A través de las podas se mejora la calidad de los frutos y se evita el aborto de brotes, flores y frutos jóvenes al reducir la competencia por fotoasimilados que existe entre estos órganos (Marcelis *et al.*, 2004). Los fotoasimilados son los carbohidratos que sirven de sustrato para crecimiento y desarrollo de la planta, estos son sintetizados en el proceso de la fotosíntesis (Kriedemann & Smart, 1971). Otra función importante de las podas es mejorar la ventilación en la planta, lo que permite la disminución de enfermedades en el cultivo (Horbowicz & Stepowska, 1995).

Cuando se hace un mal manejo de las podas se provoca un retraso en el desarrollo de la planta generando abortos o abscisiones en flores y frutos jóvenes (Figura 6), trayendo como consecuencia fluctuaciones en la producción durante el ciclo de cultivo (Bakker, 1989).

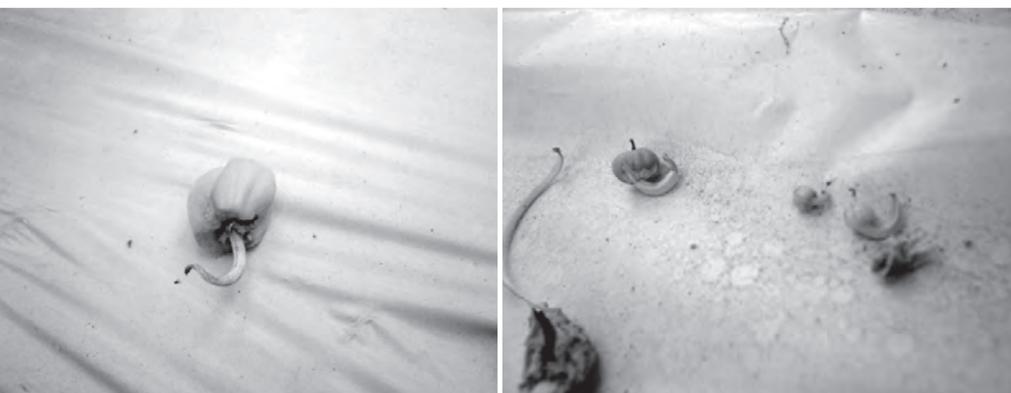


Figura 6.
Aborto de frutos en pimentón.

El crecimiento de la planta de pimentón está basado en la producción de nudos sobre los tallos. Cada vez que se genera un nuevo nudo sobre un tallo, hay una división de este en dos puntos de crecimiento, los cuales forman una horqueta y en medio de ésta se forma un botón floral que

se desarrolla y genera una flor. En la Figura 7 se observa la estructura del nudo de una planta de pimentón con crecimiento indeterminado.



Figura 7.
Estructura del nudo de una planta de pimentón con crecimiento indeterminado.

SISTEMA DE PODA HOLANDÉS CON ESPALDERA EN "V"

Existen diferentes tipos de podas para el manejo de las plantas de pimentón con crecimiento indeterminado. Entre los más utilizados se encuentra el sistema holandés en el cual se busca tener entre dos y tres tallos productivos por planta. Con este tipo de manejo se mejora la calidad de los frutos, más grandes y con mayor peso, pero presenta la desventaja de tener un menor rendimiento por unidad de área frente a otros métodos de manejo (Esiyok & Ozzambak, 1994). Este método utiliza el sistema de tutorado de espaldera en "V" en el cual hay una hilera de plantas por cama.

En la Figura 8 se presenta un esquema de este sistema, donde se observa la distribución sobre una cama en invernadero y se sugieren unas distancias de siembra.

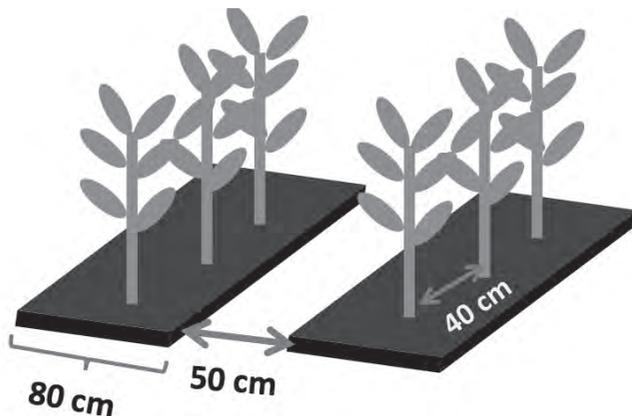


Figura 8.
Distancias de siembra sugeridas con el metodo holandés. El sistema de poda holandés con espaldera en "V" se divide en dos etapas, la primera conocida como poda de formación y la segunda conocida como poda de mantenimiento.

Poda de formación

Aproximadamente dos o tres semanas después de trasplantado el cultivo, las plantas de pimentón presentan una segmentación del eje principal que produce entre dos o tres tallos principales, los cuales forman la primera horqueta de la planta (Figura 9) y en medio de esta horqueta se genera una flor. La poda de formación consiste en retirar la flor que se forma en la primera horqueta de la planta y los brotes laterales que se generan por debajo de esta sobre el eje principal. La flor y los brotes laterales deben ser retirados ya que van a captar la mayoría de los fotoasimilados que la planta está produciendo, provocando un retraso en el crecimiento de los tallos principales que se generaron de la segmentación del eje principal. En la Figura 9 se presenta un esquema con las estructuras que deben ser retiradas durante las podas de formación.

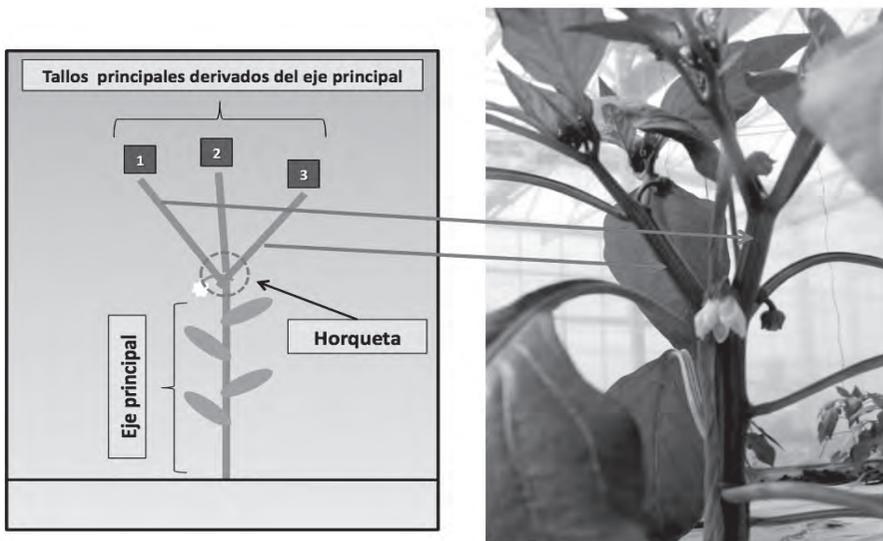


Figura 9.
Formación de la horqueta en plantas de pimeton y segmentación del eje principal.

Poda de mantenimiento

Una vez se retiran los brotes que se forman por debajo de la primera horqueta y la flor que se forma entre está (Figura 10), se debe iniciar con la poda de mantenimiento. Esta poda debe realizarse semalmente, ya que las plantas continúan con su crecimiento produciendo nuevos nudos sobre cada tallo principal. Como se mencionaba anteriormente, el crecimiento de la planta de pimentón está basado en la producción de nudos sobre los tallos y cada vez que se genera un nuevo nudo sobre un tallo de la planta, hay una división del tallo en dos puntos de crecimiento. Es decir, que cada vez que se produce un nudo sobre los tallos principales este se divide en dos brotes que se convierten en dos tallos nuevos. La Figura 11 ilustra la división de tres tallos principales de la planta y cómo estos forman seis tallos secundarios.

La poda de mantenimiento mediante el método holandés busca mantener entre dos y tres tallos principales por planta durante todo el ciclo de cultivo, siendo estos tallos principales los que van a sostener la producción. Siempre se debe seleccionar dentro de cada tallo principal el tallo secundario que presente mayor vigor y se retira o poda el tallo con menor vigor. La Figura 12 explica cómo realizar la selección de los tallos secundarios de cada tallo principal. Cuando se realiza la poda del tallo secundario más débil se debe tener cuidado en dejar una hoja por encima de la flor que se formó en la horqueta debido a que esta hoja brinda fotoasimilados para el fruto que se formará después de polinizada la flor (Marcelis *et al.*, 2004) y, adicionalmente, protegerá el fruto de quemaduras de sol (Figura 20). Esta poda de mantenimiento se debe realizar semanalmente sobre los tallos productivos de la planta durante todo el ciclo de cultivo.

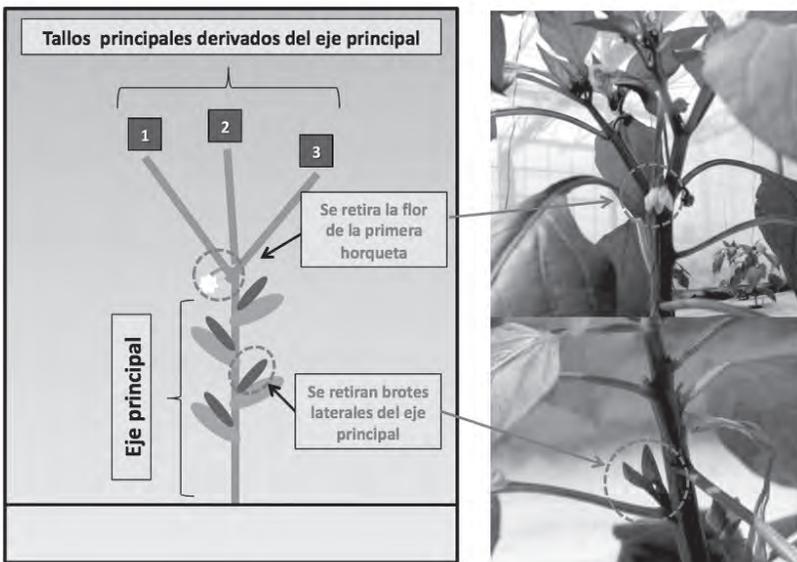


Figura 10.

Podas de formación en plantas de pimentón con crecimiento indeterminado.

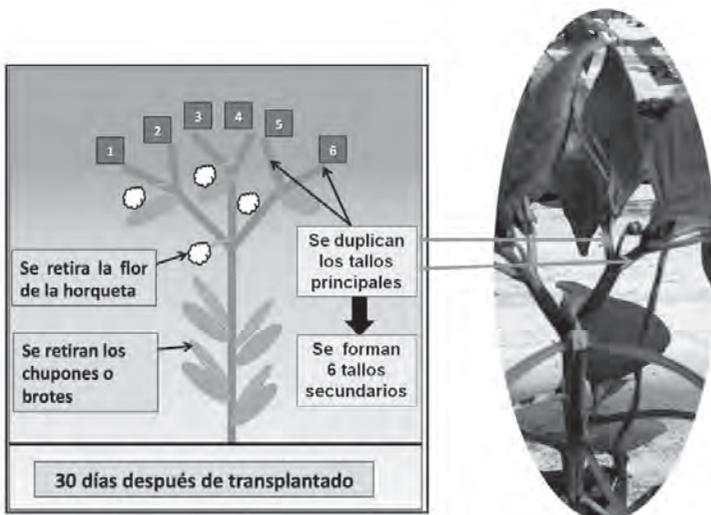


Figura 11.

División de tallos principales y formación de tallos secundarios en plantas de pimentón.

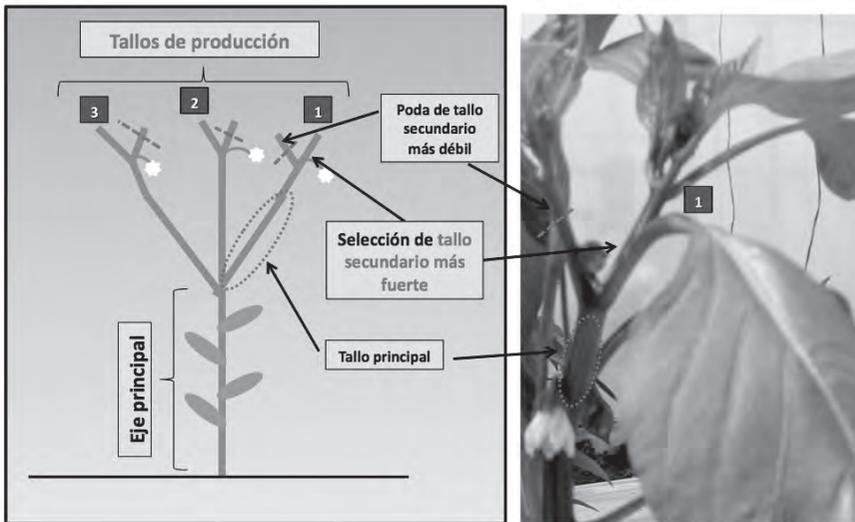


Figura 12.

Poda de mantenimiento en plantas de pimentón manejadas con el sistema holandés.

SISTEMAS DE PODAS ESPAÑOL

Con el sistema de manejo español se busca tener entre cuatro a seis tallos productivos por planta. Este sistema presenta un mayor rendimiento por unidad de área (Esiyok & Ozzambak, 1994) pero tiene la desventaja de requerir más materiales para el tutorado frente al sistema de manejo holandés. La Figura 13 presenta un esquema de este sistema en una cama de producción bajo invernadero. Este sistema de manejo se divide en dos etapas de podas, la primera conocida como poda de formación y la segunda conocida como poda de mantenimiento.

Poda de formación

Al igual que con el sistema de manejo holandés, se espera que a las dos o tres semanas después de trasplantado el cultivo las plantas de pimentón presenten una segmentación del eje principal que produce entre dos o tres tallos principales los cuales forman la primera horqueta de la planta (Figura 9). Una vez se presenta la segmentación del eje principal y la aparición de los dos o tres ejes principales, se realiza la misma poda de formación que se realiza en el método holandés, en la cual se retiran los brotes que se forman por debajo de la primera horqueta y la primera flor que se forma en la horqueta. Esta labor busca no retrasar el desarrollo inicial de la planta debido a una competencia por fotoasimilados con los demás órganos de crecimiento de la planta como los tallos principales que se derivan del eje principal. En la Figura 10 se observan las estructuras que se deben retirar durante la poda de formación.

Poda de mantenimiento

Una vez se retiran los brotes que se forman por debajo de la primera horqueta y la flor que se forma entre esta, el crecimiento de la plantas de pimentón continua y a diferencia del sistema holandés, el manejo español busca que cada tallo principal se duplique y forme dos tallos productivos con el fin de tener entre cuatro a seis tallos de estos por planta, durante todo el ciclo de cultivo. En la Figura 14 se presenta la estructura de una planta de pimentón que produjo tres tallos principales en la primera horqueta, sobre cada uno de los cuales se han desarrollado dos brotes formando los seis tallos secundarios de la planta.

Es importante hacer un seguimiento continuo al desarrollo del cultivo con el fin de detectar cuándo se producen los tallos secundarios de la planta para así iniciar las podas de mantenimiento sobre estos tallos. El crecimiento de los tallos secundarios es similar al de los tallos principales, produciéndose nuevos nudos que provocan la división del tallo en dos puntos de crecimiento lo que genera la duplicación del mismo. A través de las podas de mantenimiento se selecciona el brote más vigoroso y se retira el más débil dejando la flor generada en la horqueta. Estas podas ayudan a mantener los cuatro a seis tallos productivos durante el ciclo del cultivo y se deben realizar semanalmente sobre los tallos en los que hay aparición de nuevos nudos. En la Figura 15 se muestra cómo se debe realizar la selección de los brotes que se producen sobre los tallos secundarios. Se debe tener cuidado cada vez que se retira el punto de crecimiento del brote, debido a que es necesario dejar una hoja por encima de la flor ya que esta brinda fotoasimilados al fruto (Marcelis *et al.*, 2004) y brinda protección a este de los rayos del sol (Figura 20). Si se realizan adecuadamente estas podas es posible aumentar el tamaño de los frutos.

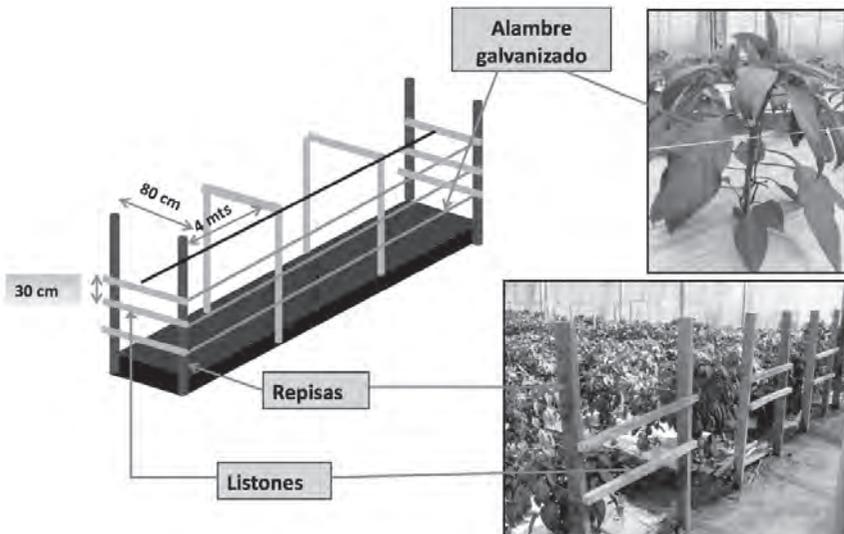


Figura 13.

Esquema de camas de pimentón manejadas con el sistema español.

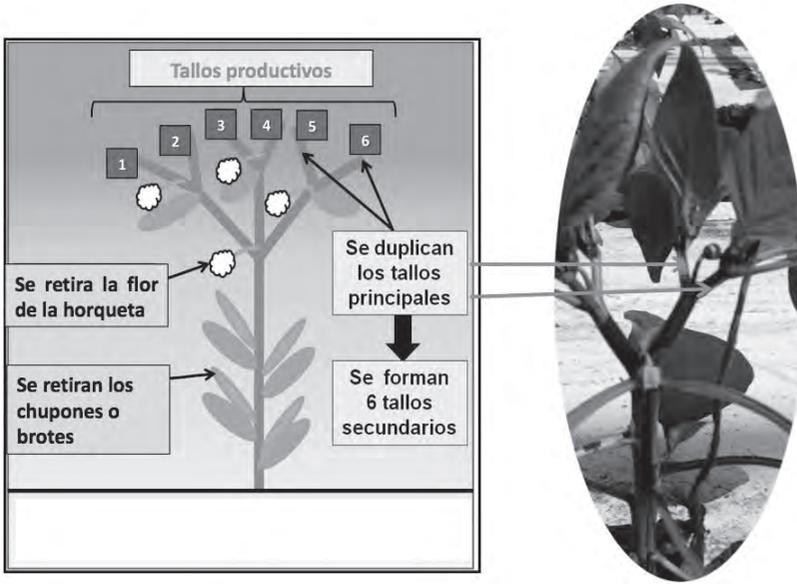


Figura 14.

Estructura de los tallos principales y productivos de la planta de pimentón con el método español.

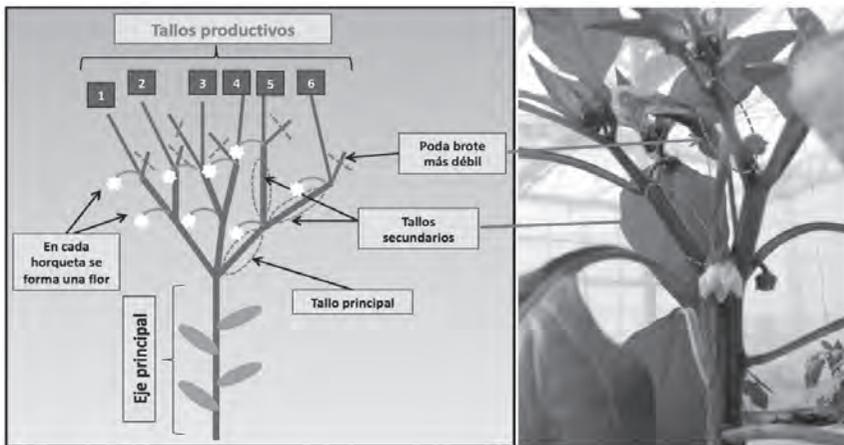


Figura 15.

Estructura de tallos productivos en pimentón con el método español.

TUTORADO DEL CULTIVO

Generalmente los materiales de pimentón que se siembran bajo invernadero son plantas con crecimiento indeterminado, es decir, que nunca pierden su punto de crecimiento y generan continuamente nuevos nudos con flores y hojas. De esta manera las plantas pueden llegar a alcanzar alturas hasta de 1,8 metros, lo que hace necesario emplear un sistema de tutorado que sostenga la planta y evite que se rompan los tallos. Cuando se maneja el cultivo mediante el método holandés, se emplea el sistema de espaldera en "V" en el cual el tallo principal y los productivos son sujetos al tutorado del invernadero mediante una cuerda o hilo. La Figura

16 indica las estructuras de la planta que deben ser sujetadas mediante cuerdas. Con el sistema de manejo español se emplea un sistema de tutorado en forma de canasta que se conoce como espaldera tipo español. En este sistema las plantas son sostenidas verticalmente mediante un sistema de postes y cuerdas que están ubicados a lo largo de la cama. La Figura 13 presenta un esquema de este sistema empleado bajo invernadero.

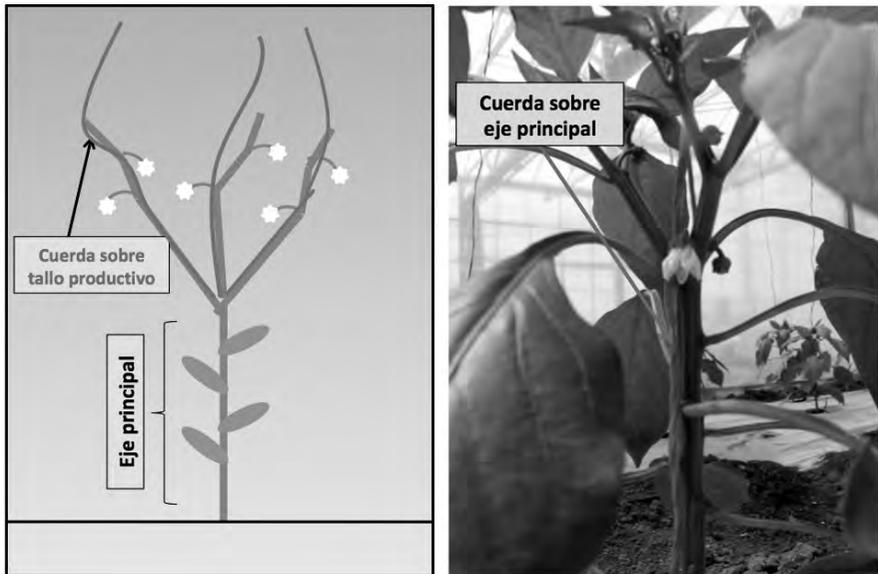


Figura 16.
Sistema de tutorado con el método de manejo holandés.

DESHOJE

Una vez se ha realizado la cosecha de los primeros frutos que se encuentran en la parte inferior de la planta, se deben retirar las hojas que presentan senescencia. Estas hojas al cumplir con su función de generar los fotoasimilados que se distribuyeron para el crecimiento de la planta y de los frutos, deben ser retiradas. Esta labor permite mejorar la aireación al interior del cultivo lo que hace que disminuya la presencia de hongos y de mosca blanca al retirar las ninfas ubicadas en el envés de estas hojas.

RALEO DE FRUTOS

Otro tipo de poda se conoce como poda o raleo de frutos, la cual se debe realizar independientemente del sistema de manejo que se emplee (holandés o español). Esta consiste en retirar de las horquetas que se forman en cada tallo productivo los frutos que presentan deformaciones, quemaduras de sol o tamaños muy pequeños. Esta poda ayuda a mejorar la calidad de los frutos al disminuir la competencia por fotoasimilados que se dirigen hacia frutos sin ningún valor comercial.



ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO Y MANEJO DEL CLIMA

Carlos R. Bojacá
Rodrigo Gil
Edwin Villagrán

ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO

REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL CULTIVO

La temperatura es el factor ambiental que afecta en mayor medida el crecimiento y desarrollo de muchos organismos vivos (Trudgill *et al.*, 2005). Por esta razón plantas como el pimentón se desarrollan de manera ideal cuando crecen en ambientes que presentan ciertos rangos de temperaturas. El pimentón es un cultivo que se desarrolla bien a temperaturas altas (25°C); sin embargo, temperaturas extremas (>30°C) afectan de manera significativa el número de flores, la fecundación y el cuajado de frutos (Mundarain *et al.*, 2005; Rubio *et al.*, 2009). Durante el trasplante las temperaturas ideales dentro del invernadero deben ser de 20°C durante la noche y de 22°C en el día. Durante la época de crecimiento y desarrollo, las temperaturas ideales para el cultivo son de 15 a 19°C durante la noche y entre 22 a 25°C durante el día (Jovicich *et al.*, 2004). Cuando las plantas se desarrollan por fuera de estos rangos, las consecuencias van desde el aumento en la susceptibilidad a la aparición de desórdenes fisiológicos como la pudrición apical (Rubio *et al.*, 2009), hasta la imposibilidad de la planta para la producción de frutos.

DESÓRDENES FISIOLÓGICOS Y CONDICIONES DE ESTRÉS

Los desórdenes fisiológicos son alteraciones en el normal desarrollo de las plantas del cultivo ocasionados por agentes no infectivos (diferentes de plagas o patógenos). Generalmente estos desórdenes son causados por factores ambientales como altas o bajas temperaturas, excesos o deficiencias nutricionales, etc. Una característica importante a tener en cuenta con respecto a los desórdenes fisiológicos es que estos no son contagiosos, es decir, no se pueden transmitir de plantas enfermas a aquellas que se encuentran sanas (Marschner, 1995).

A continuación se presentan los resultados de una revisión bibliográfica a partir de la cual se describen los desórdenes que más comúnmente se presentan en cultivos de pimentón alrededor del mundo. Estas anomalías son el resultado de la interacción de un gran número de factores ambientales tales como: temperatura, humedad, niveles de radiación, estado nutricional e hídrico de la planta.

PUDRICIÓN APICAL

Al igual que en los cultivos de tomate, los frutos de pimentón pueden verse afectados por el desorden conocido como pudrición apical (Rubio *et al.*, 2009). Esta anomalía se caracteriza por la aparición de una lesión en la parte apical de los frutos, la cual al inicio tiene forma circular y es de color blanco pero posteriormente se torna oscura y el tejido colapsa ocasionando su hundimiento (Figura 17). El síntoma se manifiesta indistintamente en frutos maduros e inmaduros. Típicamente esta anomalía se ha asociado a suministro insuficiente de calcio (Saure, 2001), dado que este elemento es responsable de la estabilidad de la pared celular y por lo tanto de la integridad de la célula (Hirschi, 2004). El suministro adecuado de calcio es particularmente importante cuando las plantas presentan sus máximas tasas de crecimiento (Marcelis & Ho, 1999). Sin embargo, altas concentraciones de potasio en el suelo también favorecen la aparición de la pudrición apical (de Kreij, 2005). El estrés salino y un desequilibrio en la solución nutritiva causada principalmente por el alto valor de la relación potasio/calcio favorecen la aparición de frutos con pudrición apical (Ho & White, 2005), especialmente durante el período de llenado de frutos. También se ha encontrado que esta anomalía es favorecida por el exceso de sales en el suelo o en la solución nutritiva (Tadesse *et al.*, 1999). Adicionalmente, un efecto colateral de la salinidad es la reducción en el tamaño de los frutos.



Figura 17.

Fruto de pimentón en grado avanzado de afectación por el desorden conocido como pudrición apical.

Otra condición que favorece la aparición de este síntoma es el rápido crecimiento de las plantas como consecuencia de altas temperaturas. Los frutos presentan una polinización deficiente y como consecuencia bajo número de semillas. Estos frutos también son susceptibles a presentar este síntoma debido a que un menor número de semillas implica menores concentraciones de auxinas (hormonas), las cuales movilizan el calcio hacia los frutos (Rubio *et al.*, 2009).

PIE DE ELEFANTE

Uno de los desórdenes fisiológicos que comúnmente se reporta en cultivos de pimentón bajo invernadero es la aparición de una hinchazón a la altura de las hojas cotiledonales (Figura 18). Esta anomalía ocasiona que las plantas sean susceptibles a la aparición de una pudrición localizada que termina por causar el marchitamiento y su posterior muerte. Este desorden está asociado principalmente a cultivos hidropónicos, aunque también se presenta en cultivos que se desarrollan en el suelo. Las plantas que se ven afectadas por este desorden generalmente se distribuyen al azar dentro del invernadero, aunque es común encontrarlas al final de las hileras (camas). No todas las plantas que presentan el desorden manifiestan el síntoma típico de marchitamiento; sin embargo, el rendimiento de las plantas afectadas se reduce considerablemente (Rubio *et al.*, 2009; Jovicich & Cantliffe, 1999).



Figura 18.

Hinchazón a la altura de las hojas cotiledonales conocida comúnmente como pie de elefante. Apariencia de la base del tallo (izquierda) y de la correspondiente planta (derecha).

Las plantas de pimentón son sensibles a niveles moderados y altos de sales en la solución nutritiva. En diferentes estudios se ha demostrado una alta asociación entre la presencia de los síntomas de las lesiones epidérmicas en la base del tallo (pie de elefante) y la presencia de altas concentraciones de sales (sales del suelo, el agua de riego o fertilizantes) alrededor del tallo; por lo cual se ha sugerido que los daños en la base del tallo pueden ser consecuencia de dos factores principalmente: la acumulación de sales y el exceso de humedad (Jovicich & Cantliffe, 1999). Por esta razón una de las medidas más efectivas para evitar la aparición de este síntoma es apartar el gotero de la base del tallo de las plantas, al menos durante las primeras semanas después del trasplante o realizar estos primeros riegos con regaderas (riego por poma) alrededor de las plantas.

MANCHADO DE LOS FRUTOS

Generalmente se trata de manchas amarillas o marrones en la superficie externa de los frutos. La aparición del síntoma se puede apreciar desde el momento en que los frutos están inmaduros, este daño reduce su calidad visual y ocasionan rechazo por parte del consumidor. La presencia de esta anomalía se ha relacionado con altos niveles de radiación asociados a un escaso sombreadamiento de los frutos y altos niveles de nitrógeno (N) en la solución nutritiva (Rubio *et al.*, 2009; Jovicich *et al.*, 2007). Este síntoma es frecuente en áreas en las que el cultivo del pimentón se ha practicado de manera intensiva, sin embargo, no es común en el contexto nacional.

RAJADO DE FRUTOS

Esta anomalía en los frutos de pimentón se presenta como consecuencia de la ruptura de cutícula cuando están inmaduros al momento del desprendimiento de la flor. Las plantas de pimentón que están expuestas a excesos de humedad son más susceptibles de presentar una alta incidencia de frutos rajados. Las variedades de pimentón que tienen paredes gruesas (> 8 mm) en general son más susceptibles a presentar este síntoma en comparación con aquellos materiales de paredes delgadas (Rubio *et al.*, 2009). Este daño no ha sido observado en las zonas productoras del país.

FRUTOS DEFORMES

La aparición de frutos deformes está asociada a bajas temperaturas durante las horas de la noche. Las temperaturas promedio nocturnas ideales se encuentran alrededor de $17 \pm 1,5^\circ\text{C}$, las cuales aseguran una correcta formación de semillas y una forma regular de los frutos. En zonas donde las temperaturas nocturnas son bajas ($< 15^\circ\text{C}$) también se presenta una disminución considerable en la viabilidad del polen; debido a lo anterior, una práctica recomendada es la utilización de abejorros para favorecer el proceso de polinización, con lo cual se mejora tanto el porcentaje de frutos cuajados como su forma (Figura 19).



Figura 19.

Fruto de pimentón cuya forma regular se ha perdido.

GOLPE DE SOL

Este daño es ocasionado por la exposición de los frutos a la radiación directa del sol en conjunto con la presencia de temperaturas superiores a los 38°C dentro del invernadero (Rabinowitch *et al.*, 1986). El grado del daño será función del estado de desarrollo del fruto. A nivel interno el daño se genera cuando la fotosíntesis es alterada por la temperatura excesiva, haciendo que la radiación genere daños severos en los procesos fotodinámicos (Rabinowitch *et al.*, 1986). Las recomendaciones principales para evitar este tipo de daños consisten en mantener un rango de temperaturas adecuadas dentro del invernadero e impedir que los frutos queden expuestos directamente a la radiación solar (Figura 20).



Figura 20.
Golpe de sol en frutos de pimentón.

MANEJO DEL CLIMA

El presente manual está orientado a promover el desarrollo del cultivo del pimentón bajo invernadero como alternativa comercial al tomate. Actualmente en nuestro país la producción de hortalizas bajo invernadero está dedicada exclusivamente al tomate. De acuerdo con los productores, el tomate es el único producto con la rentabilidad requerida para cubrir los costos adicionales que genera la producción bajo invernadero. A lo largo de este libro y especialmente en el capítulo dedicado al análisis económico se demostrará que alternativas productivas como el pimentón también pueden lograr rentabilidades similares o superiores a las del tomate.

Los invernaderos son estructuras dentro de las cuales se desarrollan actividades agrícolas y cuentan con dos características básicas. La primera es que aíslan al cultivo del ambiente natural, logrando con esto su protección del efecto negativo de ciertas condiciones climáticas adversas tales como lluvias, granizadas, heladas, etc. Esta característica de los invernaderos ha permitido establecer cultivos en zonas que por sus condiciones ambientales naturales resultaban no aptas para el establecimiento de un determinado cultivo. Un ejemplo a nivel local ha sido el uso de invernaderos para la producción de especies ornamentales en la Sabana de Bogotá. La segunda característica importante de los invernaderos es que modifican el ambiente interior permitiendo optimizar las condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo. Los primeros invernaderos no contaban con muchas opciones para el control de variables ambientales y sus estructuras eran bastante simples. A nivel mundial, la tecnología de invernaderos ha evolucionado considerablemente y hoy en día, los invernaderos se tratan de complejas estructuras industriales con una gran variedad de herramientas para manipular el ambiente interno las cuales se seleccionan en función de las necesidades del cultivo (Straten *et al.*, 2010).

Como consecuencia de estas dos características los cultivos que se desarrollan dentro de invernaderos incrementan sus rendimientos, la calidad del producto mejora, se reduce la cantidad de plaguicidas necesarios para mantener controladas las poblaciones de insectos plaga y patógenos y se pueden obtener un mayor número de cosechas por año, en comparación con los cultivos que se desarrollan a campo abierto. Sin embargo, la producción bajo invernadero requiere realizar grandes inversiones para la construcción y mantenimiento de su estructura.

INVERNADEROS EN COLOMBIA

En Colombia el uso de invernaderos para la producción de hortalizas, especialmente tomate, se ha incrementado durante las últimas dos décadas. Según Cooman (2002), de 10 ha en el año 1996, el área cultivada bajo estas condiciones se expandió hasta alcanzar las 200 ha en el año 2002. Actualmente, las estadísticas sobre el área cultivada bajo este sistema productivo no son consistentes y los valores reportados varían entre las 500 ha (Jaramillo, 2009) y las 3.391 ha (Miranda *et al.*, 2009). El cultivo de hortalizas (por ejemplo, pepino o pimentón) bajo invernadero permite incrementar la producción y ayuda a reducir los riesgos relacionados con problemas fitosanitarios generando de esta forma mayores beneficios económicos para los productores (Cooman, 2002). En áreas marginales para la producción de hortalizas el uso de invernaderos hace posible el

establecimiento de cultivos debido a las mejoras que se obtienen en las condiciones climáticas (Bojacá, 2009).

Las características de los invernaderos empleados para la producción de hortalizas son similares a las que tienen aquellos que se emplean para la producción de plantas ornamentales. Para la construcción de estos invernaderos se requieren inversiones bajas comparadas con las que se emplean en otras regiones del mundo (Cooman, 2002). Esto se debe a que la mayoría de los invernaderos empleados no disponen de sistemas de control activo de clima. Esta limitación para controlar factores climáticos contrasta con los objetivos de la agricultura protegida, en la cual, uno de los principios es aumentar el grado de control sobre los procesos biológicos (Cooman, 2002). Uno de los principales problemas en algunas zonas productoras de hortalizas bajo invernadero son las bajas temperaturas durante la noche. Estas se deben, en primer lugar, a las condiciones climáticas externas que se presentan durante la noche. En segundo lugar, a la limitada capacidad que tienen los invernaderos para almacenar el calor capturado durante el día, y lo que se presenta es una rápida pérdida de él hacia la atmósfera (Teitel *et al.*, 2009). Estas bajas temperaturas limitan la producción potencial del cultivo debido a que la tasa de desarrollo de muchos procesos biológicos se ve afectada por esta variable (Trudgill *et al.*, 2005).

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

DISEÑO

Algunos aspectos de diseño que deben ser tenidos en cuenta al momento de la construcción de los invernaderos son los siguientes:

Forma del techo: desde el punto de vista del diseño uno de los objetivos buscados en un invernadero es el de maximizar la cantidad de radiación que ingresa al interior. La forma del techo contribuye a establecer la radiación entrante al área de cultivo. Los invernaderos con techos en forma triangular (tipo capilla), poseen una menor superficie de contacto en comparación con techos en forma de arco. Esta forma triangular del techo es la predominante en los invernaderos colombianos, en buena parte debido a que la estructura de madera no permite la configuración de techos en forma de arco.

Altura: afecta considerablemente el comportamiento climático del invernadero. En general invernaderos bajos tenderán a ser más calientes y húmedos mientras que invernaderos con alturas mayores tendrán una condición climática más fría y con menor contenido de humedad para

una zona climática dada. En invernaderos como los utilizados en Colombia se distinguen dos tipos de alturas: las alturas mínima y máxima bajo la canal. La altura mínima es la que se encuentra en las fachadas del invernadero mientras que la altura máxima es aquella que se encuentra en la parte central del invernadero. Es importante resaltar que estas alturas están referidas al nivel de las canales de desagüe que presentan los invernaderos. De manera general se recomiendan alturas mínimas en la fachada de entre 3 y 3,5 m y máximas de 5 a 6 m en el centro del invernadero.

Ventilación: la ubicación y el área de las aperturas destinadas al intercambio de aire afectan considerablemente las condiciones climáticas dentro del invernadero. Los invernaderos con áreas reducidas de ventilación tienden a acumular calor y humedad durante las horas más soleadas especialmente en las zonas centrales (Bojacá *et al.*, 2009a). Una deficiente renovación del aire interno puede llegar a generar bajas concentraciones de CO₂, limitando en grado variable el proceso fotosintético de las plantas.

La ventilación de los invernaderos colombianos se realiza principalmente a través de las aperturas localizadas en las paredes (ventilación lateral y frontal). Estas aperturas generalmente se abren de abajo hacia arriba lo cual resulta inadecuado bajo ciertas circunstancias; tales como durante mañanas frías en las cuales se desea evacuar el exceso de humedad pero simultáneamente se busca mantener alta la temperatura dentro del invernadero. La decisión comúnmente tomada es abrir parcialmente las ventanas laterales para permitir el ingreso de una pequeña corriente de aire que remueva los excesos de humedad sin afectar considerablemente la temperatura. Sin embargo, el problema es que la apertura estará a la misma altura de la base de las plantas, por lo cual estas actúan como una barrera rompevientos que restringirá la ventilación a los bordes del invernadero. Por esta razón es más útil que la dirección en la que abran las ventanas sea de arriba hacia abajo, así cuando se requieran aperturas parciales estas estarán en la parte superior donde las plantas no cortarán la corriente de aire.

Los invernaderos comúnmente empleados en Colombia también disponen de aperturas en el techo de cada una de las naves, estas áreas de ventilación generalmente son fijas y son configuradas a partir de la diferencia en altura de las tiras (alta y baja) del techo. El propósito de estas ventilaciones es el de que a través de ellas se genere un flujo de aire que permita ventilar las zonas internas del invernadero. Esto es posible debido a la entrada de aire como consecuencia de diferencias de presión en la entrada de la ventilación o por diferencias de temperatura entre el

interior y el exterior del invernadero. La capacidad que tiene un invernadero para ventilarse como consecuencia del flujo de aire desde el exterior hacia el interior depende de la velocidad del viento y la superficie del área de ventilación. Estas ventilaciones generalmente se construyen en el sentido opuesto a la dirección predominante del viento (para evitar excesos de presión sobre la estructura) con una superficie pequeña en la mayoría de los casos. Esta característica de diseño hace que la ventilación como consecuencia del flujo exterior sea baja. Cuando se logra el ingreso de flujos de aire estos se mueven principalmente cerca del techo del invernadero y su efecto sobre las plantas es mínimo.

Por otro lado, la ventilación también se puede presentar como consecuencia de la diferencia entre la temperatura interior y exterior del invernadero. Cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura externa e interna mayor es el flujo de aire, siendo este fenómeno conocido como efecto térmico. Sin embargo, para que este flujo se dé se requiere que exista una gran diferencia de temperatura. Según El-Ghoumari (2004), la ventilación cenital como consecuencia del efecto térmico solo es efectiva cuando las velocidades del viento son bajas y los diferenciales de temperatura son altos. En el caso de una velocidad del viento de alrededor de 1 m/s la ventilación cenital por efecto térmico se daría cuando la diferencia entre el interior y el exterior del invernadero fuera de 9°C. Por estas razones las ventanas cenitales parecen ser poco eficientes para ventilar el invernadero durante el día; sin embargo durante la noche la condición del diferencial de temperatura sí se cumple. Es en la noche cuando se genera un flujo de aire desde el interior del invernadero en el cual se fuga la energía capturada por este durante el día.

Cuando se contemple en el diseño del invernadero la construcción de ventilaciones en el techo se recomienda intercalar su orientación, es decir, unas a favor de la corriente de aire y otras en contra. También es recomendable la instalación de algún dispositivo o accesorio que permita el cierre de estas ventilaciones durante las horas de la noche con el fin de reducir la pérdida de calor como consecuencia de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. Las condiciones climáticas de la zona donde se vaya a construir el invernadero determinará el tamaño de las ventilaciones en el techo. En climas fríos se recomienda que el tamaño de la ventilación se encuentre entre los 0,3 y 0,5 m mientras que en climas cálidos se pueden llegar a considerar aperturas hasta de 0,7 m.

En la Tabla 10 se pueden apreciar los principales diseños de invernaderos utilizados en Colombia.

Tabla 10. Principales diseños de invernaderos utilizados en Colombia

TIPO INVERNADERO	IMAGEN
<p>Cachuchas: son estructuras diseñadas para proteger los cultivos de la lluvia directa, son muy utilizadas en el eje cafetero en cultivos de tomate, su estructura está compuesta por postes de guadua y alambre para la sujeción del plástico. Se diferencian de las cubiertas básicamente porque este tipo de construcción no cubre con plástico toda el área sembrada sino básicamente a la zona superior de la hilera del cultivo. Su eficiencia es muy cuestionada.</p>	
<p>Cubiertas: son estructuras construidas generalmente en madera, que carecen de cercha en la zona de la cubierta, el plástico es sujetado a guayas que descansan sobre una estructura vertical compuesta por postes de madera. Se diferencian de los invernaderos espaciales porque carecen de paredes laterales y frontales dejando el cultivo muy expuesto a las corrientes de viento directas, tanto en el día como en la noche. Adicionalmente, como no poseen estos elementos laterales y frontales se tiene el inconveniente de que el calor ganado durante el día se escapa rápidamente en las primeras horas de la noche.</p>	

IMAGEN	TIPO INVERNADERO
	<p>Tradicional (capilla) de madera: estructura construida totalmente en madera. Es la estructura más utilizada en nuestro país principalmente por su bajo costo y su facilidad de construcción. Aunque requiere mucho más mantenimiento su vida útil es muy corta en comparación con otros modelos, son invernaderos que presentan problemas de ventilación en construcciones con áreas superiores a los 1.000 m². A igual altura cenital tienen menor volumen de aire encerrado en comparación con invernaderos multitúnel lo que se traduce en menor inercia térmica generando así una estructura con un comportamiento térmico muy sensible a los cambios de las condiciones climáticas externas. Por la forma de su cubierta plana tiene una transmisión de luz hacia al interior del invernadero cercana al 70% de la radiación incidente.</p>
	<p>Tradicional (capilla) metal-madera: este tipo de invernadero conserva la misma geometría del modelo de madera, pero con la diferencia de que las columnas son metálicas generando así una estructura más estable desde el punto de vista estructural. En cuanto a su comportamiento climático sigue manteniendo los inconvenientes del modelo de madera.</p>

TIPO INVERNADERO	IMAGEN
<p>Tradicional (capilla) metálico: esta estructura de invernadero sigue manteniendo la geometría de los modelos tradicionales; su estructura está compuesta de unas torres perimetrales y paralelas interiores construidos en perfiles metálicos y una cerca construida en varilla de acero o ángulo metálico. Estos tipos de invernadero tienen una vida útil más larga y una resistencia mayor a las corrientes de viento que los dos modelos mencionados tradicionales con madera. En cuanto a su comportamiento climático sigue manteniendo los inconvenientes del modelo tradicional.</p>	
<p>Espacial: son estructuras que se caracterizan por no tener cerca en la zona de la cubierta, lo que favorece la transmisión de luz hacia el cultivo, a causa del menor sombreadamiento, pues la cantidad de elementos estructurales en la zona de la cubierta es inferior al modelo tradicional. El plástico es fijado a guayas que están suspendidas generalmente a postes de concreto. Son estructuras de gran altura, aumentando la inercia térmica de la estructura, lo que sin duda le da unas características que mejoran notablemente el comportamiento climático dentro del invernadero.</p>	

IMAGEN	TIPO INVERNADERO
	<p>Multitúnel: son invernaderos contruidos totalmente en acero galvanizado, poseen características estructurales que le dan una alta resistencia a las fuertes corrientes de viento. La forma de la cubierta es semi-circular, lo que sin duda le da ventajas desde el punto de vista de transmisión de luz (cerca del 90% de la radiación solar incidente es transmitida al cultivo) lo que mejora el proceso fotosintético de la planta y esto se traducirá en mayor productividad. Poseen mayor área de ventilación, ya que permiten la instalación de ventanas cenitales enrollables en el techo, favoreciendo de manera directa el movimiento de flujo de aire dentro de la estructura. Encierran grandes volúmenes de aire en su interior, aumentando la inercia térmica de la estructura, generando un invernadero térmicamente muy estable.</p>
	<p>Venlo: son estructuras de invernadero muy utilizadas en Europa del norte, en países como Holanda y Bélgica. Su cubierta está compuesta por un material rígido generalmente vidrio, el cual descansa sobre una estructura en acero galvanizado, carece de ventilación lateral y frontal. Este tipo de invernadero, por las características constructivas y del material de cubierta ofrece el mejor comportamiento térmico, en comparación con las estructuras anteriormente mencionadas y si se cuenta con elementos de control climático, ofrece un alto grado de control de las condiciones ambientales en su interior, además de ser muy eficiente en el uso de la energía. Uno de sus inconvenientes es su alto costo de inversión.</p>

CONSTRUCCIÓN

En la construcción de los invernaderos se hace énfasis en dos aspectos: el material empleado como cubierta y la estructura. En el trópico el material de cubierta más empleado es el polietileno de baja densidad (plástico). Dentro de las diferentes características que debe tener un buen plástico, una de las más importantes es la de presentar una alta transmisión de la radiación solar, es decir, plásticos que permitan el ingreso de la mayor cantidad de radiación posible al área interna de cultivo (Figura 21).



Figura 21.
Plásticos utilizados para construcción de invernaderos.

La estructura debe estar construida para que soporte el material de cubierta y las tensiones que sobre ella puedan generar factores como el viento o la lluvia. Idealmente el invernadero también debería poder soportar el peso de las plantas, y así evitar la instalación de una estructura adicional para el tutorado de las mismas. El material que comúnmente se emplea para la estructura es la madera (Figura 22); sin embargo, por su baja durabilidad e incapacidad para soportar la carga del peso de las plantas, alternativas como las estructuras metálicas (Figura 22) han tenido cierto grado de penetración en el mercado colombiano.



Figura 22.
Invernadero de madera (izquierda), guadua (centro) y de metal (derecha).

La manera como se fija el plástico a la estructura afecta su duración. El uso de grapas y puntillas crean orificios sobre la cubierta (Figura 23); esto, sumando a la tensión a la que se ve sometido el material incrementa la susceptibilidad a rupturas por corrientes de viento o acumulación de agua. Aunque a nivel local no hay mayor desarrollo al respecto, se debería preferir fijar la cubierta a la estructura mediante algún sistema de presión para evitar los problemas antes mencionados (Figura 23).



Figura 23.
Sistema de fijación de plástico tradicional (izquierda) y a presión (derecha).

La vida útil de un plástico para invernadero es variable y dependerá de factores tales como su instalación, el nivel de mantenimiento y las condiciones ambientales de la zona donde esté colocado. Un plástico en el mejor de los casos puede llegar a tener una vida útil de 2,5 años, momento en el cual los aditivos han perdido su efectividad y el material ha perdido muchas de sus propiedades físicas, haciendo que sea muy fácil su rotura. Con el fin de aprovechar al máximo el plástico en un invernadero es recomendable hacer lavados al material cada seis meses con el fin



Figura 24.
Plástico con suciedad acumulada.

de eliminar la suciedad acumulada (Figura 24). Esta práctica permite mantener el plástico en una condición adecuada y adicionalmente, mantiene en el máximo nivel posible la entrada de radiación al área de cultivo.

de eliminar la suciedad acumulada (Figura 24). Esta práctica permite mantener el plástico en una condición adecuada y adicionalmente, mantiene en el máximo nivel posible la entrada de radiación al área de cultivo.

SISTEMAS ASOCIADOS

Asociado a los invernaderos generalmente se encuentran otros sistemas que incrementan su funcionalidad, a continuación se presentan y describen algunos de los más utilizados localmente.

Pantallas térmicas: una de las principales herramientas para retener la energía capturada durante el día y lograr mantener temperaturas altas durante las horas de la noche es el uso de pantallas térmicas móviles. Las pantallas térmicas son tejidos elaborados a partir de filamentos de aluminio o láminas de acrílicos y polímeros plásticos. Las pantallas térmicas

se emplean para disminuir la pérdida de energía en forma de radiación de onda larga durante la noche (Papadopoulos & Hao, 1997). Este tipo de pantallas provocan un aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero, del cultivo y del suelo (Figura 25).



Figura 25.
Pantallas térmicas metálicas (izquierda) y plásticas (derecha).

Ductos inflables: la utilización de ductos plásticos inflables ubicados a lo largo de las aperturas fijas del techo es una alternativa económica que han encontrado los productores con el fin de reducir las pérdidas de temperatura especialmente durante la noche en zonas de clima frío. Estos ductos son inflados mediante un ventilador el cual se activa al final de la tarde y se mantienen en operación durante toda la noche (Figura 26).



Figura 26.
Ductos inflables

Acolchados: son cubiertas plásticas extendidas sobre la cama de cultivo. A través de ellas se siembran las plantas abriendo orificios de permiten el normal desarrollo de las plantas. Los acolchados traen múltiples benéficos entre los que se destacan una disminución en la población de malezas, incremento de la temperatura del suelo lo cual ayuda a la liberación y adsorción de algunos nutrientes minerales como el fósforo y por último ayuda a conservar la humedad del suelo (Figura 27).



Figura 27.
Acolchados plásticos.

RESULTADOS DE INVESTIGACIONES

Uno de los objetivos específicos del proyecto dentro del cual fue posible la realización del presente manual fue el de desarrollar invernaderos en función de las condiciones climáticas locales y adecuados para maximizar el desarrollo de los cultivos de pimentón. El desarrollo de este objetivo se abordó desde la fase de diseño modificando la configuración de las ventilaciones de un invernadero comercial disponible en el mercado colombiano. La herramienta utilizada para optimizar dicho invernadero fue el diseño asistido por computador empleando el método de dinámica de fluidos computacional para la solución matemática del flujo de aire al interior del invernadero. La utilización del diseño asistido por computador aplicado a la solución de este tipo de problemas es relativamente novedosa en el país, y entre sus ventajas están el ahorro de tiempo y dinero al no tener que construir prototipos reales de los diseños, así como la posibilidad de evaluar diferentes configuraciones de invernaderos en períodos de tiempo bastante reducidos.

METODOLOGÍA

El invernadero experimental a partir del cual se hicieron las modificaciones consistió en un invernadero multitúnel de cuatro naves con cubierta de polietileno y un área total de 1.920 m². Las dimensiones de cada nave fueron de 8 m de ancho x 60 m de largo y el invernadero se orientó en dirección norte-sur. El invernadero contó con ventilaciones tanto en los costados laterales como en las fachadas así como ventilaciones cenitales fijas en todas las naves. La ventilación cenital estaba complementada por dos ventanas cenitales enrollables en la parte central del invernadero. A partir de este invernadero experimental se diseñaron dos modelos adicionales

de invernadero, donde las modificaciones estuvieron relacionadas con la orientación de las aperturas cenitales fijas así como el radio de curvatura de la cubierta. La descripción de los tres modelos evaluados se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción de los modelos experimentales de invernaderos evaluados.

Invernadero	Descripción	Esquema
1	Altura bajo la canal de 3 m y altura bajo la cumbrera de 5 m. Ventana cenital fija de 0,7 m en las cuatro naves, orientadas todas en la misma dirección. Presencia de ventanas cenitales enrollables en las naves 2 y 3, con apertura de 2,7 m cada una.	
2	Altura bajo la canal de 3 m y altura bajo la cumbrera de 5 m. Ventana cenital fija de 0,7 m en las cuatro naves, con orientación intercalada. Presencia de ventanas cenitales enrollables en las naves 2 y 3, con apertura de 2,7 m cada una. Presencia de barrera vertical de 1 m en la cumbrera de cada nave.	
3	Altura bajo la canal de 3,5 m y altura bajo la cumbrera de 5 m. Ventana cenital fija de 0,7 m en las cuatro naves, con orientación intercalada. Presencia de ventanas cenitales enrollables en las naves 2 y 3, con apertura de 2,7 m cada una. Presencia de barrera vertical de 1 m en la cumbrera de cada nave.	

La optimización de la ventilación del invernadero prototipo se realizó en dos dimensiones creando un modelo que representara una sección transversal del invernadero. Esta sección transversal se incluyó dentro de un dominio computacional de mayor tamaño (altitud de 50 m x longitud de 132 m). Este dominio computacional estuvo compuesto por una malla no estructurada dividida en 301.344 celdas.

A partir del invernadero prototipo y sus variantes se realizaron simulaciones por computador que consideraron la apertura o cierre total de las ventilaciones laterales, cenitales o enrollables dependiendo del caso simulado. Los resultados de las simulaciones en términos de velocidad del viento y patrones de distribución de temperatura al interior de cada invernadero fueron utilizados para establecer el diseño de invernadero más óptimo.

RESULTADOS

La Figura 28a muestra los contornos calculados de la velocidad del viento así como la distribución de temperatura para la simulación del invernadero experimental. Esta simulación representa la configuración predominante de ventilación en los invernaderos colombianos y resultó ser la que presentó la circulación de aire más deficiente en comparación con los otros casos simulados. Las velocidades del viento en todo el perfil del invernadero fueron bajas, especialmente en la zona de la cubierta, donde las velocidades del flujo del aire llegaron a ser casi nulas. En consecuencia, su índice de renovación horario de aire (33,6 volúmenes/hora) fue el más bajo de todos los casos considerados. Este valor de renovación se encuentra muy por debajo de la recomendación para un invernadero ventilado naturalmente, donde se recomiendan índices superiores a los 40 volúmenes/hora (Montero, 2006; ASAE, 1991).

Adicionalmente, esta simulación presentó una variación de temperaturas muy marcadas a lo largo del perfil del invernadero generando un microclima interior bastante heterogéneo. Este tipo de situaciones no son recomendables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos ya que pueden llegar a provocar una producción con una importante falta de uniformidad tanto en su cantidad como en su calidad (Bojacá *et al.*, 2009b). Igualmente la generación de zonas con ciertas condiciones de temperatura y humedad favorecen el desarrollo de problemas asociados a plagas y enfermedades.

Las velocidades del viento y distribución de temperatura para una de las simulaciones realizadas con el invernadero 2 se presentan en la Figura 28b. En este caso puede observarse cómo los cambios en la configuración de las ventilaciones hacen que cada par de ventanas sucesivas actúen como pares de entrada y salida de aire. En consecuencia se presentó un aumento en el índice de renovación horaria (38,7 volúmenes/hora) con respecto a la simulación del invernadero prototipo. Los resultados indicaron una mayor homogeneidad del clima dentro del invernadero principalmente en la zona del desarrollo del cultivo; sin embargo, se continuaron presentando inconvenientes con el movimiento del flujo de aire en

la zona de la cubierta registrándose velocidades del viento muy bajas en algunos sectores de esta. Este tipo de situaciones continúan siendo desfavorables dado que la acumulación de humedad en esta zona del invernadero provoca el fenómeno de condensación y posterior goteo sobre el cultivo favoreciendo la aparición de enfermedades.

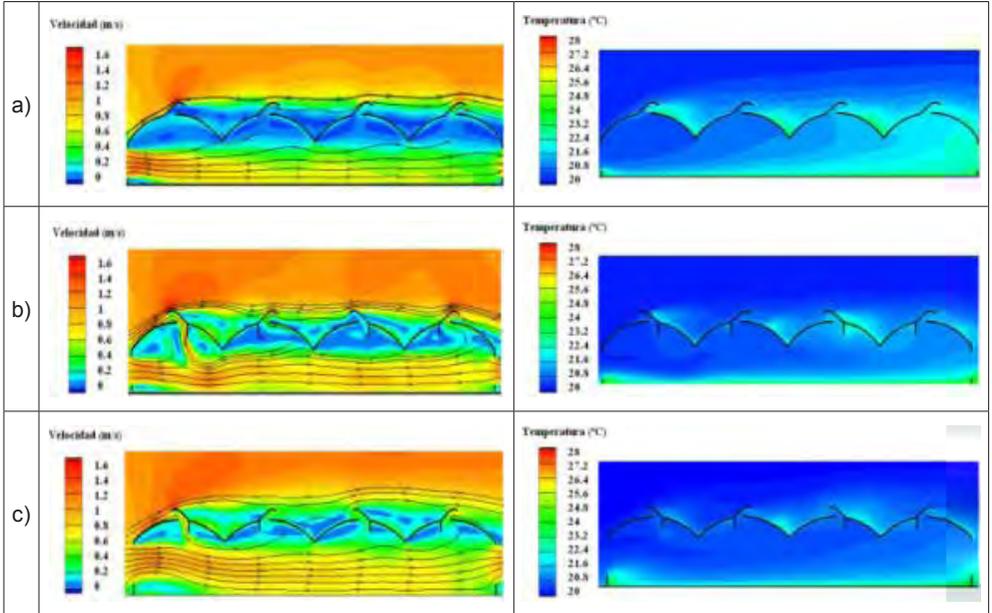


Figura 28.

Patrones de velocidad del viento (m/s) y distribución de temperatura (°C) simulados para: a) invernadero prototipo No. 1, b) invernadero modificado No. 2 y c) invernadero modificado No. 3.

El tercer invernadero basado en el segundo modelo, pero con un radio de curvatura de la cubierta mayor fue generado al aumentar la altura mínima bajo canal en 0,5 m. Los resultados de las simulaciones para este invernadero representados en la Figura 28c muestran cómo estos cambios incidieron de manera positiva en el movimiento de las corrientes de flujo aumentando el índice de renovación horaria (49,9 volúmenes/hora). Lo anterior se tradujo en una mayor homogeneidad en el clima interior del invernadero a nivel de la zona de desarrollo del cultivo.

El estudio de ciertas mejoras de la estructura (aumento del radio de curvatura de la cubierta, instalación de barrera vertical en la cubierta) combinado con el estudio de diferentes configuración de ventilación (orientación alterna de ventanas cenitales fijas, combinación de ventanas laterales y cenitales) permitieron maximizar el sistema de ventilación natural de un invernadero multitúnel colombiano aumentando en un 49% el índice de renovación en comparación con el diseño usado actualmente. La capacidad para mantener lo más homogéneas posibles las condiciones climáticas en el interior de un invernadero, dependen en gran medida del diseño estructural de este y de la configuración de su sistema de ventilación.

El diseño asistido por computador es una herramienta de diseño muy potente para sistemas de ventilación en invernaderos. Esta metodología permite evaluar mejoras para ser introducidas a estructuras ya existentes, permitiendo ahorrar tiempo y dinero. La simulación por computador como herramienta de diseño evita la construcción real de prototipos, permitiendo avanzar más rápidamente en el proceso de optimización de la ventilación natural de los invernaderos colombianos dedicados a la producción de especies hortícolas.



RIEGO

Edwin Villagrán
Oscar Monsalve

INTRODUCCIÓN

El riego es la aplicación artificial de agua al suelo con el fin de cubrir los requerimientos hídricos necesarios para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, a fin de obtener niveles de producción y calidad previsibles. Este aporte debe hacerse con un criterio de conservación de los recursos agua y suelo. Para la determinación de las necesidades hídricas y selección del sistema de riego adecuado se deben conocer las relaciones existentes entre el sistema agua-suelo-planta-atmósfera las cuales determinarán no solo la cantidad de agua a aplicar, sino el o los momentos de aplicación.

Para materializar la oferta de agua a un cultivo será necesario contar con un sistema de riego que para beneficio del sistema productivo deberá ser el que mejor se adapte a este. Para esto será necesaria la recopilación de información específica del lugar de establecimiento de nuestro cultivo, en el cual se dimensionará el sistema. Será así necesario conocer datos como: clima, superficie, topografía, cultivo, disponibilidad y calidad de agua, suelos, disponibilidad de energía, mano de obra, etc.

EL AGUA EN EL SUELO

El suelo es un conjunto integrado por una serie de partículas que varían en tamaño y proporción; formando una masa no compacta donde existen espacios vacíos denominados poros, por donde circulan el aire y el agua (Figura 29). En general, en un suelo los poros ocupan un volumen que oscila entre 30 y 45% del total de la masa de suelo. De todos los poros, los de mayor diámetro (macroporos) permiten un paso rápido del agua y solo los de menor tamaño (microporos) son capaces de retener y almacenar agua. En un suelo determinado, el porcentaje total de poros y su tamaño va a depender de la textura y estructura del suelo.

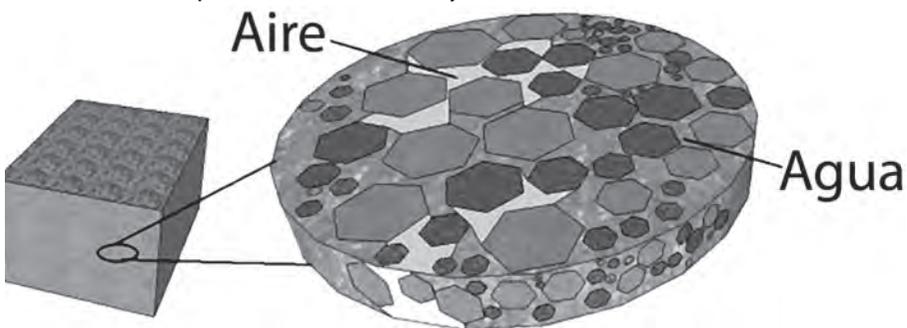


Figura 29.
Detalle de la red de poros del suelo.

El agua presente en el suelo la podemos clasificar desde el punto de vista físico en: agua higroscópica, agua capilar y agua gravitacional (Figura 30).

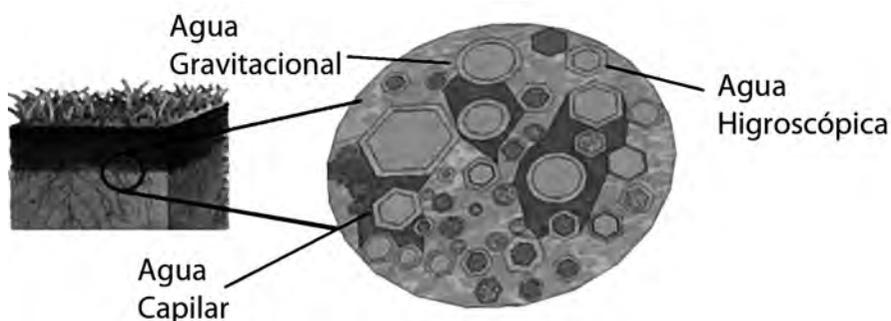


Figura 30.
El agua en el suelo.

Agua higroscópica

Es el agua absorbida directamente de la humedad atmosférica y forma una película fina que recubre las partículas del suelo. Esta agua no está sometida a movimiento y no es absorbible por las plantas. Está fuertemente retenida por fuerzas superiores a 31 atm (Montenegro & Malagón, 1990).

Agua capilar

Contenida en los tubos capilares del suelo. Dentro de ella se distinguen el agua capilar no absorbible y absorbible.

- **Agua capilar no absorbible:** se introduce en los tubos capilares más pequeños ($<0,2$ micras). Está muy fuertemente retenida y no es absorbible por las plantas; la fuerza de succión necesaria para extraerla es de 15 a 31 atm (Montenegro & Malagón, 1990).
- **Agua capilar absorbible:** se encuentra en tubos capilares de 0,2 a 8 micras. Es un agua absorbible por las plantas, constituyéndose en la reserva para los períodos secos. La fuerza de retención varía entre 1 a 15 atm (Montenegro & Malagón, 1990).

Agua gravitacional

No está retenida en el suelo y se puede distinguir entre agua gravitacional de flujo lento y agua gravitacional de flujo rápido en función de su velocidad de circulación.

- **Agua gravitacional de flujo lento:** circula por los microporos del suelo, y tarda de 10 a 30 días en atravesarlo, durante ese tiempo es utilizable por las plantas.
- **Agua gravitacional de flujo rápido:** circula por los macroporos del suelo. Es un agua que no queda retenida en este y es transportada al subsuelo, llegando hasta el nivel freático. Es un agua de poca utilidad, ya que cuando está presente en el suelo los poros se encuentran totalmente saturados de agua, y la falta de aireación no permite la absorción de esta por las plantas (Montenegro & Malagón, 1990).

En función de la cantidad de agua presente en un volumen de suelo se pueden encontrar tres contenidos de humedad: capacidad máxima de retención o saturación, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Capacidad máxima de retención (saturación)

Es el contenido de humedad donde todos los poros de la masa de suelo están saturados de agua y no hay presencia de fase gaseosa en el mismo (Figura 31).

Capacidad de campo (CC)

Es el contenido de humedad donde el volumen de agua presente es la cantidad máxima que puede retener un suelo después de saturarlo (encharcado) y dejarlo drenar libremente durante 24 horas. El agua presente en este contenido se encuentra almacenada en los poros más pequeños del suelo dando lugar así a la presencia de aire en los poros de mayor tamaño (Figura 31). Cuando un suelo está a capacidad de campo la succión necesaria para extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atm.

Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer agua y por lo tanto se marchitan y mueren. La succión necesaria para comenzar a extraer el agua que contiene un suelo en su punto de marchitez es de 15 atm. El agua contenida corresponde al agua higroscópica más el agua capilar no absorbible (Figura 31).

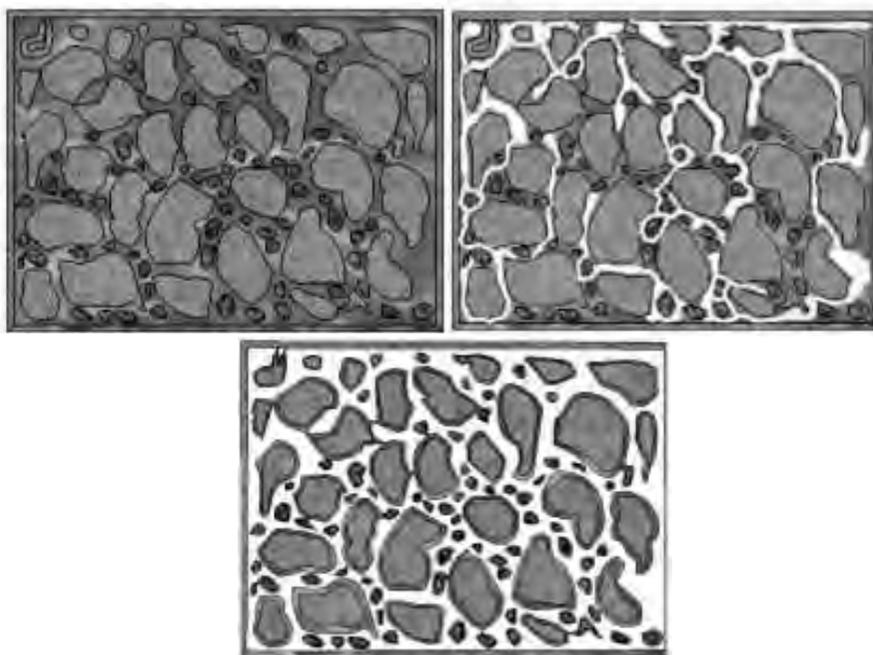


Figura 31.

Suelo en condiciones de saturación (izquierda), de capacidad de campo (CC) (centro) y de marchitez permanente (PMP) (derecha).

Agua útil o aprovechable para las plantas

Representa el volumen de agua que existe entre la diferencia del punto de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. En este volumen de agua se encuentra el agua fácilmente aprovechable por las plantas, que básicamente es el volumen de agua que pueden absorber las plantas con fuerzas de succión pequeñas (0,5 -1 atm). Dependiendo del volumen total de agua útil y del cultivo, entre el 30 y el 50% es agua fácilmente aprovechable para las plantas (Lop *et al.*, 2005).

La comprensión de los anteriores conceptos es el primer paso para lograr el objetivo de planificar y realizar riegos de forma eficiente, pero es esencial comprender que el suelo, el agua y las plantas mantienen un equilibrio dinámico. Así, el agua al caer sobre la superficie, se distribuye entre la fracción que alcanza las capas profundas del suelo a través de la penetración por los espacios porosos y la fracción que vuelve rápidamente a la atmósfera, bien porque se evapora al incidir el sol sobre el suelo desnudo, o bien porque las plantas la transpiran al ser absorbida por las raíces. Por ello, resulta necesario clarificar los siguientes conceptos (Lop *et al.*, 2005):

Escorrentía: es la fracción del agua caída sobre un suelo que al no poder absorberse circula por su superficie.

Percolación o drenaje: es el agua del suelo que llega a profundidades fuera del alcance de las raíces de las plantas.

Infiltración: es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del suelo hacia capas más profundas. Es necesario conocer la velocidad de infiltración (Tabla 12), entendida como los litros por metro cuadrado que puede absorber un suelo en una hora sin que se produzca escorrentía.

Tabla 12. Velocidad de infiltración para distintos tipos de suelo.

TIPO DE SUELO	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN
Arenoso	Más de 30 mm/hora
Franco arenoso	Entre 20 y 30 mm/hora
Franco	Entre 10 y 20 mm/hora
Franco arcilloso	Entre 5 y 10 mm/hora
Arcilloso	Menos de 5 mm/hora

NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO DE PIMENTÓN

Bajo condiciones de invernadero, es esencial conocer las demandas hídricas del cultivo de pimentón, dado que la única fuente de agua que suple las necesidades de las plantas es el riego localizado, que se establece en este tipo de sistemas productivos. Un sistema de riego para invernadero bien diseñado será aquel que dentro de sus características reduzca a su mínima expresión el agua perdida por escorrentía y lixiviación. De esta forma, las necesidades netas de riego serán iguales a la evapotranspiración del cultivo, entendiendo evapotranspiración como el proceso simultáneo de evaporación de agua desde el suelo y la transpiración de la misma a través de los estomas de las plantas. La evapotranspiración del cultivo es un proceso dinámico, afectado por variables de cultivo como el estado de desarrollo, condiciones climáticas (radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento) y de suelo.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_o. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. El

concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo (FAO, 1998).

EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET_p)

La evapotranspiración potencial (ET_p) es la evapotranspiración de un cultivo en función de su grado de desarrollo vegetativo y bajo condiciones de disponibilidad suficiente de agua. En términos simples, significa las necesidades hídricas potenciales de un cultivo y por tanto, depende además de los factores ambientales y de las características genéticas del cultivo, follaje, raíces, estructura estomática, etc. (López, 2007).

La estimación de la evapotranspiración de referencia de un cultivo como la alfalfa, simplifica la estimación de la evapotranspiración de otros cultivos, en condiciones ambientales similares, tomando en consideración las diversas etapas de su desarrollo. La cobertura del suelo por los cultivos no es constante; en realidad los cultivos van cubriendo el suelo de manera progresiva, por lo que la evapotranspiración del cultivo solamente representa una fracción de E_{To}.

COEFICIENTE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE PIMENTÓN (K_c)

La determinación de la ET_p, por su dependencia de los factores biológicos, es más compleja que la determinación de la E_{To}, por lo que para su estimación es necesario relacionar la variación de la E_{To} durante el período de desarrollo del cultivo con mediciones de ET_p. Las relaciones obtenidas se denominan "coeficientes de cultivo" (K_c). Dado que es muy difícil determinar teóricamente las relaciones entre E_{To} y ET_p de cada cultivo, estas se han obtenido mediante mediciones experimentales. Los coeficientes de cultivo (K_c) son definidos por la siguiente expresión (López, 2007):

$$K_c = \frac{ET_p}{E_{To}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Su valor depende del cultivo (especie e incluso variedad), de su ciclo relativo, y de su fenología, así como de las condiciones específicas del cultivo en la explotación: densidad de población, orientación de las hileras de siembra, etc. y de las condiciones climáticas locales. En la Tabla 13 se presenta el valor del coeficiente de cultivo (K_c) para el cultivo de pimentón:

Tabla 13. Valores de Kc para las diferentes etapas de cultivo de pimentón, Sánchez (2003).

CULTIVO	Kc INICIAL	Kc MEDIO	Kc FINAL
PIMENTÓN	0,4	0,85	0,6

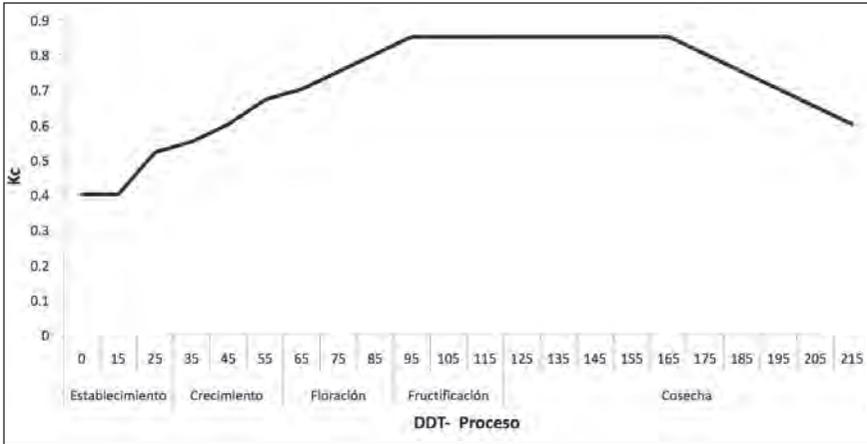


Figura 32. Valores de Kc asumidos en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Sánchez (2003).

NECESIDADES DE RIEGO DEL CULTIVO (ETc)

Las necesidades hídricas del cultivo de pimentón (ETc) se calculan a partir del valor de la ETo para la zona donde se desea establecer el cultivo. En la Tabla 14 se presenta el valor de ETo para diferentes zonas del país, conociendo el coeficiente de cultivo específico del cultivo de pimentón (Kc) (Tabla 13), mediante la siguiente expresión:

$$ETc = ETo * Kc \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

ETc: necesidades hídricas del cultivo (pimentón) en (mm/día).

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día).

Kc: coeficiente de cultivo.

Tabla 14. Valores de ETo para diferentes zonas del país.

MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ALTITUD (msnm)	Eto (mm/día)
Filandia	Quindío	1.600	3,1
San Gil	Santander	1.100	3,8
Villa de Leiva	Boyacá	1.900	2,9
Pereira	Risaralda	1.400	3,3
Medellín	Antioquia	1.475	3,2

EJEMPLO: DETERMINACIÓN NECESIDADES DE RIEGO DEL CULTIVO

Municipio: Filandia (Quindío).

$ET_o = 3,1$ mm/día (Tabla 14).

Densidad de siembra = 2,3 plantas/m² (23.000 plantas/ha).

Kc para pimentón Kc = 1,00 (Tabla 13) siempre se halla el requerimiento para el valor máximo de Kc.

Entonces:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad \text{Ecuación 3}$$

$$ET_c = (3,10 \frac{mm}{día}) * 0,85$$

$$ET_c = 2,7 \frac{mm}{día}$$

$$ET_c = 27.000 \frac{litros}{ha - día}$$

$$\text{Requerimientos de riego} = \frac{ET_c}{N^\circ \text{plantas/ha}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Requerimientos de riego} = \frac{27.000 \frac{litros}{ha/día}}{27.000 \frac{plantas}{ha}}$$

$$\text{Requerimientos de riego} = 1 \frac{litros}{día} \text{planta}$$

Ahora se calculan los requerimientos de riego diarios por semana y por mes (Tabla 15). Vale la pena recordar que el coeficiente de cultivo del pimentón varía según su etapa fenológica. El resumen de este cálculo, que se realizó siguiendo el procedimiento anterior, variando únicamente el Kc del cultivo según el estado fenológico de este (Figura 32) se encuentra en la (Tabla 15).

Tabla 15. Requerimientos de riego para las diferentes etapas fenológicas del cultivo de pimentón en diferentes regiones del país.

MES	SEMANA	Kc	Finlandia	San Gil	Villa de Leiva	Pereira	Medellín
			(mm/día)				
M1	S1	0,4	0,46	0,56	0,43	0,47	0,49
	S2	0,4	0,46	0,56	0,43	0,47	0,49
	S3	0,5	0,57	0,70	0,54	0,59	0,61
	S4	0,55	0,63	0,77	0,59	0,65	0,67
M2	S1	0,55	0,63	0,77	0,59	0,65	0,67
	S2	0,6	0,69	0,84	0,64	0,71	0,73
	S3	0,7	0,80	0,99	0,75	0,83	0,86
	S4	0,7	0,80	0,99	0,75	0,83	0,86
M3	S1	0,75	0,86	1,06	0,81	0,89	0,92
	S2	0,8	0,92	1,13	0,86	0,95	0,98
	S3	0,8	0,92	1,13	0,86	0,95	0,98
	S4	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
M4	S1	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S2	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S3	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S4	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
M5	S1	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S2	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S3	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
	S4	0,85	0,98	1,20	0,91	1,01	1,04
M6	S1	0,8	0,92	1,13	0,86	0,95	0,98
	S2	0,8	0,92	1,13	0,86	0,95	0,98
	S3	0,75	0,86	1,06	0,81	0,89	0,92
	S4	0,75	0,86	1,06	0,81	0,89	0,92
M7	S1	0,7	0,80	0,99	0,75	0,83	0,86
	S2	0,7	0,80	0,99	0,75	0,83	0,86
	S3	0,65	0,75	0,91	0,70	0,77	0,79
	S4	0,6	0,69	0,79	0,64	0,71	0,73

PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La programación del riego se refiere a la determinación de cuándo y cuánto regar. Para esto es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. Con la programación del riego se puede lograr un uso eficiente del recurso agua y lo más importante, una maximización de la producción.

Los métodos de programación del riego se basan en: medida del contenido de humedad en el suelo, medida del estado hídrico de la planta y medida de parámetros climáticos.

MEDIDA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Los sensores que miden el contenido de agua en el suelo permiten conocer cómo el cultivo va extrayendo el agua de este, de forma que el riego puede programarse para mantener un contenido de agua en el suelo entre dos niveles de humedad: el límite superior o capacidad de campo (CC) y el límite inferior o punto de marchitez permanente (PMP). El límite superior es fijado para evitar drenajes, y por tanto lavado de fertilizantes, y el límite inferior representaría el punto a partir del cual el cultivo sufre estrés hídrico. Dentro de los aparatos utilizados para la medición del contenido de humedad del suelo se encuentran:

Tensiómetros: son dispositivos diseñados para estimar la presión de succión necesaria para extraer agua del suelo (Figura 33). Esta presión aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad. Un tensiómetro no mide el contenido de humedad del suelo sino que da una idea del esfuerzo que debe realizar la planta.

Los tensiómetros solo funcionan bien en suelos de textura media o ligera, no en arcillosos y para contenidos de humedad del suelo no demasiado bajos. La escala graduada de un tensiómetro indica un valor de presión expresado en centibares, y estos valores se interpretan de acuerdo a los criterios recogidos en la (Tabla 16).

Tabla 16. Criterios para interpretar lecturas del tensiómetro.

LECTURAS (Cb)	INDICACIONES
10 – 20	Suelo a capacidad de campo.
30	Suelos arenosos: iniciar el riego.
50	Suelos de textura media: iniciar el riego.
60	Suelos arcillosos: iniciar el riego.
Mayor a 70	El nivel de humedad del suelo es lo suficientemente bajo como para que las plantas sufran estrés.

Bloques de yeso: consiste en dos electrodos envueltos en una matriz de yeso. La matriz a su vez está rodeada por una membrana sintética para evitar que se deteriore, y de esta forma queda protegida contra la salinidad. Para obtener una buena medida, los sensores deben situarse en el bulbo húmedo y en la zona de las raíces del cultivo. No son muy precisos y no miden directamente la humedad del suelo, hay que relacionarlos con el potencial matricial del mismo (Figura 33).

TDR (Time Domain Reflectometry): la técnica de reflectometría en el tiempo es un método que mide la constante dieléctrica del suelo por medio del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético que se intro-

duce en el suelo a través de dos varillas de acero inoxidable (Figura 33). El tiempo de recorrido es proporcional a la constante dieléctrica del suelo y únicamente varía con el contenido de agua del mismo. Es un equipo muy preciso que mide directamente la humedad del suelo, su único inconveniente es su costo elevado.



Figura 33.

Tensiómetros (izquierda), bloques de yeso (centro) y TDR (derecha). Fuente: Fernández (2001).

MEDIDA DEL ESTADO HÍDRICO DE LA PLANTA

Estos métodos incluyen técnicas que miden directamente las pérdidas de agua de una parte de la planta, de la planta entera o de un grupo de plantas, o miden características relevantes de las plantas que facilitan la estimación de la transpiración. Los avances en electrónica han hecho que el uso de sensores que monitorean en continuo el estado hídrico de la planta faciliten la toma de decisiones en la programación del riego (Fernández *et al.*, 2001).

El estado hídrico del cultivo puede determinarse mediante la utilización de:

Sensores de variación de diámetros de órganos de la planta: son sensores que miden microvariaciones del diámetro de tallos y frutos (Figura 34). La evolución del diámetro de un órgano presenta dos componentes, uno asociado con el crecimiento del órgano y otro con la pérdida de agua. El diámetro de los órganos vegetales presenta una evolución típica a lo largo del día, con un valor máximo, que se alcanza al final de la noche (período en el que la hidratación de los órganos es máxima) y un valor mínimo, que se alcanza hacia medio día. La diferencia entre ambos valores representa la pérdida máxima de agua que experimenta la planta a través de la transpiración. Una contracción diurna anormal indica la presencia de estrés hídrico en la planta, y esto puede usarse para fijar el límite inferior del contenido de humedad en el suelo (Goldhamer *et al.*, 1999).

Sensores de flujo de savia: el sensor de flujo de savia (Figura 34) da una medida directa de la transpiración y presenta una evolución típica a lo lar-

go del día, alcanzando el valor máximo al medio día, cuando la radiación es máxima, y un mínimo durante la noche. Una evolución anormal durante el día, por ejemplo una caída en el flujo de savia cuando los valores de radiación son máximos, indica una situación de estrés hídrico (Fernández *et al.*, 2001).



Figura 34.

Sensores de variación del diámetro del fruto y del tallo (izquierda y centro), sensor de flujo de savia (derecha).

Fuente: Fernández (2001).

MEDIDA DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Estos métodos se basan en la utilización de parámetros climáticos, es por eso que se requiere de la instalación en campo de una estación meteorológica (Figura 35) lo más completa posible, con el fin de registrar la mayor cantidad de variables climáticas, que utilizaremos para hallar el requerimiento hídrico real del cultivo a partir de expresiones matemáticas. La información que proporcionan los sensores climáticos no puede utilizarse directamente en la gestión del riego y exige que previamente se establezcan relaciones entre el consumo de agua, los parámetros climáticos y el estado de desarrollo del cultivo (Fernández *et al.*, 2001).



Figura 35.
Estación meteorológica remota.

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

La calidad del agua usada para irrigación es determinante para la producción y calidad de los cultivos, mantenimiento de la productividad del suelo y protección del medio ambiente. Por ejemplo, las propiedades físico-químicas del suelo, (ej. estructura, estabilidad de los agregados y permeabilidad) son características muy susceptibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego. Los factores más importantes a tener en cuenta para determinar la validez del agua usada para fines agrícolas son los siguientes:

pH: el pH es un indicador de la acidez de una sustancia que a su vez está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en dicha sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes del agua ya que esta disuelve casi todos los iones. Es necesario que el pH tienda a la neutralidad y que se encuentre al menos, dentro del rango óptimo para irrigación de cultivos (5-8).

Conductividad eléctrica (CE): como en el caso de los suelos, la CE nos indica el contenido de sales que contiene el mismo. Para el caso del agua, esta CE debe estar por debajo de 0,2 dS/m, lo que indica que el aporte de sales al suelo es casi nulo y permite utilizar esta agua para irrigación sin ningún problema.

Cationes: dentro de los cationes más importantes a tener en cuenta en un análisis de agua y que se utilizan como parámetro para diagnosticar la calidad del agua para uso agrícola se encuentran: el contenido de sodio (Na), amonio ($N-NH_4$), calcio (Ca) y magnesio (Mg). El contenido de Na en los suelos proviene principalmente del agua de riego, los elevados contenidos de $N-NH_4$ pueden generar procesos de eutrofización en las fuentes de agua y los niveles de Ca y Mg indican, en principal medida el nivel de dureza del agua. Los contenidos de potasio (K) se deben tener en cuenta como aporte a la solución de fertirrigación pues en caso contrario se generarían desbalances por exceso de aplicación de este elemento al suelo.

Aniones: la medida de carbonatos (CO_3) y bicarbonatos (HCO_3) en un agua de riego está íntimamente ligada con la relación de absorción de sodio (RAS), por cuanto su aumento o disminución depende de la cantidad de iones CO_3 y HCO_3 presentes en el agua. Estos iones se combinan con el calcio y el magnesio precipitándolos en forma de carbonato cálcico ($CaCO_3$) o carbonato magnésico ($MgCO_3$), por consiguiente la concentración de Ca y Mg decrece en relación al Na y el índice RAS es mayor. Esto provoca alcalinización y aumento del pH. Entonces, cuando el análisis del agua indica un nivel alto de pH, esto es una señal de que los valores de carbonatos y bicarbonatos se encuentran altos.

Relación de absorción de sodio (RAS): es un indicador del contenido de sodio en el agua. Altos contenidos de iones de sodio en las aguas para riego, afectan la permeabilidad del suelo y causan problemas de infiltración. Lo anterior porque el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones. El potasio, el calcio y el magnesio son cationes que hacen parte de los complejos estructurales que forman el suelo, generando una estructura granular apropiada para los cultivos. El exceso de iones de Na desplaza el K, el Ca y el Mg provocando la dispersión y desagregación del suelo.

CONCEPTOS PREVIOS DE RIEGO

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubra sus necesidades. Cuando se trata de distribuir el agua por una parcela de cultivo, se encuentran numerosas dificultades que ocasionan pérdidas e impiden que el agua se reparta de forma homogénea.

Para juzgar la calidad de un sistema o instalación de riego se emplean algunos conceptos que es necesario conocer, tales como: uniformidad de riego y eficiencia de aplicación.

UNIFORMIDAD DE RIEGO

La uniformidad de riego se refiere al hecho de que el agua distribuida llegue por igual a todos los puntos del invernadero a regar. Una buena uniformidad garantiza que todas las plantas estén bien regadas, sin que unas reciban agua en exceso y a otras les falte, asegurándose así el desarrollo homogéneo del cultivo y su máxima capacidad productiva. Un coeficiente de uniformidad del 80% indicaría que el 80% de la parcela ha recibido la cantidad de agua deseada, mientras que el 20% restante ha sido regado en mayor o menor cantidad (Figura 36) (Lop et al., 2005).

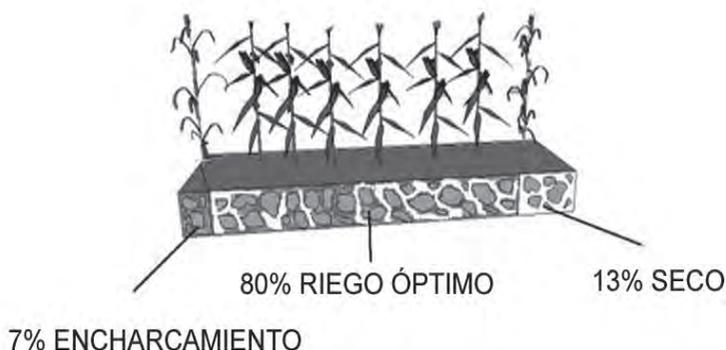


Figura 36.
Uniformidad de aplicación del riego.

EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Del volumen total de agua destinada a riego que sale del reservorio no toda va a ser aprovechada por las plantas, parte de ella no llegará a su destino por diversas causas. La relación entre estas dos cantidades de agua (la que sale del reservorio y la que realmente aprovechan las plantas) es lo que se denomina "*Eficiencia de aplicación*" y se expresa mediante un porcentaje (Lop *et al.*, 2005). Una eficiencia del 75% indica que del total del agua bombeada del reservorio solo el 75% sería aprovechada por las plantas, mientras que el 25% restante tendría destinos diferentes (Figura 37). En el proceso de riego, las pérdidas ocurren en diferentes momentos, pudiendo clasificarse en los siguientes grupos:

Pérdidas de transporte: son las pérdidas generadas por la fricción del flujo de agua en las tuberías de distribución, desde el cabezal de riego hasta la parcela de riego. Aquí se incluyen desde las fugas en tuberías y canales hasta la evaporación, en el caso de conducciones abiertas.

Pérdidas de aplicación: son las pérdidas que tienen su origen en la instalación dentro de la parcela de riego, fugas en las tuberías terciarias y evaporación de la lámina de riego.

Pérdidas en el suelo: una vez en el suelo, el agua puede escurrir al superarse su capacidad de infiltración o al encontrarse saturado, e incluso percolarse a capas profundas a través de los macroporos.

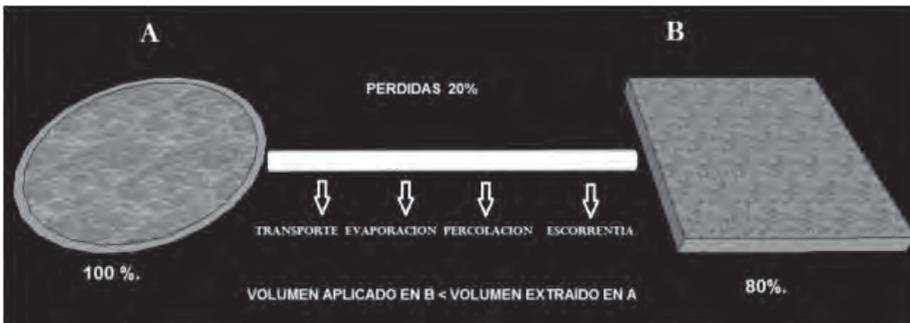


Figura 37.
Eficiencia de aplicación del riego.

RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es un sistema muy utilizado en cultivos bajo invernadero, estos sistemas de riego permiten conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarla a los cultivos a través de goteros que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica. Este tipo de sistemas también se denominan riegos presurizados ya que el agua es conducida

y distribuida en conductos cerrados que necesitan presión para su funcionamiento, desde el punto de vista agronómico se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen del suelo denominado bulbo húmedo que debe ser suficiente para garantizar un buen desarrollo del cultivo y de alta frecuencia, porque permite realizar la cantidad de riegos diarios necesarios que estarán en función del tipo de suelo y las necesidades hídricas del cultivo. Esta posibilidad de realizar riegos frecuentes reduce el riesgo de que el cultivo en algún momento del día presente estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el período del cultivo, lo que sin duda favorecerá el crecimiento y desarrollo del cultivo. Un diseño adecuado de un sistema de riego por goteo deberá garantizar los mejores coeficientes de uniformidad y eficiencias de aplicación. Un equipo de riego por goteo está compuesto por: fuente de abastecimiento de agua, cabezal principal de riego, tuberías de conducción principales, tuberías terciarias, cabezales de campo y laterales de riego con emisores.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

El agua para riego proviene generalmente de fuentes superficiales (ríos o quebradas), con el inconveniente de que en algunas zonas del país el caudal de estas se ve muy afectado en el período seco o no se cuenta con la infraestructura necesaria para su captación. En determinados sitios ha sido necesario recurrir a fuentes más confiables de agua, como lo son las fuentes subterráneas. El agua captada generalmente es conducida a reservorios a nivel predial que tienen la capacidad de almacenar agua para varios días de riego (Figura 38), donde además son recolectadas y aprovechadas las aguas lluvias. Cabe resaltar que existen zonas del país que por su organización y emprendimiento cuentan con distritos de riego con lo cual se garantizaría el abastecimiento continuo de agua.



Figura 38.
Reservorio de agua
para riego.

CABEZAL PRINCIPAL DE RIEGO

Es el lugar físico de la instalación donde se encuentra el conjunto de elementos que permiten el funcionamiento óptimo del sistema y desde donde se dirigen y controlan las operaciones de riego y nutrición de un cultivo, está compuesto por: unidad impulsora de agua, unidad de filtrado, unidad de fertilización, elementos de programación y control de flujo (Figura 39).



Figura 39.
Cabezal principal de riego.

UNIDAD IMPULSORA DE AGUA

Es el principal componente de un sistema de riego presurizado y su función es garantizar el caudal y la presión necesaria para el correcto funcionamiento del sistema en general. Está constituido por una o más bombas cuyo tamaño y potencia dependen del cultivo y la superficie a regar, las más usadas son las bombas de acción centrífuga abastecidas por energía eléctrica (Figura 40) y en menor grado las accionadas con motores de combustión (gasolina o diesel), la selección de la bomba estará en función del caudal del sistema y de la cabeza dinámica total (CDT)

necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.



Figura 40.
Unidad impulsora de agua.

En general, la CDT se calcula por medio de la siguiente expresión:

Ecuación 5

$$CDT = (H_s + H_{fs}) + H_{fi} + H_{ff} + H_{fp} + H_{fv} + P_s) * 1,1 \pm \Delta z$$

Donde:

CDT: cabeza dinámica total (PSI).

H_s: altura de succión (PSI).

H_{fs}: pérdidas por fricción en la succión (PSI).

H_s+H_{fs}: 8 PSI.

H_{fi}: pérdidas por fricción en la fertilización 3 – 8 PSI.

H_{ff}: pérdidas por fricción en el filtrado 10 – 20 PSI.

H_{fp}: pérdidas por fricción en la tubería principal < 20% CDT PSI.

H_{fv}: pérdidas por fricción en la válvula de la sección 3 PSI.

P_s: presión del sistema de goteo 20 PSI.

Δz: diferencia de nivel (PSI), en nuestro caso es lote plano.

En ocasiones, la fuente impulsora de agua es un reservorio que se encuentra ubicado por lo menos 10 metros sobre el nivel del terreno a regar, o una red de distrito de riego presurizada.

UNIDAD DE FILTRADO

Es un componente que tiene como función principal controlar el paso de las impurezas que se encuentren en el agua de riego mediante un filtrado de ésta, e impedir la obstrucción de los emisores y por lo tanto asegurar la uniformidad del riego. Los tipos de impurezas que obstruyen los emisores pueden clasificarse según su origen:

De origen físico: son debidas a partículas de arena, limo y arcilla principalmente.

De origen químico: las sales que se encuentran disueltas en el agua de riego mas las sales fertilizantes que se aportan con los programas de fertilización, principalmente precipitados de carbonatos.

De origen biológico: el agua es el medio en el que encuentran su hábitat natural numerosas especies de microorganismos, especialmente algas y bacterias.

Comercialmente podemos encontrar 4 clases de filtros: hidrociclones, filtros de arena, filtros de discos (Figura 47) y filtros de malla.



Figura 41. Filtro hidrociclón (izquierda), de arena (centro) y de discos (derecha).

La selección de los filtros en una instalación depende de la naturaleza y cantidad de sedimentos y sustancias orgánicas que contenga el agua de riego (Tabla 17).

Tabla 17. Selección de filtros según la fuente de agua.

Fuente de agua	Material obturador	Sistema de filtrado
Aljibe	Arenas-Carbonatos	F. Arena - F. Disco
Pozo profundo	Hierro	Hidrociclón - F. Arena
Ríos o canales	Sedimentos-Materia Orgánica	F. Arena - F. Disco o Malla
	Algas-Bacterias	F. Arena - F. Disco o Malla
Reservorio	M. Orgánica-Algas-Bacterias	F. Arena - F. Disco o Malla

El diseño y la capacidad de filtrado de estos dependerá del caudal del sistema y la calidad del agua de riego (Tabla 18).

Tabla 18. Caudales máximos de filtración en función de la calidad del agua.

CALIDAD DEL AGUA	CAUDAL (m³/h)	CAUDAL (GPM)
LIMPIA	60	264
MEDIA	48	211,2
SUCIA	40	176
RESIDUAL	30	132

EJEMPLO: SELECCIÓN FILTRO DE ARENA

Caudal del sistema = 77 m³/h.

Ø de paso del gotero = 1 mm.

Calidad del agua = sucia.

Hallaremos el diámetro de poro (ϕ poro) del material a usar en el filtro de arena (Tabla 19). Deberá ser 10 veces menor que el ϕ de paso del gotero:

Tabla 19. Materiales porosos utilizados en la fabricación de filtros de arenas.

MATERIAL	CLASE	ϕ EFECTIVO (mm)	ϕ PORO (mm)	EQUIVALENTE (Mesh)
Granito molido	Nº 8	1,5	0,214	70
Granito molido	Nº 11	0,78	0,111	140
Arena sílice	Nº 16	0,66	0,094	170
Arena sílice	Nº 18	0,56	0,08	200
Arena sílice	Nº 20	0,46	0,066	230
Arena sílice	Nº 30	0,27	0,039	400

$$\phi_{poro} = \frac{\phi_{paso\ del\ gotero}}{10} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\phi_{poro} = \frac{1mm}{10}$$

$$\phi_{poro} = 0,1mm$$

Para este caso escogemos el filtro clase Nº 16. $0,094\ mm < 0,1\ mm$, cumpliendo la restricción anteriormente mencionada.

Para la selección de la cantidad de filtros en paralelo y el área de filtrado por (m^2) se utiliza la (Tabla 20), como mínimo siempre deben colocarse dos filtros.

Tabla 20. Selección de filtros en función del caudal del sistema y la calidad de agua de riego.

TANQUES		AREA (m^2)	CAUDAL SEGÚN CALIDAD DE AGUA (m^3)			
ϕ (cm)	CANTIDAD		LIMPIA	MEDIA	SUCIA	RESIDUAL
46	2	0,32	19,2	15,4	12,8	9,6
	3	0,48	28,8	23	19,2	14,4
	4	0,64	38,4	30,7	25,6	19,2
	6	0,96	57,6	46,1	38,4	28,8
	8	1,92	115,2	92,2	76,8	57,6
61	2	0,57	34,2	27,4	22,8	17,1
	3	0,86	51,6	41,3	34,4	25,8
	4	1,14	68,4	54,7	45,6	34,2
	6	1,71	102,6	82,1	68,4	51,3
	8	2,28	136,8	109,4	91,2	68,4

TANQUES		AREA (m ²)	CAUDAL SEGÚN CALIDAD DE AGUA (m ³)			
Φ (cm)	CANTIDAD		LIMPIA	MEDIA	SUCIA	RESIDUAL
76	2	0,91	54,6	43,7	36,4	27,3
	3	1,36	81,6	65,3	54,4	40,8
	4	1,82	109,2	87,4	72,8	54,6
	6	2,73	163,8	131	109,2	81,9
	8	5,44	326,4	261,1	217,6	163,2
91	2	1,31	78,6	62,9	52,4	39,3
	3	1,96	117,6	94,1	78,4	58,8
	4	2,62	157,2	125,8	104,8	78,6
	6	3,93	235,8	188,6	157,2	117,9
	8	7,84	470,4	376,3	313,6	235,2
122	2	2,32	139,2	111,4	92,8	69,6
	3	3,48	208,8	167	139,2	104,4
	4	4,64	278,4	222,7	185,6	139,2
	6	6,96	417,6	334,1	278,4	208,8
	8	13,92	835,2	668,2	556,8	417,6

Finalmente el sistema estará compuesto por filtros de diámetro 122 cm. Cantidad de filtros: dos (2) filtros de arena instalados en paralelo con llaves de paso a la entrada y a la salida, con un área de filtrado de 2,32 m², tendrán la capacidad de filtrar 92,8 m³, valor superior al caudal del sistema.

EJEMPLO: SELECCIÓN DE UN FILTRO HIDROCICLÓN

Se debe seleccionar un sistema de separación de sólidos para el riego (hidrociclón), el sistema de riego funciona con subunidades de riego que a su vez poseen caudales de 20 m³/h.

La selección se hará usando la (Figura 42) y se debe verificar que la pérdida de carga no sea superior a 5 mca (metros de columna de agua).

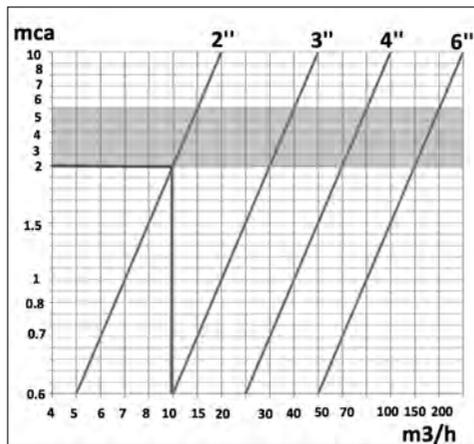


Figura 42.

Selección de filtro hidrociclón en función del caudal de sistema y la pérdida de carga de la columna de agua (izquierda) y pérdida de carga de la columna de agua para los filtros funcionando en paralelo (derecha).

La solución para este caso será instalar dos hidrociclones en paralelo, uno de 2" con dos válvulas de paso a la entrada y salida. En la figura observamos la pérdida de carga para los filtros en funcionamiento.

Puede observarse en la (Figura 42) que la pérdida de carga ocasionada por los filtros en funcionamiento no será mayor a 2,5 mca con lo cual se cumple con la restricción anteriormente mencionada.

EJEMPLO: SELECCIÓN FILTRO DE DISCOS

Estos filtros se instalan después de los hidrociclones o de los filtros de arena. Se seleccionan en función del caudal del sistema (Tabla 21) y de la capacidad de filtrado (en Mesh). En la Tabla 22 se observa el código de color que comercialmente no es más que el color del material de los discos. Esta capacidad debe ser mayor a la del filtro de arena cuando el sistema de filtrado esté compuesto por filtro de arena y filtro de discos.

Tabla 21. Selección de filtro de discos en función del caudal del sistema.

FILTRO (pulgadas)	FILTROS CANTIDAD	CAUDAL (GPM)	CAUDAL (m ³ /h)
1	1	22	5
1 ½	1	44	10
2	1	50	11,3
3	1	100	22,7
3	2	150	34
3	2	200	45,4
3	2	300	68,1

Tabla 22. Selección de filtro de discos en función de su capacidad de filtrado en Mesh.

CÓDIGO DE COLORES						
CODIGO						
Mesh	40	80	120	140	200	600

SELECCIÓN

Caudal del sistema = 17 m³/h.

Instalación de filtro de arena N° 8.

Según estos datos y con la guía de la información de las Tabla 21 y 22, se selecciona un filtro de discos de 3 pulgadas, el cual tiene una capacidad de filtrado de $22,7 \text{ m}^3/\text{h}$, valor superior al caudal del sistema ($17 \text{ m}^3/\text{h}$) y se escoge un filtro de discos de color rojo, el cual filtra partículas hasta con tamaños de 120 Mesh, valor muy superior al de los filtros de arena N° 8, equivalente a 70 Mesh. Esto garantizará que las partículas que hayan sobrepasado los filtros de arena quedarán retenidas en el filtro de discos, siempre y cuando su tamaño no sea inferior al tamaño de filtrado de 120 Mesh.

Adicionalmente, se debe contemplar un sistema de limpieza, pues su obstrucción reduce considerablemente la presión disponible. Para la realización de esta limpieza es recomendable instalar manómetros a la entrada y a la salida. Esta limpieza debe realizarse cuando la diferencia de presión del manómetro de entrada y de salida sea mayor a 7 PSI. Por lo general esta limpieza se realiza de forma manual, destapando y limpiando los filtros, o de forma automática si los filtros cuentan con la tecnología necesaria para realizar este proceso.

UNIDAD DE FERTILIZACIÓN

Es la unidad encargada de inyectar al agua de riego los fertilizantes necesarios para el crecimiento y desarrollo del cultivo, está compuesta por:

Tanques de almacenamiento: son tanques resistentes a la corrosión, fabricados en polietileno, su capacidad depende de las necesidades del sistema, en general se encuentran tanques con capacidad de 200 a 1.000 litros (Figura 43).

Sistemas de inyección:

Tanques de fertilización: son depósitos conectados en paralelo a la red de distribución. El fertilizante se incorpora al agua por diferencia de presión entre la entrada y la salida.

Inyectores tipo vénturi: es un elemento con un estrechamiento que acelera la velocidad del flujo de agua (Figura 43), provocando una pérdida de presión que succiona la solución de fertilizante, inyectándolo al agua de riego. Este tipo de inyector es el más usado, son de bajo costo y tienen una larga duración. Presentan el inconveniente de generar una gran pérdida de carga en el sistema, es por eso que cuando hay limitaciones de presión se requiere de una bomba adicional para realizar la inyección (Figura 43).

Bombas hidráulicas: son dispositivos que introducen la solución contenida en un depósito, accionados por una bomba hidráulica. Tienen el inconveniente de ser sistemas de un costo muy elevado.

La selección del sistema de inyección de fertilizantes dependerá básicamente del presupuesto con que se cuente para la instalación de este componente y del grado de tecnificación y precisión que se desee.



Figura 43.

Tanques de fertilización (izquierda), inyector vénturi (centro) y unidad de inyección de fertilizante impulsado con electrobomba (derecha).

ELEMENTOS DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE FLUJO

Manómetro: es un componente del sistema (Figura 44), que nos permite conocer la presión en cualquier punto del mismo. Suelen utilizarse tanto en el cabezal de riego como en campo, en general lo que interesa es conocer la diferencia de presión existente entre dos puntos del sistema, por ejemplo entre la entrada y la salida de los filtros, para determinar el momento de realizar la limpieza de estos.

Válvulas: son dispositivos que permiten controlar y regular el flujo de agua a través de las tuberías, son elaboradas en diferentes tipos de material (PVC, plástico, bronce, etc.). Existen dos grupos de válvulas, las de operación manual (Figura 44) y las de operación automática (Figura 44). Estas últimas se dividen en dos subgrupos, las válvulas hidráulicas y electroválvulas.

Válvula de retención (cheque): se ubica a la descarga de la bomba, su función es la de evitar que se devuelva la columna de líquido cada vez que para la bomba. Cuando esto ocurre, la columna de líquido sigue avanzando por su inercia, hasta que para y se devuelve, fenómeno conocido como golpe de ariete, si esto ocurre se pueden ocasionar daños en la bomba o en las tuberías por generación de sobrepresiones (Figura 44).

Flujómetros: se utilizan para dejar pasar un caudal determinado, es conveniente colocar un flujómetro en cada unidad de fertilización, con el fin de regular el caudal de solución nutritiva que pasa por el inyector y que va a ingresar al sistema (Figura 44).

Cabezales de campo: son válvulas que se instalan en campo y tienen como función controlar el flujo del agua en cada sector de riego (Figura 44). Pueden ser válvulas simples de operación manual o válvulas de operación eléctrica o hidráulica, controladas a distancia desde el cabezal de riego. Es recomendable en cada cabezal de campo instalar una válvula de alivio de aire.

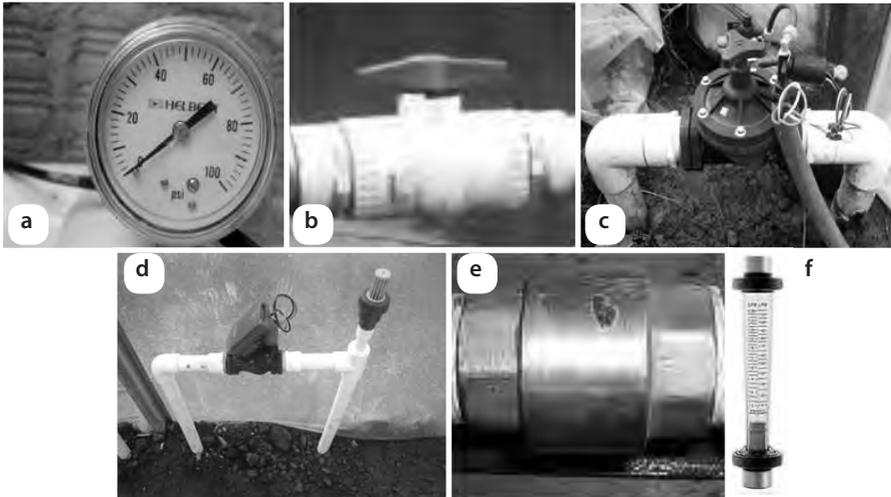


Figura 44.

Manómetro (a), válvula de operación manual (b), válvula de operación automática (c), cabezal de campo (d), válvula cheque (e) y flujómetro (f).

Controladores de riego: los controladores se instalan en el cabezal de riego (Figura 45), tienen como función manejar las operaciones de riego en forma secuencial. El nivel de control del sistema dependerá tanto de la capacidad como del nivel de automatización que este posea. La automatización del sistema de riego no es absolutamente necesaria, sin embargo, presenta las siguientes ventajas: reduce el número de tareas manuales, se tiene mejor control de la frecuencia y láminas de riego, mayor flexibilidad del sistema, se pueden manejar diferentes programas de riego y fertilización y facilidad en el registro y almacenamiento de datos.

Arrancadores: es un elemento de protección de las motobombas eléctricas, permite que de forma segura se administre la corriente que demanda el motor en su inicio, que es el punto más crítico y durante el período de tiempo que se encuentre trabajando, con el fin de protegerlo contra sobrecargas o posibles cortos o fallas de fase, protegiendo y alargando la vida útil del motor de la bomba (Figura 45).

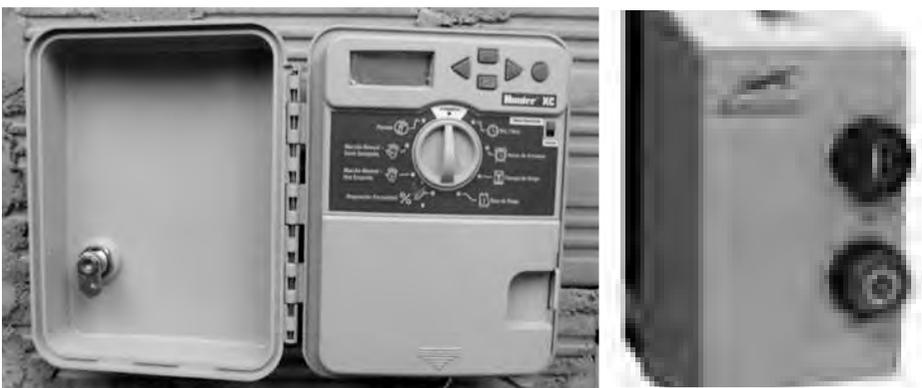


Figura 45.

Controlador de riego (izquierda), arrancador electrobomba (derecha).

TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN

Tubería de conducción principal: es la tubería encargada de conducir el flujo de agua desde el cabezal principal de riego hasta los cabezales de campo. Generalmente se utilizan tuberías de PVC (Figura 46) con diámetros que van desde los 12 mm (1/2") hasta los 600 mm (24") dependiendo del área de irrigación. Para su selección es importante tener en cuenta las presiones máximas que alcanzará el sistema. De acuerdo a eso, comercialmente se encuentran tuberías de PVC de alta presión, con diferentes RDE (relación entre diámetro del tubo y el espesor de la pared) de fabricación. Esta norma fija las presiones de operación máxima a que pueden ser sometidas las tuberías. En caso de utilizar tubería de polietileno se debe garantizar que el sistema no sobrepase presiones de 100 PSI.

Tubería terciaria: es la tubería encargada de conducir el flujo de agua a lo largo del sector de riego, generalmente se utilizan tuberías de PVC o PE de diámetros menores al de la tubería principal, adicionalmente, se le instalan elementos como silletas y bujes de compresión (Tabla 23) para acoplar cada línea de riego. Es recomendable que se instale en el final de esta tubería un tapón roscado (Tabla 23), elemento que permitirá la limpieza del sistema cuando sea necesario (Figura 46).

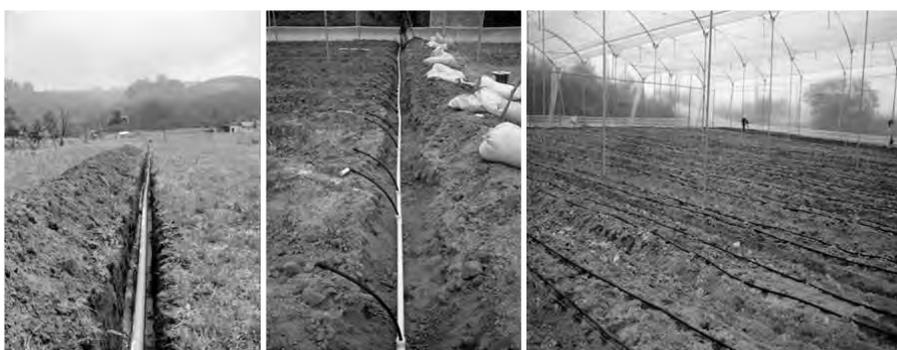


Figura 46.

Tubería principal (izquierda), terciaria (centro) y líneas de riego (derecha).

Líneas de riego: son las tuberías que se ubican dentro del cultivo y son las encargadas de distribuir el flujo de agua a lo largo de la hilera de plantas (Figura 46). Son denominadas también tuberías porta-emisores. El material de fabricación es polietileno de baja densidad, las líneas de riego se conectan a la tubería terciaria a través de conectores iniciales. Estas líneas deben ser obturadas (Tabla 23) al final de cada hilera de plantas con el fin de limitar la salida del flujo de agua en esta zona, permitiendo así que las líneas de riego se carguen y comiencen a funcionar los emisores.

EMISORES

Son dispositivos que se instalan en la línea de riego y su función real es aplicar y controlar la cantidad de agua que llegará finalmente a cada planta por impulso de riego. Deben reunir las siguientes características: caudal uniforme y poco sensible a la variación de presión, poco sensibles a las obturaciones, resistencia a productos químicos y al ambiente, larga vida útil y bajo costo.

Los emisores se pueden clasificar en goteros y cintas:

Goteros: comercialmente podemos encontrar una gran variedad de goteros, de diferente forma y configuración. Los más utilizados operan con caudales de entre 1 y 4 litros/hora.

- **Goteros tipo vórtex (de botón):** en este tipo de goteros, el agua ingresa a una cámara de forma tangencial, originando un movimiento en espiral que ocasiona una pérdida de carga y luego sale al exterior en forma de gota, estos goteros presentan el inconveniente de ser muy sensibles al taponamiento.
- **Goteros de laberinto:** el movimiento del agua en este tipo de goteros se desarrolla en un conducto largo que genera una pérdida de carga por ser un movimiento de régimen turbulento, son goteros poco sensibles al taponamiento. Los goteros de laberinto son los utilizados para crear las líneas de riego interlínea "*in line*" que se encuentra comercialmente en una gran variedad de caudales y espaciamientos entre emisores.
- **Goteros auto-compensados:** son goteros en los que el flujo es de carácter lento y transitorio, intentando obtener un caudal constante, independiente de la presión. El límite inferior de presión de funcionamiento suele estar entre 2-3 PSI y el límite superior entre 20-30 PSI.

Cintas perforadas: poseen emisores espaciados entre 0,10 m a 0,60 m y gran variedad de caudales. Su uso es muy frecuente en cultivos de hortalizas, gracias a su bajo costo. Funcionan ordinariamente a bajas presiones, en general por debajo de 14,7 PSI, poseen una costura en toda su longitud y en la parte interior circuitos en forma de laberinto, formando el gotero con salida al exterior.

ACCESORIOS

Es el conjunto de piezas que se utilizan para ensamblar tuberías y construir los módulos de riego, los accesorios más usados pueden encontrarse en la Tabla 23.

Tabla 23. Accesorios utilizados para la instalación de sistemas de riego por goteo.

ACCESORIOS			
	Uniones: se utilizan para el acople de la tubería principal ya que las longitudes de la tubería de PVC no superan los 6 metros.		Silletas de derivación: se utilizan para realizar la derivación de la tubería terciaria a las líneas de riego.
	Universales: se utilizan para acoplar tuberías cuando se requiera.		Conectores cinta-manguera: se utilizan para realizar conexiones de manguera a cinta de riego.
	Tee: se utiliza para la derivación de la tubería principal a los módulos de riego y a su vez en la construcción de los cabezales de campo.		Obturadores: se utilizan para obturar las líneas de riego al final y evitar el paso del flujo de agua.
	Codos: se utilizan en la instalación de tramos de tubería principal y terciaria en el caso de que existan cambios de dirección en el tramo de construcción de estas a su vez se utilizan en la construcción de los cabezales de campo.		Tapones roscados: se utilizan para taponar las secciones finales de la tubería principal y la terciarias.
	Adaptadores hembra: se utilizan para acoplar los filtros de discos a la red de tuberías.		Teflón: se utiliza para proteger las roscas de los adaptadores macho en la instalación de válvulas o tapones roscados a la red de tuberías, también ayuda a evitar fugas.

ACCESORIOS			
	<p>Adaptadores macho: Se utilizan para acoplar las válvulas a la red de tuberías.</p>		<p>Sellador eterno: se utiliza al momento de acoplar válvulas a adaptadores macho o filtros a adaptadores hembra con el fin de prevenir fugas del flujo de agua.</p>
	<p>Bujes soldados de compresión: se utilizan cuando es necesaria la reducción del diámetro de las tuberías ya sea principal o terciaria.</p>		<p>Limpiador PVC: se utiliza para limpiar tuberías y todos los accesorios de PVC utilizados en la construcción del sistema de riego.</p>
	<p>Bujes roscados: se utilizan para acoplar las válvulas de alivios de aire y de presión, los manómetros a la red de tuberías del sistema.</p>		<p>Soldadura PVC: se utiliza para ensamblar tuberías y todos los accesorios de PVC utilizados en la construcción del sistema de riego.</p>

DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del sistema de riego lo podemos dividir en dos partes: agronómico e hidráulico.

DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico es un componente esencial en todo proyecto de riego, incluye la evaluación del terreno donde se instalará el sistema de riego, la caracterización del suelo, la disponibilidad y calidad de agua, las necesidades de agua de los cultivos, el cálculo de la lámina de riego a aplicar, la frecuencia de aplicación, el tiempo de riego y la decisión del método de aplicación del agua al cultivo (estos temas se han discutido a lo largo del libro).

DISEÑO HIDRÁULICO

En este proceso se definen las características técnicas del sistema, deben seleccionarse los diámetros de tubería adecuados y se debe escoger la red de distribución que genere menos pérdidas de carga y que garantice una eficiencia de aplicación y un coeficiente de uniformidad superiores al 90%.

Para el diseño hidráulico se deben cumplir los siguientes parámetros de diseño:

- La velocidad en la tubería lateral no debe superar 3,5 m/s, mientras que la velocidad en la tubería principal no debe superar 2,5 m/s, con el fin de evitar el ruido excesivo en las tuberías, y que no se presenten fenómenos como cavitación y golpe de ariete, ya que estos podrían ocasionar daños en los equipos del sistema, especialmente en tuberías y en la unidad impulsora (motobomba), o alterar el correcto funcionamiento del sistema.
- La velocidad mínima en las tuberías no debe ser menor a 0,6 m/s, con el fin de evitar la sedimentación de partículas en el sistema.
- Las pérdidas en el lateral de riego y la línea de goteo no deben superar el 20% de la presión de operación (4 PSI). Estas pérdidas pueden hallarse por medio de tablas dadas por los fabricantes de las tuberías (Tabla 24), en función del caudal y del diámetro de dicha tubería.

Tabla 24. Matriz de selección de tuberías en función de la velocidad de flujo y pérdidas por fricción en la tubería.

TAMAÑO	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	TAMAÑO				
OD	0.84	1.05	1.315	1.66	1.9	2.375	2.875	3.5	4.5	6.625	OD				
ID	0.716	0.894	1.121	1.414	1.618	2.023	2.449	2.982	3.834	5.643	ID				
GROSOR PARED	0.062	0.078	0.097	0.123	0.141	0.176	0.213	0.259	0.333	491	GROSOR PARED				
FLUJO GPM	VELOCIDAD Pie/s	LOSS PSI	FLUJO GPM												
1	0.79	0.22	0.51	0.07	0.32	0.02	0.2	0.01	0.15	0.00					1
2	1.59	0.78	1.02	0.27	0.64	0.09	0.4	0.03	0.31	0.01	0.19	0.00			2
3	2.38	1.65	1.53	0.56	0.97	0.19	0.61	0.06	0.4	0.03	0.29	0.01	0.20	0.00	3
4	3.18	2.82	2.04	0.96	1.29	0.32	0.81	0.1	0.62	0.05	0.39	0.02	0.27	0.01	4
5	3.97	4.26	2.55	1.45	1.62	0.48	1.02	0.16	0.77	0.08	0.49	0.03	0.34	0.01	5
6	4.77	5.97	3.06	2.03	1.94	0.67	1.22	0.22	0.93	0.11	0.59	0.04	0.4	0.02	6
7	5.57	7.95	3.57	2.7	2.27	0.9	1.42	0.29	1.09	0.15	0.69	0.05	0.47	0.02	7
8	6.36	10.18	4.08	3.45	2.59	1.15	1.63	0.37	1.24	0.19	0.79	0.06	0.54	0.03	8
9	7.16	12.66	4.59	4.3	2.92	1.43	1.83	0.46	1.4	0.24	0.3	0.08	0.61	0.03	9
10	7.96	15.38	5.1	5.22	3.24	1.74	2.04	0.56	1.55	0.29	0.99	0.1	0.68	0.04	10
11	8.75	18.35	5.61	6.23	3.57	2.07	2.2	0.67	1.71	0.35	1.09	0.12	0.74	0.05	11
12	9.55	21.56	6.12	7.32	3.89	2.43	2.44	0.79	1.87	0.41	1.19	0.14	0.81	0.05	12
14	11.12	8.69	7.14	9.74	4.54	3.24	2.85	1.05	2.18	0.54	1.39	0.18	0.95	0.07	14
16	12.73	36.74	8.16	12.47	5.19	4.15	3.26	1.34	2.49	0.7	1.59	0.23	1.08	0.09	16
18	14.32	45.69	9.18	15.51	5.84	5.16	3.67	1.67	2.8	0.87	1.79	0.29	1.22	0.12	18

20	15.91	55.54	10.21	8.86	6.49	6.24.08	2.03	3.11	1.05	1.99	0.35	1.38	0.14	0.91	0.05	0.55	0.02							20
22	17.56	6.26	11.23	22.5	7.14	7.48	4.48	2.42	3.42	125	2.19	0.42	1.49	0.17	1.00	0.06	0.61	0.02						22
24	19.1	77.84	12.25	26.43	7.79	8.79	4.89	2.84	3.74	1.47	2.39	0.5	1.63	0.20	1.1	0.08	0.66	0.02						24
26			13.27	30.65	8.44	10.19	5.3	3.29	4.05	1.71	2.59	0.58	1.76	0.23	1.19	0.09	0.72	0.03						26
28			14.29	35.16	9.09	11.69	5.71	3.78	4.38	1.96	2.79	0.66	1.90	0.26	1.28	0.10	0.77	0.03	0.35	0.00				28
30			15.31	39.95	9.74	13.29	6.12	4.29	4.87	2.23	2.99	0.75	2.04	0.30	1.37	0.11	0.83	0.03	0.38	0.01				30
35			17.86	53.15	11.36	17.68	7.14	5.71	5.45	2.96	3.48	1.00	2.38	0.39	1.60	0.15	0.97	0.04	0.44	0.01				35
40					12.98	22.64	8.16	7.31	6.23	3.30	3.98	1.28	2.72	0.51	1.83	0.19	1.11	0.06	0.51	0.01				40
45					14.61	28.15	9.18	9.1	7.01	4.72	4.48	1.59	3.06	0.63	2.06	0.24	1.24	0.7	0.57	0.01				45
50					16.23	34.22	10.21	1.06	7.79	5.74	4.98	1.94	3.40	0.76	2.29	0.29	1.38	0.09	0.64	0.01				50
55					17.85	40.83	11.22	13.19	8.57	6.35	5.48	2.31	3.74	0.91	2.52	0.35	1.52	0.1	0.70	0.02				55
60					19.48	47.97	12.24	15.5	9.35	8.04	5.98	2.71	4.08	1.07	2.75	0.41	1.66	0.12	0.78	0.02				60
65							13.26	17.97	10.13	9.33	6.48	3.15	4.2	1.24	2.98	0.48	1.80	0.14	0.83	0.02				65
70							14.28	20.62	10.91	0.7	6.97	3.61	4.76	1.42	3.21	0.55	1.94	0.16	0.39	0.02				70
75							15.32	3.43	11.68	12.2	7.47	4.1	5.10	1.62	3.44	0.62	2.08	0.18	0.98	0.03				75
80							16.32	26.41	2.48	13.7	7.97	4.62	5.44	1.82	3.87	0.70	2.22	0.21	1.02	0.03				80
85							17.34	29.54	13.24	15.3	8.47	5.17	5.78	2.04	3.9	0.78	2.35	0.23	1.08	0.04				85
90							18.36	32.84	14.02	17.1	8.97	5.75	6.12	2.27	4.12	0.87	2.49	0.26	1.15	0.04				90
95							19.38	36.31	4.81	8.8	9.47	6.35	6.46	2.51	4.35	0.96	2.63	0.28	1.21	0.04				95
100									15.58	20.7	9.96	6.99	6.80	2.76	4.58	1.06	2.77	0.31	1.28	0.05				100
110									17.14	24.7	11	8.34	7.48	3.29	5.04	1.26	3.05	0.37	1.40	0.06				110
120									18.70	29	12	9.79	8.16	3.37	5.50	1.48	3.33	0.44	1.53	0.07				120
130											13	11.36	8.84	4.48	5.96	1.72	3.6	0.51	1.66	0.08				130
140											14	13.03	9.52	5.14	6.42	1.97	3.88	0.58	1.79	0.09				140
150											15	14.81	10.2	5.84	6.88	2.24	4.16	0.66	1.92	0.10				150
160											16	16.69	10.88	6.59	7.34	2.53	4.44	0.74	2.04	0.11				160
170											16.9	18.67	11.56	7.37	7.79	2.83	4.71	0.33	2.17	0.13				170
180											17.9	20.75	12.24	8.19	8.25	3.14	4.99	0.93	2.3	0.14				180
190											18.92	2.94	12.92	9.05	8.71	3.47	5.27	1.02	2.43	0.16				190
200											19.9	25.23	13.6	9.95	9.17	3.82	5.55	1.12	2.56	0.17				200

EJEMPLO: DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE RIEGO

Cultivo: pimentón.

Área: invernadero de 7.680 m² (128 de ancho*60 de largo) lote completamente plano.

Separación entre surcos (Ss): 1,2 m.

Separación entre plantas (Sp): 0,4 m.

Requerimientos de riego: 1,2 litros/día.

Días de riego: 7.

Energía eléctrica trifásica.

Fuente de agua: río, el agua es almacenada en un reservorio.

Clasificación de calidad del agua de riego: media.

Suelo: arcilloso.

$$N^{\circ} \text{ de surcos} = \frac{\text{ancho del lote}}{Ss} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$N^{\circ} \text{ de surcos} = \frac{108m}{1m} = 108(\text{surcos})$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = \frac{\text{longitud de surcos}}{Sp} * (N^{\circ} \text{ de surcos}) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$N^{\circ} \text{ de plantas} = \frac{60m}{0,4m} - (108) = 16.200 \text{ plantas}$$

$$Q \text{ total} = N^{\circ} \text{ de plantas} * \text{requerimientos de riego} \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Q \text{ total} = 16.200 * 1,20 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 19.440 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$Q \text{ total}(GMP) = Q \text{ total} * 0,0044 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$Q \text{ total}(GMP) = 19.440 \frac{\text{litros}}{\text{día}} * 0,0044 = 85,5 \text{ GMP}$$

93,8 G PM será el caudal total de operación para todo el sistema.

Se realiza una división del área en cuatro partes iguales, creando así cuatro sectores de riego, pues desde el punto de vista técnico y económico no es justificable tener un equipo de riego con la capacidad de irrigar toda el área en un mismo momento. En este sentido, se realiza una programación de riego adecuada para que se pueda aplicar la misma cantidad de agua en todo el sistema a lo largo del día de trabajo.

$$Q \text{ sistema} = \frac{Q \text{ total}}{N^{\circ} \text{ sectores de riego}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$Q \text{ sistema} = \frac{85,5 \text{ GPM}}{4}$$

$$Q \text{ sistema} = 21,30 \text{ GPM}$$

23,5 GPM será el caudal que se utilizará para la selección de la bomba, de los filtros y de las tuberías principales y terciarias.

CÁLCULO DE LA BOMBA

Un equipo de bombeo siempre se debe seleccionar considerando el valor máximo de las pérdidas ocasionadas por cada elemento del cabezal de riego: la red de distribución, la cabeza dinámica total (CDT) y el caudal necesario para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego. Se hallará la CDT con base en la ecuación 12 y el procedimiento dado en la sección Unidad Impulsora de Agua del presente capítulo:

$$CDT = ((H_s + H_{fs}) + H_{fi} + H_{ff} + H_{fp} + H_{fv} + P_s) * 1,1 \pm \Delta z \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

CDT: cabeza dinámica total (PSI).

Hs: altura de succión (PSI).

Hfs: pérdidas por fricción en la succión (PSI).

Hs+Hfs: 8 PSI.

Hfi: pérdidas por fricción en la fertilización 3 – 8 PSI.

Hff: pérdidas por fricción en el filtrado 10 – 20 PSI.

Hfp: pérdidas por fricción en la tubería principal < 20% CDT PSI.

Hfv: pérdidas por fricción en la válvula de la sección 3 PSI.

Ps presión del sistema de goteo 20 PSI.

Δz : diferencia de nivel (PSI) para este caso es lote plano, entonces será cero (0).

$$CDT = ((Hs+Hfs) + Hfi+Hff+Hfv+Ps) * 1,1 \pm \Delta z$$

$$CDT = (8 + 8 + 15 + 15 + 3 + 20) * 1,1 \pm \Delta z$$

$$CDT = 75,9 \text{ PSI.}$$

Los parámetros de selección de la bomba serán:

Caudal Q: 21,30 GPM y una CDT: 75,9 PSI.

$$HP = \frac{((Q)(y)(R))}{((3.960) * (0,6))} * 1,2 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$HP = \frac{((21,30 \text{ GPM})(2,307)(75,9))}{((3.960)(0,6))} * 1,2$$

$$HP = 1,9 \text{ HP}$$

SELECCIÓN DE LOS FILTROS

Seguiremos el procedimiento especificado en la sección Unidad de Filtrado del presente capítulo. Primero se escogen los tipos de filtros que se usarán, según la fuente de agua, con la guía de las Tablas 17 y 18. Se necesitarán filtros de arena y filtros de discos.

Ahora, según la información de la (Tabla 20) , no se tendría restricción en cuanto a caudal máximo de filtración para los filtros de arena, puesto que este valor, según el tipo de agua es de 211,2 GPM, valor muy por encima del caudal del sistema 21,30 GPM .

SELECCIÓN FILTRO DE ARENA

Caudal del sistema = 23,5 GPM o 5,4 m³/h. Sabiendo que 1 GPM = 0,22 m³/h.

Ø de paso del gotero = 0,7 mm.

Calidad del agua = Media.

Se halla el diámetro de poro (Ø poro) del material a usar en el filtro de arena (Tabla 19), y deberá ser 10 veces menor que el Ø de paso del gotero:

$$\Phi_{\text{poro}} = \frac{\Phi_{\text{de paso gotero}}}{10} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\Phi_{\text{poro}} = \frac{0,7\text{mm}}{10}$$

$$\Phi_{\text{poro}} = 0,07\text{mm}$$

Para este caso se escoge el filtro clase N° 20 0,066 mm < 0,7 mm cumpliendo la restricción anteriormente mencionada.

Para la selección de la cantidad de filtros en paralelo y el área de filtrado por (m²) se utiliza la (Tabla 17). Como mínimo siempre deben colocarse dos filtros.

Finalmente, el sistema estará compuesto por filtros de diámetro 46 cm. La cantidad será de dos (2) filtros de arena instalados en paralelo con llaves de paso a la entrada y a la salida, con un área de filtrado de 0,32 m², tendrán la capacidad de filtrar 15,4 m³/h, valor superior al caudal del sistema que es de 4,7 m³/h.

SELECCIÓN FILTRO DE DISCOS

Caudal del sistema = 4,7 m³/h.

Instalación de filtro de arena N° 20.

Entonces, según los datos anteriores y con la guía de la información de las Tabla 17 y 18, se instalarán dos filtros de discos de 1 pulgada en paralelo, los cuales tienen una capacidad de filtrado de 10,8 m³/h, valor superior al caudal del sistema (4,7 m³/h) y se escoge un filtro de discos de color rojo, el cual filtra partículas hasta con tamaños de 120 Mesh.

SELECCIÓN DE LA LINEA DE RIEGO

Se puede escoger una línea de riego interlínea "in line" calibre 16 MIL y de diámetro $\Phi = 16$ mm, con emisores espaciados cada 40 cm, ya que se

tiene un suelo de textura arcillosa, lo que generará un bulbo de humedecimiento con un diámetro adecuado para el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo. Si en cambio de una textura arcillosa el suelo presenta una textura arenosa, seguramente se deberían usar emisores espaciados cada 10 cm para lograr generar bulbos de humedecimiento con diámetros adecuados en la zona de cultivo. Otro factor que lleva a escoger esta separación entre emisores es que esta coincide con la distancia entre plantas, lo que garantizará que cada planta tendrá aplicación de agua. Un caudal de emisor de 1 LPH garantiza una alta eficiencia de aplicación, pues cabe recordar que se está trabajando en un suelo arcilloso y su velocidad de infiltración es muy lenta, por lo que se limitarán al máximo las pérdidas por escorrentía y percolación.

Comercialmente se denomina LINEA INTERLINE 164100. Se escoge una línea porque ofrece una mayor durabilidad, no existe la necesidad de utilizar goteros autocompensados ya que el terreno es totalmente plano y no se tendrán grandes diferencias de presión que afecten el coeficiente de uniformidad de aplicación de la lámina de riego. Si no se cuenta con el presupuesto necesario para adquirir la línea de riego, se podría optar por una cinta de riego con las mismas características pero que seguramente ofrecerá menos durabilidad.

SELECCIÓN DE LA TUBERÍA

SELECCIÓN DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

La velocidad en la tubería principal no debe superar los 2,5 m/s u 8,2 pie/s.

Caudal del sistema = 21,30 GPM o 4,7 m³/h. Con estos valores usaremos la Tabla 24 y se hallará el diámetro adecuado para el caudal de funcionamiento de la tubería principal.

Se ingresa por la parte izquierda de la tabla, con el valor del caudal del sistema, que para el caso expuesto será 21,30 GPM, se realiza un desplazamiento horizontal, observando el valor de la primera columna, que en su defecto será la velocidad del flujo de agua en pie/s y este valor no debe superar 8,2 pie/s (Tabla 24).

La tubería principal seleccionada tendrá un diámetro de $\Phi = 1 \frac{1}{4}$ pulgadas, que para este caso generará una velocidad de flujo de agua de 4,48 pie/s, valor inferior a la restricción de 8,2 pie/s.

Finalmente, la tubería principal seleccionada será tubería de PVC RDE 26 de diámetro de $\Phi = 1 \frac{1}{4}$ pulgadas.

SELECCIÓN DE LA TUBERÍA TERCIARIA O LATERAL

La velocidad en la tubería principal no debe superar los 3,5 m/s u 11,5 pie/s.

Las pérdidas en el lateral de riego y la línea de goteo no deben superar el 20% de la presión de operación, es decir 4 PSI.

Caudal del sistema = 21,30 GPM o 4,7 m³/h.

Para la selección de la tubería lateral se repetirá el procedimiento realizado para la selección de la tubería principal pero en este caso también utilizaremos el valor de la siguiente columna, el cual será remplazado en la ecuación 15 con el fin de verificar las pérdidas de presión generadas por fricción en la tubería.

$$H_f = \frac{(Loss)}{100} * L_{Lateral} * 1,423 * FS \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

H_f: pérdida total de presión en la tubería lateral (PSI).

Loss: factor de pérdida de presión en función del diámetro de la tubería.

L_{Lateral}: longitud de la tubería lateral (m).

FS: factor de corrección en función del número de líneas de riego, Tabla 25.

Tabla 25. Factor de corrección en función del número de líneas de riego.

Nº LÍNEAS	FS	Nº LÍNEAS	FS
1	1	15	0,37
2	0,53	16	0,36
3	0,52	17	0,36
4	0,48	18	0,35
5	0,43	19	0,35
6	0,41	20	0,35
7	0,4	21	0,35
8	0,4	22	0,35
9	0,39	23	0,35
10	0,39	24	0,35
11	0,38	25	0,35
12	0,38	26	0,35
13	0,37	27	0,35
14	0,37	28	0,35

La tubería lateral seleccionada tendrá un diámetro de $\Phi = 1$ pulgada, que para este caso generará una velocidad de flujo de agua de 7,79 pie/s, valor inferior a la restricción de 11,5 pie/s.

El siguiente paso consistirá en revisar las pérdidas de presión generadas en la tubería, con el diámetro seleccionado, sabiendo que:

- Loss: 7,48 PSI.
- La longitud de la tubería principal será de 32 m, valor resultante de realizar la división del ancho total del lote, que es igual a 128 m y el número de sectores de riego (4).
- El número de líneas de riego será 32, de donde el FS es igual a 0,35.

Estos valores los reemplazamos en la ecuación 16:

$$H_f = \frac{(Loss)}{100} * L_{lateral} * 1,423 * FS \quad \text{Ecuación 16}$$

$$H_f = \frac{(8,97)}{100} * 32 * 1,423 * 0,35$$

$$H_f = 1,4 \text{ PSI}$$

Luego se hallan las pérdidas de presión generadas en la línea de riego con la ecuación 17:

$$H_f = \frac{(Loss)}{100} * L_{línea riego} * 1,423 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

H_f : pérdida total de presión en las líneas de riego (PSI).

$Loss$: factor de pérdida de presión en función del diámetro de la tubería, para este caso será 2, valor para líneas de riego de diámetro $\Phi = 16$ mm.

$L_{línea riego}$: longitud de la línea de riego (m).

Sabiendo que la longitud de las líneas de riego es igual a 60 metros, se reemplaza en la ecuación 17.

$$H_f = \frac{(loss)}{100} * L_{línea riego} * 1,423$$

$$H_f = \frac{(2)}{100} * 60 * 1,423$$

$$H_f = 1,7 \text{ PSI}$$

Entonces las pérdidas totales en lateral de riego y la línea de riego serán igual a la sumatoria de pérdida total en el lateral y pérdida total en la línea de riego, ecuación 18:

$$H_f \text{ total} = 1,2 \text{ PSI} + 1,7 \text{ PSI} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$H_f \text{ total} = 2,9 \text{ PSI}$$

El valor de pérdida total es igual a 2,9 PSI, valor inferior a la restricción de 4 PSI.

Finalmente, la tubería lateral seleccionada será tubería de PVC RDE 26 de diámetro de $\Phi = 1$ pulgadas.

PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

Lo primero es conocer el tiempo de riego diario (Tr).

$$Tr = \frac{\text{requerimientos hídricos } \frac{1}{\text{día}}}{\text{caudal del emisor } \frac{1}{h}} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$Tr = \frac{1,34 \frac{1}{\text{día}}}{1 \frac{1}{h}} = 1,34 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 80 \text{ minutos}$$

El siguiente paso consistirá en saber en qué momento aplicar la lámina de riego. Vasco (2004) recomienda que los volúmenes de riego diarios puedan ser repartidos en 1 o 2 riegos como mínimo. Es importante tener claro que las demandas hídricas referenciadas anteriormente son solo una guía indicativa y no deben convertirse en cantidades fijas predeterminadas. Como se anotó previamente, los requerimientos hídricos del cultivo son dependientes de la condición local bajo la cual se encuentre establecido y en consecuencia los volúmenes y tiempos de riego deberán ser ajustados en función de cada situación particular.

A continuación se determinará el tiempo de riego con base en el número de riegos diarios a aplicar, que en este caso serán tres:

$$Tr \text{ modificado} = \frac{Tr}{N^\circ \text{ de riegos diarios}} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$Tr \text{ modificado} = \frac{80 \text{ minutos}}{3} = 27 \text{ minutos}$$

Considerando que el día de trabajo es de 8 horas (480 minutos) se determinará la frecuencia de riego de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{\text{día de trabajo}}{N^{\circ} \text{ de riegos}} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$Fr = \frac{480 \text{ minutos}}{3} = 160 \text{ minutos} = 2 \text{ horas } 40 \text{ minutos}$$

La frecuencia de riego calculada será 2 horas 40 minutos, con un tiempo de riego de 24 minutos por sector de riego, sabiendo que el número total de estos son 4. Se deberán programar los riegos para los otros sectores en los intervalos de frecuencia de riego.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Los sistemas de riego por goteo presurizados funcionan y distribuyen los flujos de agua a una velocidad lenta de una manera muy uniforme. Un sistema bien diseñado y operado de manera correcta, con planes de mantenimiento adecuados, desde el punto de vista técnico debe tener una vida útil de más de 20 años.

Un programa de mantenimiento adecuado incluye: revisión y limpieza de arrancadores y equipos eléctricos ubicados en el cabezal de riego, limpieza de filtros, chequeo y reparación de fugas en las redes de distribución principales y terciarias al igual que en los cabezales de campo, lavar líneas de riego, agregar cloro e inyectar ácidos como método preventivo, buscando evitar al taponamiento de los emisores. Si se llevan a cabo estas medidas preventivas en el tiempo adecuado, se puede evitar la necesidad de hacer reparaciones mayores, que en ocasiones requieren del reemplazo total de los componentes del sistema.

Uno de los propósitos más importantes del mantenimiento preventivo es prevenir que los emisores se tapen, ya que los sólidos suspendidos, la precipitación de magnesio y calcio, los óxidos y el sulfuro de manganeso-hierro, las algas, las bacterias y las raíces de las plantas pueden tapar los emisores (Enciso *et al.*, 2009).

BUENAS PRÁCTICAS DE RIEGO

Se entiende por buena práctica de riego a las actividades necesarias a realizar buscando un buen manejo y principalmente la conservación en cantidad y calidad de los recursos implicados en la actividad de riego (agua, suelo y cultivo). Para lograrlo hay que realizar las siguientes actividades:

- Planificar los cultivos en función de la disponibilidad y de las asignaciones de recursos hídricos.
- Conocer las características del suelo y sus relaciones existentes con el agua (capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), velocidad de infiltración,...)
- Conocer la calidad del agua de riego (salinidad, sodicidad, pH, conductividad eléctrica (CE), contaminantes disueltos en esta).
- Conocer las necesidades hídricas teóricas del cultivo para cada etapa fenológica y el nivel de tolerancia al estrés hídrico.
- Adecuar los riegos a las necesidades reales de los cultivos.
- Garantizar un máximo coeficiente de uniformidad lo cual nos garantizará que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua en diferentes puntos de aplicación.
- Garantizar la máxima eficiencia de aplicación, evitando pérdidas en el transporte, distribución y aplicación.
- Realizar mantenimientos a la instalación de riego cada vez que sea necesario.

La realización de las actividades anteriormente mencionadas nos garantizará que las plantas recibirán la cantidad de agua necesaria lo más ajustado posible a las necesidades hídricas reales del cultivo.



FERTILIZACIÓN

Oscar Monsalve

INTRODUCCIÓN

Los criterios de fertilización están basados principalmente en el tipo de sistema que se pretenda establecer, ya sea convencional, limpio o ecológico. Este es el punto de partida para implementar el método de fertilización más conveniente. No obstante, hay que tener en cuenta diversos factores que son relevantes para todos los sistemas de cultivo, entre los cuales se tiene: el contenido de elementos mayores, secundarios y menores, acidez, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica y textura del suelo.

ELEMENTOS MAYORES

Nitrógeno (N): el N es un elemento esencial para todos los seres vivos. Las principales funciones del nitrógeno en la planta están relacionadas con su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo. Además forma parte de la estructura de todas las proteínas y de los ácidos nucleídos (ADN y ARN). El nitrógeno se encuentra también como constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos, indispensables para la fotosíntesis y la respiración. La forma de asimilación del N (nitrato o amoniacal) depende en gran manera de la edad de la planta y de la especie, no obstante, la absorción de nitrógeno por parte de la planta se hace en forma de Nitrato (N-NO_3) fundamentalmente (Navarro & Navarro, 2000). Esto se debe a que los coloides del suelo pueden fijar los iones amonio (N-NH_4) mientras que los nitrato conservan una total movilidad, además, en los suelos de cultivo, los iones amonio añadidos se oxidan rápidamente a nitratos y, por lo tanto, siempre será esta la forma presente en mayor proporción en la solución del suelo. Al estar involucrado en tantos procesos vitales, la deficiencia de nitrógeno afecta de manera importante el crecimiento de la planta. Un aporte insuficiente de nitrógeno se manifiesta, en primer lugar, por una vegetación raquítica. La planta se debilita, se desarrolla poco, las hojas permanecen pequeñas, adquieren una notable rigidez y toman un color verde amarillento; el peciolo se acorta y las nerviaciones son más pronunciadas, ya que el desarrollo de las partes suculentas se retrasa (Navarro & Navarro, 2000). En pimentón, debido a que el nitrógeno es muy móvil en la planta, la deficiencia se detecta primero en las hojas más viejas, ya que hay un desplazamiento hacia las más jóvenes, el desarrollo de la planta se reduce gradualmente, hay un marchitamiento progresivo desde el margen de las hojas hacia la zona intervenal, los peciolos se doblan y se desuelgan hacia el tallo, la planta desarrolla pocas flores y el cuajado de los

frutos es pobre. Cuando la deficiencia es severa puede no haber desarrollo de frutos o los que se desarrollan presentan deformidades. Aplicaciones excesivas de nitrógeno provocará un alto desarrollo vegetativo con poco desarrollo de flores, lo que se traduce en escasa producción de frutos.

Fósforo (P): el fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variable, según el órgano vegetativo que se considere. Su valor medio, expresado en P_2O_5 puede situarse entre 0,5 y 1% en base seca. En los suelos, la cantidad de fosfato asimilable que contiene la disolución es muy pequeña. Esta cantidad depende de la modificación del equilibrio dinámico que mantiene la solución del suelo con los compuestos inorgánicos insolubles o fijados por una parte, y la formación y descomposición de la materia orgánica por otra (Figura 47).



Figura 47.
Comportamiento del fósforo en la solución del suelo.

La mayor parte del fósforo normalmente presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad y al hecho de que para ser asimilado es necesario que se encuentre como PO_4H_2 o $PO_4H_2^-$ en la solución del suelo (Navarro & Navarro, 2000). La fotosíntesis o asimilación de CO_2 por las plantas constituye el proceso más importante en donde actúa el fósforo, por cuanto hace parte de los compuestos energéticos derivados de la adenosina, hace parte del protoplasma en donde se encuentra en forma de fosfolípido y es constituyente de numerosas coenzimas. Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo vegetal anormalmente débil, tanto en su parte aérea como en su parte radicular. Ello es consecuencia de que este elemento es un participante básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes (Navarro & Navarro, 2000). En pimentón,

debido a la alta movilidad del fósforo en la planta, y a causa de la tendencia que presentan las hojas jóvenes a obtener de las plantas más viejas los elementos móviles en condiciones de deficiencia, las hojas antiguas son las primeras que muestran los síntomas, las cuales se tornan duras y frágiles al tacto, las plantas presentan un crecimiento limitado, pocas flores se desarrollan y en las que se desarrollan solo una de cada cuatro o cinco genera un fruto, el fruto es subdesarrollado con un peciolo delgado y pocas semillas, el sistema radicular presenta muy poco desarrollo. Las alteraciones por exceso de fósforo no se observan a simple vista, sin embargo, se aprecian deficiencias de cobre y zinc, los cuales se inmovilizan debido al exceso de fósforo.

Potasio (K): el potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ . Su contenido en la planta puede fluctuar ampliamente del órgano que se considere y del contenido asimilable del suelo. Es el principal catión presente en los jugos vegetales, pudiendo encontrarse bajo la forma de sales orgánicas y minerales y de combinaciones complejas con los coloides celulares. Se encuentra en estado ionizado en todos los órganos de la planta, y ello justifica la facilidad de su paso de una parte a otra. En las hojas de las plantas un 30% se encuentra en los coloides del citoplasma y un 70% en las vacuolas. Debido a su gran movilidad, actúa en la planta básicamente, neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo y asegura así la constancia de la concentración en H^+ de los jugos celulares. También desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica de la planta y muy especialmente como activador enzimático (Navarro & Navarro, 2000). En pimentón, debido a la alta movilidad de este elemento, son las hojas viejas las que presentan los primeros signos visibles de la deficiencia. Inicialmente, las hojas muestran unos puntos cloróticos (amarillos) entre sus venas. La falta de potasio genera un retraso general del crecimiento, que se hace sentir especialmente sobre los frutos. Estos signos de deficiencia se observan netamente cuando su contenido en potasio es de 3 a 5 veces inferior al normal. Los tallos son más delgados, ya que todo el elemento es utilizado en el ápice vegetativo. Las alteraciones por exceso de potasio en la planta se presentan con menos frecuencia, y están basadas en los antagonismos: K/Ca , K/Mg , K/Fe y K/B . La absorción excesiva y su enriquecimiento hacen disminuir la de otros elementos. Por ello, el exceso origina comúnmente situaciones a deficiencias de magnesio, hierro y zinc (Navarro & Navarro, 2000).

ELEMENTOS SECUNDARIOS

Calcio (Ca): absorbido fundamentalmente bajo la forma de Ca^{+2} es, después del potasio, el elemento básico más abundante que existe en las plantas. En estas se encuentra preferentemente en el protoplasma y en las membranas celulares, mientras que en las plantas adultas se halla en las vacuolas, principalmente bajo la forma de oxalato. Este elemento se encuentra en mayor proporción en las hojas y tallos que en las semillas. El calcio se encuentra en la planta tanto en forma mineral soluble: sulfato cálcico (SO_4Ca), como insoluble: fosfato ($(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$) y carbonato (CO_3Ca) cálcico. Aunque una parte considerable del calcio presente en las plantas está bajo forma soluble en el agua, este elemento no se desplaza fácilmente en el interior de las mismas, de aquí que tienda a acumularse en los órganos viejos. Esto explica el por qué los síntomas deficitarios empiezan a manifestarse en los extremos de los tallos. Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de actuar, formando parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas. La protopectina está localizada en la lamela media y en la pared primaria celular. El calcio es muy importante para el desarrollo de las raíces, en las cuales ejerce una triple función: multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización de los hidrogeniones. Otras funciones atribuidas al calcio son: regular la absorción de nitrógeno y activar algunas enzimas como la amilasa y la fosfolipasa. También regula la absorción o contrarresta los efectos perjudiciales debidos al exceso o acumulación de otros elementos como potasio, sodio o magnesio. Las deficiencias de calcio se hayan principalmente en suelos ácidos y salinos con elevada proporción de sodio. En los suelos ácidos, las deficiencias pueden ser complejas, por producirse además la de magnesio, y por presentarse posiblemente una toxicidad de Mn o Fe por exceso de su solubilización en un medio con bajo pH (Navarro & Navarro, 2000). La manifestación más común y perceptible de deficiencia de calcio en pimentón es la pudrición apical de los frutos, además de detenerse el desarrollo radicular, originándose raíces cortas, gruesas y con una coloración parda. En el follaje, los síntomas aparecen frecuentemente en hojas jóvenes, las cuales se curvan o arrugan, y a veces se produce necrosis en los bordes y puede causar muerte en los ápices. No es común encontrar excesos de calcio, pero sí son frecuentes efectos secundarios. Estos suelen darse en suelos calizos con elevado pH. El exceso de carbonato cálcico provoca deficiencia de potasio, clorosis férrica, e inmoviliza el cinc, el cobre y el fósforo, provocando la deficiencia de estos elementos (Navarro & Navarro, 2000).

Magnesio (Mg): el magnesio es absorbido por la planta en su forma Mg^{+2} . Este elemento es un constituyente fundamental en la molécula de

clorofila, por lo tanto está presente en las partes verdes de la planta. A diferencia del calcio, el magnesio es muy móvil en el floema, y puede trasladarse fácilmente de las hojas viejas a las jóvenes en caso de deficiencia. Por ello cuando esta se presenta, las deficiencias aparecen en primer lugar en las hojas adultas. El magnesio entra en la composición de los pigmentos verdes, utilización de la energía solar y la síntesis de los constituyentes orgánicos indispensables para la vida vegetal y animal. La deficiencia de magnesio se manifiesta en muchos cultivos, no obstante el nivel alcanzado no llega a ser crítico. En pimentón, generalmente son deficiencias débiles, más bien provocadas por el excesivo aporte de fertilizantes potásicos, falta de un suministro adecuado de nitrógeno y acumulación de fósforo. Como se mencionó anteriormente, el principal síntoma aparece en las hojas viejas, en donde se aprecia una clorosis intervenal. A veces se presenta necrosis en los márgenes y hay abscisión (desprendimiento y caída) prematura de hojas. Estos síntomas no se hacen realmente visibles hasta que la deficiencia ya es crítica. Alteraciones por exceso de magnesio son poco conocidas. Solo cuando se aplica abundante magnesio en suelos pobres en calcio, podría producirse. Algunos ensayos muestran como síntomas concretos: necrosis, deformaciones en las hojas jóvenes y síntomas claros de daños a las raíces (Navarro & Navarro, 2000).

Azufre (S): el azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente en forma de sulfato (SO_4^{-2}), a través de su sistema radicular. En pequeñas cantidades también puede ser absorbido del suelo como SO_3^{-2} y de la atmósfera como dióxido de azufre, por las hojas, a través de los estomas. Como en el caso del nitrógeno, la mayor parte del SO_4^{-2} absorbido se reduce en la planta a compuestos sulfhídricos (-SH), y así, en este estado, se integra en los compuestos orgánicos y de esta forma este ión contribuye a la regulación osmótica celular. Una vez dentro de la planta, el azufre puede ser oxidado a SO_4^{-2} y permanecer en ella como reserva. Bajo esta forma se encuentra distribuido con bastante regularidad en todas las partes vitales: raíces, tallos, hojas, etc. El azufre es poco móvil por lo que está disponible en los órganos de crecimiento más tardíamente, esto explica por qué una deficiencia de azufre se manifiesta inicialmente en las hojas jóvenes. Son muchos y muy importantes los procesos bioquímicos en los que participan los compuestos orgánicos con azufre, tales como: biosíntesis de lípidos, clorofilas, carotenos y ácidos orgánicos. La deficiencia de azufre en la planta presenta una notable similitud con la de nitrógeno: retraso en el crecimiento, clorosis uniforme de las hojas y tendencia a formar gradualmente coloración bronceada con necrosis en las puntas. A diferencia de la deficiencia de nitrógeno, las plantas

deficientes en azufre presentan clorosis inicialmente en las hojas más jóvenes. El azufre solo se considera tóxico cuando supera las 1.000 ppm de SO_4^{-2} . Por esta razón los aportes de azufre al suelo, no perjudican a la planta, aún utilizando grandes dosis. Además, hay que tener en cuenta que la forma bajo la que principalmente se absorbe el azufre es SO_4^{-2} , y que el azufre elemental y otras formas de este elemento deben sufrir su previa transformación biológica antes de ser utilizadas por la planta. Las alteraciones, por lo tanto, están ligadas a un exceso de sulfato a condiciones de salinidad en general. Se manifiesta principalmente por clorosis y amarillamientos, seguidos de necrosis y quemaduras en las hojas así como enanismo de la planta (Navarro & Navarro, 2000).

ELEMENTOS MENORES

Hierro (Fe): puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como Fe^{2+} , o como quelatos de hierro. La forma Fe^{3+} es de menor importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos. En las regiones meristemáticas, donde la multiplicación y crecimiento celular son rápidos, el elemento es requerido por las enzimas mitocondriales; y es en las hojas, concretamente en los cloroplastos, en donde se encuentra la mayor parte del hierro. El hierro interviene en muchos procesos vitales para la planta, formando parte de diversos sistemas enzimáticos, bien como un componente metálico específico de las enzimas, o bien como uno de los varios metales igualmente necesarios para la actividad de las enzimas correspondientes. Todos los cultivos, incluyendo pimentón, deficientes en hierro, muestran una sintomatología común, y es sin duda la más fácil de reconocer entre las deficiencias de oligoelementos. Comienza con un ligero amarillamiento de las zonas foliares intervenales, en contraste con el color verde oscuro de sus nerviaciones. Cuando la alteración progresa, las hojas van siendo cada vez más amarillas, y en los casos muy graves se llega a la ausencia total de clorofila. Hay que aclarar que los primeros síntomas aparecen en las hojas jóvenes, ya que el elemento es poco móvil en la planta. La rapidez de conversión de hierro soluble en compuestos insolubles no disponibles para la planta lleva consigo el que los problemas de toxicidad no se presenten, salvo muy raras excepciones. Suelos con contenidos incluso superiores al 5% de hierro total, no provocan efectos tóxicos en los cultivos que en ellos se desarrollan (Navarro & Navarro, 2000).

Manganeso (Mn): el manganeso es absorbido por la planta bajo la forma de Mn^{2+} y como quelato, tanto por su sistema radicular como por las hojas directamente. Igual que el hierro, el manganeso es un elemento

poco móvil en la planta, y por ello los síntomas de deficiencia suelen aparecer primero en las hojas jóvenes. El manganeso actúa en numerosos procesos metabólicos que se realizan en las plantas, tales como: fotosíntesis, transformaciones de las hexosas fosforiladas, glucólisis, metabolismo de los ácidos orgánicos, metabolismo auxínico y metabolismo del nitrógeno, entre otros. Los primeros síntomas de deficiencia pueden observarse en las hojas jóvenes, en donde aparecen en forma de coloraciones, que van de verde pálido a amarillo, o con manchas cloróticas entre las nerviaciones. Las hojas en cuanto a tamaño y forma, no difieren de las normales. Los síntomas de exceso de este elemento se presentan más frecuentemente en suelos ácidos en donde su disponibilidad está al máximo. Estos síntomas son siempre más visibles en las plantas jóvenes, se manifiestan frecuentemente como manchas marrones en las hojas. En general, se puede sospechar un exceso de manganeso cuando en la materia seca de la planta se encuentran valores superiores a las 1.000 ppm (Navarro & Navarro, 2000).

Boro (B): el boro es absorbido por la planta en distintas formas del ácido bórico: $B_4O_7^{-2}$, BO_3^{-3} , BO_3H^{-2} , o $BO_3H_2^{-}$, bien mediante su aparato radicular o por vía foliar. El boro es un elemento que presenta escasa movilidad en la planta, de igual forma las plantas jóvenes absorben el boro más intensamente que las adultas, y la movilidad del elemento de los tejidos viejos a los jóvenes es pequeña. El boro actúa en el metabolismo y transporte de carbohidratos, formación de las paredes celulares (lignificación), metabolismo de ácidos nucleicos y en la síntesis proteica (Navarro & Navarro, 2000). Los síntomas de deficiencia de boro en pimentón se presentan con gran rapidez. Las hojas más viejas se entorchan hacia arriba, se disminuye el crecimiento, los tallos se tornan gruesos y cortos, comienza un amarillamiento progresivo de toda la planta desde las hojas viejas hacia las hojas más jóvenes, hay una reducción notable en la producción de flores y el cuajado de frutos es pobre. Los excesos de boro en pimentón generan un necrosamiento progresivo de las hojas, desde el borde hacia las nerviaciones centrales.

Zinc (Zn): el zinc es absorbido por la planta como Zn^{+2} , o como quelato por vía radicular o foliar. En ella, su movilidad no es grande, hallándose preferentemente en los tejidos de la raíz cuando se encuentra un suministro adecuado en el suelo. Los frutos presentan siempre las mínimas cantidades. El zinc actúa en la formación de diversos sistemas enzimáticos que intervienen en procesos vitales para la planta, tales como: biosíntesis auxínica, metabolismo nitrogenado, glucólisis y transformación de las exosfosforiladas, entre otras. La deficiencia de zinc, conocida como "foliocelosis", ha sido observada en muchos cultivos, incluyendo

pimentón. Los síntomas comienzan siempre en las hojas jóvenes, con amarillamiento progresivo y disminución de tamaño. Los nervios permanecen verdes. En las hojas adultas, solo en ocasiones se aprecian estas alteraciones. Bajo el punto de vista analítico, es interesante señalar que todas las plantas deficientes en zinc presentan en sus hojas altos contenidos de hierro, manganeso, nitratos y fosfatos, así como bajas concentraciones de almidón. Se observa también que las células contienen un número de cloroplastos notablemente inferior a las normales. Los excesos de zinc aparecen frecuentemente en suelos ácidos. En estos casos, las hojas muestran pigmentaciones rojas en el peciolo y las nerviaciones, junto a una amplia clorosis, debido a un bajo contenido de hierro. Se cree que el zinc, al funcionar como agente catalítico de las reacciones oxidativas, impide la reducción del hierro y su transporte en el interior de la planta (Navarro & Navarro, 2000).

Cobre (Cu): el cobre es absorbido por la planta como Cu^{+2} o como complejo orgánico por vía radicular o foliar. No es muy móvil, aunque puede desplazarse en cierta proporción de las hojas viejas a las jóvenes. El cobre es requerido por las plantas en muy bajas cantidades y varía dependiendo no solo de las características que presenta el suelo: composición, contenido en caliza, pH, etc., sino también de la planta: especie, grado de madurez, parte considerada, etc. Aunque el cobre se puede detectar en los distintos órganos del vegetal, es en las hojas verdes donde se halla en mayor proporción. Las funciones del cobre en la planta están asociadas con un buen número de enzimas, ya sea como activador, o formando parte de ellas como grupo prostético. Al igual que el hierro, su capacidad de experimentar reducción reversible le permite intervenir en una gran variedad de procesos redox. Esta característica del cobre presenta, posiblemente su función más importante, pero no es la única. Su participación en otros procesos es también importante. La deficiencia de cobre se ha observado en muchas zonas y se puede presentar en casi todos los cultivos, incluyendo pimentón. Las alteraciones se observan en primer lugar, en los órganos más jóvenes. En ellos, el efecto más característico es la deformación y muerte de las hojas jóvenes, después de aparecer clorosis, manchas pardas y necrosis en los bordes y ápice. Las alteraciones que se observan en los frutos al presentarse la deficiencia se caracterizan porque se tornan estrechos y rectangulares. Algunas veces se observan aparte de las grietas, bolsas de goma en la superficie. La deficiencia de cobre va siempre acompañada de una intensa floración y de cuaje de frutos. El exceso de cobre se puede presentar con valores superiores a las 300 ppm en base seca. Las principales alteraciones se manifiestan en las raíces, que tienden a perder vigor, adquirir color oscuro y a engrosarse, sin desarrollo. Junto

a estas alteraciones suelen presentarse frecuentemente síntomas claros de una deficiencia de hierro. Se considera que el cobre en exceso actúa en reacciones que afectan al estado de oxidación del hierro, limitando su absorción y traslocación en la planta. También se ha observado que altos niveles de cobre reducen notablemente la captación de fósforo. La toxicidad por cobre se incrementa en suelos ácidos (Navarro & Navarro, 2000).

ACIDEZ

La acidez de una solución está determinada por la actividad de los iones hidrógeno (H^+) y la concentración de iones hidróxilo (OH^-). Haciendo uso de este principio químico, la acidez en el suelo se determina midiendo la actividad de los iones H^+ en la solución del suelo y se expresa mediante un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH) (Espinosa, 2003). La escala de pH cubre un rango que va de 0 a 14. Un valor de 7,0 es neutro (igual número de iones H^+ y OH^- en la solución) mientras que valores menores a 7,0 son ácidos y valores mayores a 7,0 son básicos (Espinosa, 2003). Un suelo con pH neutro tiene saturada la fase de intercambio con cationes básicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+). La acidificación del suelo inicia con la pérdida de cationes debido, en parte a la acción de las raíces. La planta al absorber cationes, para mantener el equilibrio en la solución del suelo libera H^+ que contribuyen a la acidificación del mismo.

Casi todos los nutrientes son asimilables por las plantas en un pH entre 6,1 y 7,3, disminuyendo su disponibilidad para estas a medida que la reacción se aleja de estos valores, para el caso del pimentón es conveniente establecerlo en suelos con un pH de 6,2 por cuanto la disponibilidad de elementos importantes se facilita y la absorción de nutrientes se efectúa sin dificultad.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

El agua, la solución del suelo y las soluciones nutritivas contienen iones cargados positiva y negativamente, que poseen la capacidad de conducir la corriente eléctrica. La medida de esta capacidad es lo que denominamos conductividad eléctrica (CE). Por ende, cuantos más iones se encuentren en la solución, mayor va a ser la medida de la CE, que está dada en deciSiemens por metro (dS/m) o milimhos por centímetro (mmho/cm). Para efectos prácticos, la CE nos indica el contenido de sales (iones) que posee un suelo. En el caso del pimentón, el valor de CE recomendado se encuentra en un rango entre 1,5 y 1,8 dS/m y no debe superar los 2,1dS/m, ya que una CE por encima de este valor, indica que

el suelo posee un contenido de sales por encima del recomendado para el cultivo de pimentón. No obstante, se debe tener en cuenta que la literatura reporta que un suelo es considerado salino cuando la CE supera los 4 dS/m.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Puede definirse como la medida de la cantidad de cargas negativas del suelo. La capacidad de un suelo para absorber y ceder cationes se expresa en miliequivalentes por 100 g de suelo, es decir, el número de veces que en 100 g de suelo seco se alcanza a saturar una cantidad de $6,023 \times 10^{20}$ iones de hidrógeno o su equivalente. Para efectos prácticos la CIC se toma como la suma en miliequivalentes de los cationes K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , NH_4^+ e H^+ . Lo anterior debido a que esos cationes son los más abundantes, mientras que otros como Fe^{+2} , Cu^{+2} y Mn^{+2} se consideran trazas (Espinosa, 2003). Estos cationes, clasificados como intercambiables pertenecen a una de las tres categorías de iones existentes en los suelos (de fase sólida, intercambiable y soluble). Las soluciones de sales eliminan algunos aniones de los suelos, pero, debido a que la mayoría de los coloides del suelo (arcillas y *humus*) están cargados negativamente, la reacción principal la constituye el intercambio de los cationes del suelo por los de la solución extractora (Espinosa, 2003). La proporción en la que participa cada uno de los cationes produce cambios significativos en las propiedades nutricionales de las plantas y los organismos del suelo. Una CIC por encima de 25 se considera óptima para el establecimiento de cualquier cultivo.

MATERIA ORGÁNICA

El segundo mayor componente del suelo es su materia orgánica, la cual está compuesta principalmente por los residuos de las plantas. En los suelos cultivados, una gran parte de estas son extraídas, pero muchos de sus tallos y raíces son dejados en el campo. Junto a estos residuos también hay que incluir los cadáveres de diversos tipos de microorganismos tales como bacterias y hongos, exudados de las raíces de las plantas y microorganismos y el *humus*. La mayor cantidad de la materia orgánica de un suelo se encuentra ubicada principalmente en la primera capa del perfil del mismo y su composición varía con el clima, prácticas agrícolas y actividad animal. En algunos suelos esta capa puede tener tan solo milímetros, mientras que en otros puede medir hasta metros

(histosoles). El *humus*, que está compuesto por componentes orgánicos altamente degradados puede ocupar hasta el 80% del contenido total de materia orgánica de un suelo. El contenido de *humus* en un suelo es muy importante debido a la gran capacidad de retención de cationes que posee (hasta seis veces más que las arcillas) (YARA, 2002).

La materia orgánica es muy delicada e inestable, fácilmente se puede distorsionar por sobrelaboreo del suelo o pérdidas por inundaciones o erosión. Cuando los suelos son vírgenes y se cultivan por primera vez hay un rápido descenso en el contenido de materia orgánica. Esto sucede más rápidamente en suelos tropicales y como resultado de este cambio el nitrógeno es mineralizado. Como este proceso es debido a la actividad biológica en climas tropicales el proceso es más rápido comparado con climas más fríos. Los principales efectos de la materia orgánica son:

Almacenamiento de nutrientes: el comportamiento de la materia orgánica es similar al de las arcillas. Ambas moléculas tienen una superficie cargada negativamente muy amplia, por consiguiente atraen iones cargados positivamente (cationes) y los retienen haciéndolos disponibles para las plantas. La materia orgánica posee alrededor del 95% del nitrógeno, el 90% del azufre y del 30 al 50% del fósforo del suelo (YARA, 2002).

Disponibilidad de nutrientes: la materia orgánica regula el suplemento de nutrientes para las plantas, ya que forma complejos (interacciones químicas) con los iones metálicos. Un gran número de complejos ocurre naturalmente dentro del suelo. Uno de los más significativos es la "quelación", donde parte de una molécula orgánica envuelve un ion metálico, sosteniéndolo en una débil combinación química. La formación de complejos metálicos con materia orgánica, tal como quelatos, es una manera muy efectiva de retener micronutrientes dentro del suelo, e.g. hierro, cobre, manganeso y zinc en formas que son disponibles para las plantas.

Capacidad tampón del suelo: otro efecto de la materia orgánica es su capacidad para actuar como tampón (*buffer* en inglés) con el fin de evitar cambios rápidos dentro del suelo. Por ejemplo, cambios en el pH. Un alto contenido de materia orgánica también moderará los cambios en la temperatura del suelo.

Estructura del suelo: la materia orgánica juega un papel muy importante mejorando la estructura del suelo, ya que ata las partículas de este, manteniéndolas juntas, para formar agregados estables. Los enlaces químicos y físicos que se forman protegen los agregados del suelo de las fuerzas destructivas como lluvias fuertes, erosión y actividades agrícolas.

Capacidad de retención de humedad: como la materia orgánica crea agregados más estables, se produce un gran espacio poroso que permite una mayor aireación y almacenamiento y movimiento de agua. La capacidad de almacenamiento de agua se incrementa de 1 a 2% proporcionalmente al contenido de materia orgánica en el suelo (YARA, 2002).

TEXTURA

El contenido de arenas, limos y arcillas de un suelo define su textura, cuanto más contenido de alguna de estas tres partículas posea un suelo, así serán sus propiedades texturales (Tabla 26).

Tabla 26. Textura del suelo.

	CARACTERÍSTICAS	TAMAÑO (mm)	FORMAS TEXTURALES
Arcilla	Presenta alta retención de humedad, fertilidad química y CIC. Presenta baja permeabilidad (encharcamiento)	<0,002	
Limo	Presenta baja estabilidad estructural y permeabilidad media o baja.	0,002 - 0,05	
Arena	Presenta alta permeabilidad, baja CIC y retención de humedad.	0,05 y 2,00	

Fuente: CBios 2009.

El cultivo de pimentón se adapta bien en suelos franco-arcillosos, es decir, con un porcentaje de arcilla un poco mayor que el de arena y limo. Este tipo de textura otorga a los suelos una capacidad de intercambio catiónico óptima, por cuanto las arcillas son coloides que actúan como imanes de cationes, además, gracias a su relativo alto contenido de arena y limo, el suelo contará con un sistema de drenaje adecuado.

FORMULACIÓN DE FERTILIZANTES

Para realizar una recomendación de fertilización, ya sea de fondo (pre-siembra) o de mantenimiento, es necesario tener en cuenta tres aspectos fundamentales: el contenido nutricional de los materiales a utilizar (fertilizantes, abonos y/o enmiendas), los requerimientos nutricionales de las plantas (Tabla 30) y el contenido nutricional del suelo (Figura 48).

FERTILIZACIÓN PRESIEMBRA (FONDO)

Con la fertilización de fondo o presiembra se busca estabilizar el contenido nutricional en el suelo. A manera de ejemplo para calcular adecuadamente la fórmula de fertilización de fondo se tomará el contenido de fósforo (P) de un suelo bajo invernadero ubicado en el municipio de Filandia (Quindío). De acuerdo con el resultado del análisis de suelo dicho contenido es de 32 ppm (Figura 48), mientras que el nivel óptimo recomendado de P elemental en el suelo para pimentón es de 550 ppm (Figura 48 y Tabla 27). Se pretende aplicar un *compost* de conejaza que contiene un 2,7% de P como P₂O₅ (Tabla 31). El cálculo de la cantidad a aplicar de conejaza se hará con base en la ecuación 22 que permite equilibrar el contenido nutricional del suelo seguido de la ecuación 23 que permite elaborar la fórmula de fertilización de fondo.

$$NS = NO - ND \text{ Ecuación 22}$$

$$MS = \frac{NS}{CM} \text{ Ecuación 23}$$

Donde NS representa la cantidad de nutriente a aplicar para equilibrar su contenido en el suelo, NO es el nivel óptimo recomendado para el suelo (Tabla 27), ND es la cantidad de nutriente disponible en el suelo (Figura 48), MS indica la cantidad de material a aplicar para equilibrar los contenidos nutricionales en el suelo y CM es la concentración del elemento en el material a aplicar (Tabla 31).



Figura 48.

Resultado de análisis de suelos realizado a un cultivo de pimentón bajo invernadero en el municipio de Filandia (Quindío).

Fuente: Laboratorio de suelos aguas y foliares CBios.

Tabla 27. Niveles óptimos en el suelo para el cultivo de pimentón.

MAYORES			MENORES		
ELEMENTO	UNIDAD	NIVEL OPTIMO	ELEMENTO	UNIDAD	NIVEL OPTIMO
pH	Unidades	6,5 – 6,8	S	ppm	110
CE	dS/m	< 1,57	Fe	ppm	20
N mineral	ppm	88	Mn	ppm	15
P ₂ O ₅	ppm	1260	Cu	ppm	1,5
K ₂ O	% saturación	17	Zn	ppm	4,5
Ca	% saturación	63	B	ppm	0,45
Mg	% saturación	15	Al	meq/100g	< 1
Na	% saturación	< 2			

Fuente: Laboratorio de suelos y nutrición vegetal CBios.

Primer paso: equilibrar el contenido de fósforo mineral en el suelo, mediante la aplicación de la ecuación 22. Se debe recordar que para balancear las ecuaciones es necesario trabajar con las mismas unidades, por tal razón se recomienda convertir los valores dados en ppm a kg/ha. Para este procedimiento se asumirá una profundidad de raíces de 25 cm (0,25m) y una densidad de 1 g/cc.

$$NO = 550ppm = 550 \frac{g}{m^3} * 0,25m * \frac{1kg}{1.000g} * \frac{10.000m^2}{1ha} = 1375 \frac{kg}{ha}$$

$$ND = 32ppm = 32 \frac{g}{m^3} * 0,25m * \frac{1kg}{1.000g} * \frac{10.000m^2}{1ha} = 80 \frac{kg}{ha}$$

$$NS = NO - ND = 1.375 \frac{kg}{ha} - 80 \frac{kg}{ha}$$

$$NS = 1.295 \frac{kg P}{ha}$$

La cantidad de fósforo necesario para equilibrar el contenido de este nutriente en el suelo será de 1.295 kg/ha.

Segundo paso: una vez hallada la cantidad de fósforo necesario para equilibrar su contenido en el suelo y para suplir las necesidades del cultivo, se escoge el fertilizante más adecuado para ser utilizado, teniendo en cuenta no solo el contenido de fósforo sino el de los elementos que se encuentren en un nivel por debajo del óptimo. Con todos los datos recolectados se determina la cantidad de fertilizante a aplicar para equilibrar el contenido de P en el suelo utilizando la ecuación 23. Para efectos del procedimiento, se aplicará la ecuación con *compost* de conejaza (Tabla 31). Inicialmente se convierte el contenido de fósforo del fertilizante en porcentaje a contenido en peso, de la siguiente forma:

$$CM = 2,7\% = 0,027 \frac{kg P_2O_5}{kg \text{ conejaza}}$$

Se debe tener en cuenta que los requerimientos de fósforo para el suelo (**NS**) están dados en P elemental mientras que el contenido de fósforo del fertilizante que se quiere aportar está dado en forma de fosfato P_2O_5 . Por lo anterior es necesario conocer el contenido exacto de fósforo en la molécula de P_2O_5 para hallar la cantidad requerida de *compost* de conejaza a aplicar. Para esto se necesita conocer el peso atómico de cada elemento dentro de la molécula (Tabla 28).

Tabla 28. Pesos atómicos de los elementos nutricionales esenciales para las plantas.

ELEMENTOS		
ELEMENTO	SÍMBOLO	MASA ATÓMICA
Hidrógeno	H	1
Boro	B	11
Carbono	C	12
Nitrógeno	N	14
Oxígeno	O	16
Sodio	Na	23
Magnesio	Mg	24
Aluminio	Al	27
Fósforo	P	31
Azufre	S	32
Potasio	K	39
Calcio	Ca	40
Manganeso	Mn	55
Hierro	Fe	56
Cobre	Cu	64
Zinc	Zn	65

Con base en lo anterior se puede establecer el peso atómico de la molécula de fosfato P_2O_5 así:

$$P_2O_5 = (31 * 2) + (16 * 5) = 62 + 80 = 142$$

Esto indica que el 44% de la molécula de P_2O_5 es fósforo elemental, es decir, en 100 g de P_2O_5 hay 44 g de fósforo elemental. De lo anterior podemos deducir que en 100 g de conejaza, que contienen 2,7 g de P_2O_5 , hay 1,2 g de fósforo elemental. A continuación se aplica la ecuación 23:

$$CM = 1,2\% = 0,012 \text{ kgP} / \text{kg conejaza}$$

$$MS = \frac{NS}{CM} = \frac{1,295 \text{ kg} / \text{ha}}{0,012 \text{ kgP} / \text{kg conejaza}}$$

$$MS = 107,917 \text{ kg conejaza} / \text{ha} = 108^t \text{ conejaza} / \text{ha}$$

La cantidad de conejaza que se debe aplicar para equilibrar el contenido de fósforo en el suelo es de 108 t/ha.

Fórmulas de fertilización: el procedimiento anterior se debe implementar para determinar las cantidades de fertilizante a aplicar, con el fin de suplir las necesidades de cada uno de los elementos que se encuentren por debajo del nivel óptimo. Se debe tener en cuenta que no todos los fertilizantes suplen las necesidades individuales por elemento, por cuanto su contenido nutricional puede o no cubrir las demandas particulares de cada suelo. Por tal razón, es necesario, en la mayoría de los casos, realizar adiciones de varios fertilizantes.

FERTILIZACIÓN DE MANTENIMIENTO

La fertilización de mantenimiento se realiza con el objetivo de aportar-le a las plantas la cantidad necesaria de nutrientes que requieren a lo largo del ciclo de cultivo, de acuerdo a sus necesidades específicas y al desarrollo fisiológico de cada momento. Esta fertilización generalmente se realiza por medio del sistema de riego por goteo y se le denomina fertirriego.

La fertirrigación es la aplicación fraccionada de nutrientes a través de un sistema de riego, lo que permite hacer una fertilización día a día, en función de las necesidades del cultivo y sus etapas de desarrollo. Para elaborar la fórmula de fertirriego se deben conocer previamente los requerimientos hídricos del cultivo y elaborar la fórmula de fertilización estándar.

ELABORACIÓN DE LA FÓRMULA ESTÁNDAR DE FERTIRRIEGO

La Tabla 29 presenta la fórmula estándar de fertirriego para el cultivo de pimentón bajo invernadero. La fórmula estándar está presentada con los nutrientes en forma de elementos, pero de forma práctica, es necesario convertirla a cantidades de fertilizantes comerciales. Para elaborar la fórmula estándar de fertirriego se debe conocer la extracción nutricional del cultivo (Tabla 30) y los requerimientos hídricos de la planta (Tabla 15) Se asume que el contenido nutricional del suelo se ha nivelado previamente con la fertilización de fondo.

Tabla 29. Contenido nutricional de la fórmula estándar de fertirriego para el cultivo de pimentón.

MAYORES		MENORES	
ELEMENTO	CONTENIDO	ELEMENTO	CONTENIDO
	ppm o g/m ³		ppm o g/m ³
N total	38	Fe	0,2
NH₄	4	Mn	0,1
NO₃	34	Cu	0,2
P₂O₅	7	Zn	0,1
K₂O	48	B	0,1
Ca	6	Mo	0,05
Mg	3		
S	4	CE (dS/m)	1,36*

*Medido en dS/m

Tabla 30. Extracción de nutrientes del cultivo de pimentón por ciclo de producción.

MAYORES			MENORES		
ELEMENTO	EXTRACCIÓN		ELEMENTO	EXTRACCIÓN	
	kg/ha	g/m ²		g/Ha	mg/m ²
N mineral	170	17	Fe	600	60
P₂O₅	50	5	Mn	400	40
K₂O	120	12	Cu	500	50
Ca	70	7	Zn	300	30
Mg	60	6	B	200	20
S	11	1			

Fuente: Laboratorio de suelos y nutrición vegetal CBios.

Una vez se tiene la información necesaria se deben seguir los siguientes pasos:

Primer paso: determinar la cantidad de nutriente a aportar diariamente en gramos de nutriente por metro cúbico de agua que se esté aplicando al cultivo. Para el siguiente ejemplo se asumirá que el ciclo de pimentón dura 180 días, con unos requerimientos promedios de agua por día de 0,9 l/planta/día y que la extracción de N de la planta es de 0,04 g/planta/día. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$N = \frac{1.000 \text{ l} * 0,04 \text{ g/planta día}}{0,9 \text{ l/planta día}} = 44,4 \text{ g/m}^3$$

Se deben aportar 44,4 g de N por cada m³ de agua que llegue al cultivo. Este procedimiento se debe realizar para todos los elementos nutricionales.

Segundo paso: establecer la cantidad diaria de fertilizante a aportar, en gramos de nutriente por metro cúbico de agua que se esté aplicando al cultivo. Para esto es necesario conocer el contenido nutricional de los fertilizantes que se quieren aplicar. Para efectos del ejemplo, se utilizará el nitrato de amonio.

$$CM = 26\% = 0,26 \text{ kgN/kg nitrato de amonio}$$

El cálculo anterior indica que en 100 g de nitrato de amonio hay 26 g de nitrógeno. Se aplica en la ecuación 23 definida en el segundo paso de la fertilización presembrada:

$$NS = 44,4 \text{ g/m}^3$$

$$MS = \frac{NS}{CM} = \frac{44,4 \text{ g/m}^3}{0,26}$$

De esta forma se determina la cantidad de nitrato de amonio en gramos por metro cúbico de agua (g/m³ o ppm) que se deben aportar para configurar la fórmula estándar de fertirriego. Así como en el ejemplo se realizó el cálculo para el nitrógeno, de igual forma habrá que realizar el mismo procedimiento para cada uno de los nutrientes que considera la fórmula estándar. Dependiendo de los fertilizantes seleccionados y sus contenidos de nutrientes habrá que balancear los contenidos de cada uno de ellos para llegar a construir dicha fórmula estándar de la manera más aproximada posible. Es necesario tener en cuenta que los fertilizantes individuales pueden no llegar a suplir las necesidades individuales por elemento, por lo cual habrá que considerar la realización de mezclas de fertilizantes.

AJUSTE DE LA FÓRMULA ESTÁNDAR DE FERTIRRIGACIÓN

Mediante el procedimiento anterior se demostró la elaboración de la fórmula estándar de fertirriego para el cultivo. Esta fórmula es funcional siempre y cuando los contenidos en el suelo sean óptimos, lo que se consigue mediante la fertilización inicial de fondo. Sin embargo, es posible modificar la fórmula de fertirrigación estándar, con el objetivo de equilibrar los contenidos nutricionales del suelo desde un inicio, ya sea para reemplazar la fertilización de fondo o para reforzarla. Con base en el resultado del análisis de suelos (Figura 48), se multiplica el contenido de la fórmula de fertirrigación final por:

- Óptimo: no se multiplica
- Deficiente: se multiplica por 1,5
- Bajo: se multiplica por 1,25
- Alto: se multiplica por 0,75
- Exceso: se multiplica por 0,5

Como ejemplo, se asume que el contenido de N es deficiente, por consiguiente multiplicamos el resultado final del fertilizante a aplicar (nitrato de amonio) por 1,5:

$$171 * 1,5 = 256 \text{ g de nitrato de amonio / m}^3 \text{ de agua}$$

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

En el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, se llevó a cabo una investigación con la cual se buscó caracterizar un gran número de materiales orgánicos ampliamente utilizados así como otros con gran potencial de uso. Los resultados de dicha caracterización son presentados a continuación. Se debe tener en cuenta que, aunque para cada uno de los materiales se realizaron varias pruebas de laboratorio, con el fin de obtener resultados estadísticamente válidos, las características fisicoquímicas y biológicas de cada material dependerán del manejo llevado a cabo por el fabricante.

En la Tabla 31 se puede apreciar el perfil nutricional de los materiales caracterizados. Se incluye en esta tabla, además, el contenido nutricional de algunos materiales permitidos en agricultura orgánica.

Tabla 31. Contenido nutricional de los materiales orgánicos caracterizados.

MATERIAL	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	%										
Compost rosas (FL)	2,27	0,51	1,80	2,30	0,56	0,33	0,54	0,026	0,001	0,010	0,004
Compost bovinaza (BC)	2,40	1,50	0,37	0,98	0,15	0,35	0,67	0,022	0,014	0,058	0,001
Compost pastura (PA)	1,67	1,53	2,45	4,57	0,52	0,29	0,91	0,057	0,003	0,012	0,004
Compost porquinaza (PO)	1,63	1,40	1,33	1,40	0,67	0,15	0,86	0,029	0,011	0,019	0,002
Compost gallinaza (GA)	1,23	2,25	1,90	9,17	0,58	0,26	1,17	0,040	0,002	0,025	0,002
Lombrihumus (LH)	1,33	0,62	1,18	2,10	0,56	0,24	0,55	0,023	0,001	0,022	0,002
Compost conejaza (CO)	2,43	2,70	1,60	3,13	1,07	0,44	0,37	0,039	0,007	0,058	0,003
Compost caprinaza (CP)	1,95	2,00	1,80	3,95	0,76	0,34	1,18	0,032	0,004	0,031	0,003
Compost equinaza (EQ)	1,90	0,75	1,90	1,70	0,53	0,22	0,14	0,032	0,001	0,010	0,001
Compost tomate	0,80	1,10	1,00	3,20	0,60	0,20	2,20	0,000	0,000	0,000	0,000
Roca fosfórica		23,0		18,0							
Feldespató potásico			12,0								
Cal agrícola				85,0							
Cal dolomita				47,0	13,0						
Sulfato de potasio			5,0			16,0					
Sulfato de calcio (yeso)				2,0		16,0					
Sulfato de magnesio					16,0	12,0					
Sulfato de hierro							22,0				
Sulfato de manganeso								3,0			
Sulfato de cobre									25,0		
Sulfato de zinc										28,0	

Fuente: CBios 2009. Materiales resaltados presentan los mejores contenidos nutricionales.

Porcentaje de humedad de los materiales orgánicos caracterizados.

El porcentaje de humedad es un indicador del grado de compostaje que posee un material orgánico. Es conveniente utilizar materiales con un porcentaje de humedad de entre el 20 y 30%, como el *compost* de bobinaza (BC). Como se aprecia en la Figura 49a, la equinaza fue el material que presentó un mayor porcentaje de humedad, seguido de la caprinaza y el lombrihumus. Materiales que se encuentren por debajo del rango recomendado pueden limitar la actividad biológica, y materiales que lo superen pueden ocasionar pérdidas para el agricultor, en la medida en que básicamente estaría adquiriendo agua.

Densidad aparente de los materiales orgánicos caracterizados. Aunque con respecto a la densidad aparente se apreciaron diferencias significativas entre todos los materiales, el rango en el que fluctuó este parámetro se encontró dentro de los límites aceptados. Por lo anterior este indicador físico se consideró adecuado para todos los materiales (Figura 49a).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los materiales orgánicos caracterizados. La CIC es uno de los indicadores más importantes en un

material orgánico, por cuanto una de las principales razones para la aplicación de estos materiales es incrementar la CIC de los suelos. En este sentido, el material más promisorio fue el *compost* de equinaza (EQ), seguido del *compost* de bovinaza (BC), el *compost* de conejaza (CO) y el *lombrihumus* (LH). El *compost* de gallinaza (GA) mostró los valores más bajos de CIC (Figura 49c).

Porcentaje de materia orgánica (MO) de los materiales orgánicos caracterizados. Al igual que la CIC, el porcentaje de materia orgánica (MO) es un parámetro fundamental al momento de escoger un material orgánico. Como se muestra en la Figura 49c, el *compost* de equinaza (EQ), el *compost* de bovinaza (BC), el *compost* de conejaza (CO) y el *compost* de rosas (FL) fueron los materiales que presentaron un mayor porcentaje de MO. El *compost* de gallinaza (GA) es el material con más pobre contenido de MO. Estos resultados concuerdan con la CIC, lo que corrobora la íntima relación que existe entre estos dos parámetros.

Relación carbono/nitrógeno de los materiales orgánicos caracterizados. Con respecto a la relación C/N, es conveniente que los materiales se encuentren en un rango entre 11 y 15, con el objetivo de permitir el correcto flujo de nitrógeno hacia la planta, evitando inmovilizaciones o pérdidas de este elemento. A partir de esto se aprecia que, a excepción del *compost* de equinaza (EQ) y el *lombrihumus* (LH), todos los materiales se encontraron dentro del rango recomendado (Figura 49e).

pH de los materiales orgánicos caracterizados. La mayoría de microorganismos que participan en el proceso de mineralización de nutrientes sobrevive en un rango de pH cercano al neutro (6-7). Los resultados de la caracterización indicaron que todos los materiales, a excepción del *compost* de gallinaza (GA), el *compost* de equinaza (EQ) y el *compost* de pastos (PA), se encontraron dentro del rango adecuado de pH (Figura 49f).

Conductividad eléctrica (CE) de los materiales orgánicos caracterizados. A partir de los resultados de la CE se aprecia que el *compost* de gallinaza (GA), el *compost* de pastos (PA), el *compost* de caprinaza (CP) y el *compost* de conejaza (CO), presentaron la mayor concentración de sales (Figura 49g). Esto indica que es conveniente tener especial cuidado con el manejo de estos materiales en campo, con el fin de evitar posteriores excesos de sales.

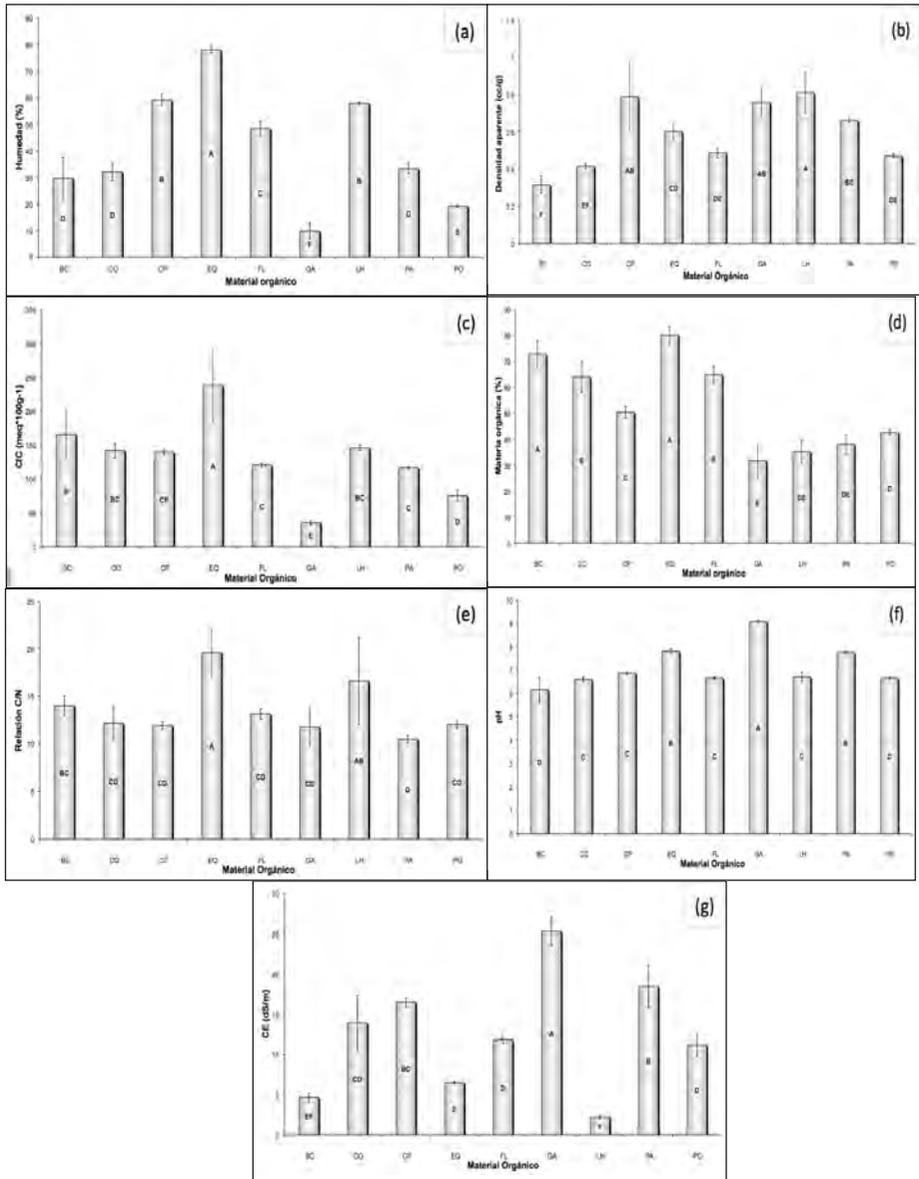


Figura 49.

Porcentaje de humedad (a), densidad aparente (b), CIC (c), porcentaje de materia orgánica (d), relación C-N (e), pH (f) y CE (g) de los diferentes materiales orgánicos caracterizados.

Fuente: CBios. Barras con la misma letra no presentaron diferencias significativas.



MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Luis Alejandro Arias
Luz Stella Fuentes

INTRODUCCIÓN

El manejo de plagas debe integrar diferentes estrategias como el control biológico, botánico, etológico y químico, entre otros; para reducir las pérdidas por plagas y enfermedades de manera eficaz, económica y ecológicamente compatible. Sin embargo, en la actualidad se presenta un manejo convencional o uso intensivo de plaguicidas de síntesis química en diversos cultivos como el pimentón y no necesariamente son las opciones más eficaces, económicas o ambientalmente apropiadas, debido a que esto conlleva a impactos negativos para la salud del productor, del consumidor y del medio ambiente (van Lenteren, 1995). El manejo actual de plagas en el cultivo de pimentón en Colombia, es preocupante en la medida que existen diversas plagas transversales que atacan solanáceas cultivadas en el país bajo grandes extensiones como es el caso de papa, tomate, uchuva, lulo y tomate de árbol. A su vez, la presencia de plagas cuarentenarias en las mismas, implica una adopción de varias alternativas para mitigar este riesgo.

Un ejemplo de medida de manejo integrado en pimentón puede ser la rotación de éste con pepino, la cual puede disminuir la presencia de arvenses en el cultivo y por ende hospederos alternos para plagas y enfermedades en los dos cultivos (Gilreath *et al.*, 2004). En este capítulo exploramos las diferentes opciones de manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de pimentón, con estrategias mucho más eficaces, rentables y ambientalmente amigables que el uso intensivo de plaguicidas sin base racional, sumándonos a la tendencia mundial en la producción de pimentón que se inclina al uso de alternativas sostenibles (Gopinath *et al.*, 2009).

ARTRÓPODOS PLAGA EN PIMENTÓN

Los artrópodos plaga en pimentón reúnen a diferentes especies de insectos y otros artrópodos como ácaros que causan daños sobre las plantas, por consumo y reproducción sobre las mismas, generando disminuciones drásticas en la producción. A continuación se presentan los artrópodos plaga más importantes en los sistemas de producción de pimentón para Colombia.

MOSCA BLANCA O PALOMILLA (*Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*)

En Colombia, las especies más abundantes son *Trialeurodes vaporariorum* (Figura 50) presente en zonas de clima medio a frío y *Bemisia tabaci* asociada a zonas de clima medio a cálido. Este insecto conocido como “mosca blanca” se encuentra comúnmente en cultivos como tomate, pimentón, pimentón, yuca, batata, frijol, ají, papa, berenjena, calabacín y melón, entre otros (Shi-Ze *et al.*, 2008).



Figura 50.
Adulto de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Biología: los adultos se encuentran en el envés de las hojas superiores y/o jóvenes de las plantas, siendo este el lugar donde se alimentan de la savia y donde colocan sus huevos. El desarrollo de la mosca blanca pasa por 4 estados (huevo, ninfa, pupa y adulto) (Figura 51) y generalmente tiene una duración de 25 a 30 días bajo condiciones de temperatura de entre 20 y 25°C. Los huevos son muy pequeños, al inicio son de color blanco y luego se tornan cafés. Una vez eclosionado el huevo, emerge una pequeña ninfa,



Figura 51.
Ninfa IV de mosca blanca (*T. vaporariorum*).

que pasa por cuatro instares y un estado conocido como pupa al final del cuarto instar, seguido por una etapa como adulto. El número de huevos por hembra depende de la temperatura y planta hospedera, con una variación de entre 28 y 534 huevos/hembra (van Roermond & van Lenteren, 1992).

Daño: la mosca blanca produce tres tipos de daño sobre su hospedante vegetal (Figura 52): 1) Daño directo causado por adultos e inmaduros al succionar la savia de la planta, lo cual causa clorosis sobre las mismas; 2) Daño indirecto por la formación de fumagina, sobre la excreción azucarada de adultos y ninfas de la mosca blanca, la cual se forma sobre las hojas y frutos, al crecer el hongo *Cladosporium* sp. reduciendo la fotosíntesis de la planta. 3) Daño indirecto al transmitir virus. Este daño es sumamente importante en el caso de *B. tabaci*, transmisor de geminivirus que afectan fuertemente el rendimiento del cultivo del pimentón, por ejemplo.



Figura 52.
Mosca blanca (*T. vaporariorum*) en hojas de pimentón.

Manejo: se recomienda iniciar un cultivo libre de focos, para esto es necesario realizar monitoreos previos (Hernández & Martínez, 2007), por eso se deben destruir o manejar todos los residuos de cultivo anteriores. Se debe eliminar también toda la vegetación dentro del invernadero y dejar abiertas las cortinas para estimular la emigración de las plagas. Durante el ciclo de cultivo, se recomienda adoptar prácticas de sanidad de cultivo, eliminando con frecuencia las malezas dentro y alrededor del mismo. El control biológico de mosca blanca se presenta como la mejor alternativa dentro de un programa de manejo integrado de plagas, soportado por los éxitos logrados hasta ahora en el mundo. Los parasitoides *Encarsia formosa* (Figura 53) y *Amitus fuscipennis* (van Roermond, 1995; Fuentes, 2000), depredadores como *Chrysoperla carnea* y entomopatógenos como *Beauveria bassiana* (figura 53) tienen alto potencial como controladores biológicos de mosca blanca en Colombia. Otro controlador para este insecto y que además consume *trips* (*Frankliniella occidentalis*) plaga que se tratará más adelante, es *Amblyseius swirskii* como medida adicional (Messelink et al., 2008). En cuanto a *B. tabaco*, un controlador natural reportado para pimentón es el parasitoide *Eretmocerus mundus* (Zandi-Sohani et al., 2009).

Para el control químico es necesario tener en cuenta varios parámetros como el uso de productos específicos para los estados de desarrollo de la plaga, para romper el ciclo biológico del insecto, la rotación de productos químicos y la compatibilidad con los enemigos naturales. Teniendo en cuenta un uso adecuado que respete los períodos de carencia de las moléculas, (que no se realicen aplicaciones cercanas al momento de la cosecha), ya que la fracción de plaguicida que queda en el fruto implica una residualidad del mismo que puede llegar al consumidor con posibilidades de afectar su salud. En esta vía se han monitoreado pesticidas presentes en pimentón, siendo preocupante la residualidad de organofosforados y clorpirifos, además de metales pesados (Mansour *et al.*, 2009). Específicamente, para el manejo de esta plaga existen en el mercado diversas alternativas de ingredientes activos, que deben ser rotados según su mecanismo de acción, siguiendo las recomendaciones de un asistente técnico; sin embargo, en la actualidad un ingrediente activo novedoso para su manejo es el “spiromesifen”, que por sus características químicas genera un menor impacto ambiental.

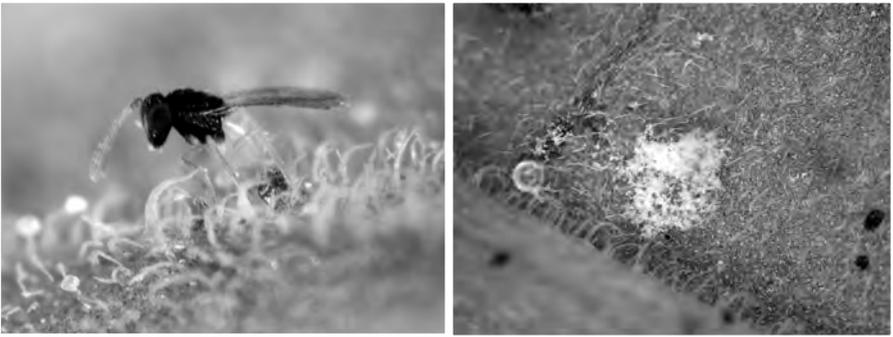


Figura 53.

Adulto de la avispa parasitoide *Encarsia formosa* (izquierda). Ninfa de mosca blanca afectada por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (derecha).

PASADOR DEL FRUTO (*Neoleucinodes elegantalis*)

El pasador del fruto es una de las plagas más importantes del pimentón en América Latina. Por lo general, afecta cultivos de solanáceas como lulo, tomate de árbol, tomate de mesa, berenjena y pimentón. Una característica fundamental en su manejo es que corresponde a una plaga cuarentenaria, lo cual implica que su presencia en el cultivo impide la entrada del producto fresco a mercados internacionales como el de los Estados Unidos.

Biología: los adultos del pasador del fruto son polillas de apariencia blancuzca, con las alas blancas un poco hialinas, con áreas escamosas que sobresalen, de color canela oscuro a marrón, y de hábitos nocturnos, se

caracterizan por tener el abdomen curvado mientras se encuentran en reposo (Figura 54). Las hembras de *Neoleucinodes* tienen la capacidad de ovipositar entre 100 a 250 huevos, los colocan debajo de la corola de la flor, en la base de los pedúnculos del fruto y en ocasiones sobre frutos de 1 a 2 cm



Figura 54. Adulto del pasador del fruto del pimentón, *Neoleucinodes elegantalis*.

de diámetro. Al eclosionar las larvas, estas penetran rápidamente al fruto (de 5 a 20 minutos como máximo), lo cual dificulta el uso de larvicidas. La larva se desarrolla dentro del fruto con una duración aproximada de 20 días, una vez termina su desarrollo, deja una cicatriz redonda y se dirige hacia el suelo donde empupa superficialmente. La pupa se caracteriza por ser de color caoba claro, que con el paso del tiempo se torna marrón. El promedio de duración en días de las diferentes fases de desarrollo a temperatura de 25°C es de 5 días para huevo, 20 días larva, 3 días prepupa, 11 días en pupa, 7 días adulto, siendo más longevas las hembras que los machos. Es decir, el ciclo de vida de este insecto es de aproximadamente 45 días en Colombia (Fernández & Salas, 1985; Arias, 2005).

Daño: perfora el fruto y se alimenta de la pulpa del mismo (Figura 55), realizando galerías al interior del pericarpio; durante todo el desarrollo la larva permanece al interior del fruto, y cuando se observa el orificio de salida ya lo ha consumido en más de un 60% (Marcano, 1991). El síntoma inicial se debe monitorear buscando una punción inicial en frutos de hasta 2,5 cm de diámetro, para lo cual se debe entrenar al personal a cargo.



Figura 55. Daño en fruto de pimentón ocasionado por larvas de *Neoleucinodes elegantalis*.

Manejo: existen varias prácticas de control cultural que efectivamente pueden contribuir a reducir el nivel de infestación por pasador del



Figura 56.
Trampa con feromona para captura de adultos machos de *Neoleucinodes elegantalis*.

fruto o prevenir futuros brotes de esa plaga. Entre ellas, la práctica más importante es la recolección y eliminación de frutos infestados (i.e. perforados por larvas de *Neoleucinodes*), para esto de deben eliminar preferiblemente cuando inicia la infección, por lo cual el entrenamiento del personal es fundamental. También es importante la rotación con cultivos de familias diferentes a *Solanaceae*. El uso de parasitoides de huevos de las polillas, como *Trichogramma exiguum* pueden disminuir el ataque de la plaga,

también el uso de *Copidosoma* sp. (Tróchez *et al.*, 1999). Así mismo, se puede aplicar el insecticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis*, que controla las larvas del pasador del fruto. Sin embargo, estos insecticidas biológicos solo tienen una ventana de acción muy limitada, debido a que no son eficientes una vez las larvas se encuentran dentro de los frutos. Por otra parte, el uso de feromonas (Figura 56) también puede servir como estrategia de control, atrayendo los machos del pasador, así evitando que haya fecundación de las hembras y por consecuencia que aumente la población. Para fines de control, se deben colocar una densidad mayor a 20 trampas/ha en el cultivo (Cabrera *et al.*, 2001).

El manejo con productos de síntesis química es limitado para el manejo de esta plaga, ya que el tiempo de eclosión de los huevos es corto y una vez las larvas del pasador del fruto se encuentren dentro de este, el control químico ya no es posible. Se debe atacar por ende a los adultos, por ejemplo, pero su ubicación es difícil, ya que son de hábitos nocturnos y se esconden con facilidad. Por último, aplicaciones frecuentes de insecticidas pueden interferir con el uso de avispitas *Trichogramma*, así indicando la necesidad de un manejo integrado. Preferiblemente, el control químico debe dirigirse a las larvas con teflubenzuron, o a los adultos con aplicaciones nocturnas de tiocyclam hidrogenoxalato (Muñoz *et al.*, 1991).

ÁFIDOS O PULGONES (*Macrosiphum euphorbiae*, *Myzus persicae*, *Aphis gossypii*)

Los áfidos son plagas polífagas (Figura 57), por lo cual se encuentran presentes en un amplio rango de hospederos, afectando una gran diver-

sidad de cultivos a nivel mundial. Aunque en el trópico comúnmente la problemática generada por los áfidos no es tan marcada como en zonas templadas, han sido reportados como plagas esporádicas en cultivos de pimentón. Es así como entre las especies más comunes se cuenta con *Macrosiphum euphorbiae* (Figura 58), siendo ampliamente conocido como el áfido de la papa y otras solanáceas, mientras que *Myzus persicae* y *Aphis gossypii* se encuentran comúnmente en cultivos como alcachofa, espárrago, frijol, remolacha, brócoli, repollo, zanahoria, coliflor, melón, apio, maíz, pimentón, nabo, berenjena, lechuga, mostaza, arveja, perejil, papa, rábano, espinaca, calabacín, tomate, sandía, tabaco y girasol. Sin embargo, las tres especies de áfidos pueden causar problemas graves en cultivos de pimentón (Kima *et al.*, 2007).

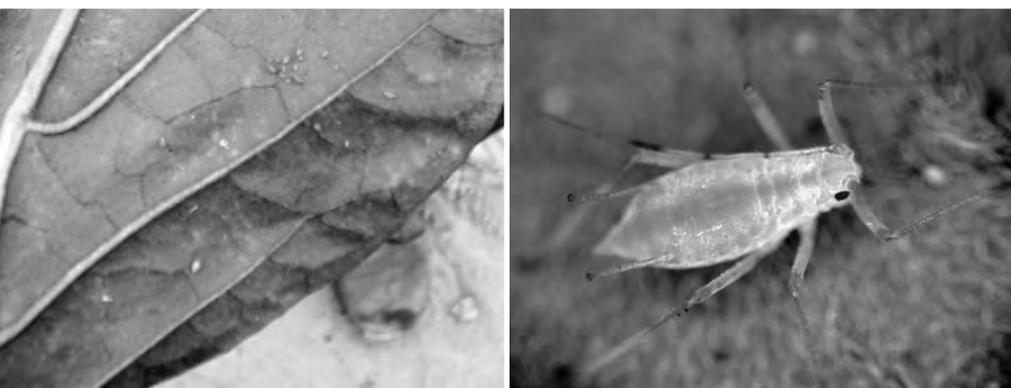


Figura 57.

Áfidos en hoja de pimentón (izquierda). Adulto del áfido *Macrosiphum euphorbiae* (derecha).

Biología: la duración de una generación completa de áfidos es muy corta, generalmente de 10 a 12 días o menos bajo condiciones de invernadero. Los áfidos adultos producen directamente ninfas vivas en condiciones del trópico. El período de vida promedio es de aproximadamente 25 días para *M. persicae*, cada adulto produce cerca de 75 ninfas.

Daño: consumen la savia de las plantas, causando pérdidas de rendimiento (en caso de altos números de individuos), o eventualmente distorsiones o clorosis en las hojas y deformaciones en los demás tejidos vegetales o plantas atrofiadas. Los áfidos también pueden producir daños indirectos como el crecimiento de la producción de fumagina sobre sus excreciones azucaradas, lo cual impide la fotosíntesis, situación similar a la generada por la mosca blanca.

Manejo: por medio de los monitoreos es posible aplicar modelos de presencia-ausencia de la población con ayuda de un asistente técnico, con lo cual se podría predecir el comportamiento futuro de la población de áfidos y dar soporte a las decisiones de manejo (Park *et al.*, 2001). Las poblaciones de áfidos pueden ser manejadas inicialmente con aspersiones de agua a alta presión, las cuales por su efecto mecánico desplazan los

individuos al suelo causando su disgregación y muerte por el impacto. Por otro lado, el manejo con insecticidas botánicos es una opción viable que puede ser incluida en un paquete de manejo integrado. Este tipo de productos no se inactivan con la acción de productos de síntesis química y se pueden utilizar en paquetes de control biológico teniendo en cuenta las precauciones necesarias. Es importante evitar su aplicación cuando se esté estableciendo una población de parasitoides o depredadores para no causar mayor mortalidad sobre dichas poblaciones. Los extractos vegetales no presentan hasta el momento ningún reporte de residualidad en el ambiente ni en el producto cosechado debido a la naturaleza orgánica de sus moléculas que se degradan rápidamente. Se recomienda realizar aplicaciones de este tipo de productos con una o dos semanas de antelación a la introducción de un controlador biológico.

Dentro de los insecticidas botánicos promisorios para ser utilizados en pimentón se encuentran los extractos de ortiga o ruda. Para su preparación se recomienda depositar 1 g de parte vegetal por litro de agua y fermentar durante 15 días. También los extractos vegetales se pueden conseguir de forma comercial en Colombia, aplicando las respectivas dosis recomendadas por el fabricante.

Otra forma de control natural es mediante el uso de varios insectos benéficos, como las avispas pequeñas (*Aphelinus* sp.), mariquitas (*Coccinellidae* spp.) y crisopas (*Chrysoperla* spp.) (Figura 58). En campo se puede identificar el efecto de las avispas pequeñas al encontrar “momias” de áfidos totalmente negras sobre las hojas, lo cual indica un parasitismo de la avispa. Al interior de esta “momia” se encontrará una avispa que saldrá posteriormente a parasitar más áfidos. Las mariquitas consumen en promedio 20 áfidos por día por individuo. En el caso de las crisopas, se pueden encontrar a nivel comercial en Colombia y bajo las indicaciones dadas por sus productores, se ha obtenido parasitismo sobre poblaciones de áfidos. Por lo general, una reducción del uso de plaguicidas puede lograr aumentos sustanciales en las poblaciones de estos enemigos naturales y así promover un control natural de estas plagas. Por otra parte, algunas especies del hongo del género *Lecanicillium* (*Lecanicillium longisporum*, *Lecanicillium attenuatum*), tienen efectos entomopatógenos sobre los áfidos *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aulacorthum solani* y a su vez, sobre el hongo *Sphaerotheca fuliginea*, agente causal del mildew polvoso en pimentón. Con este tipo de hongos se obtiene un doble beneficio al controlar un insecto y un hongo en el cultivo (Kima *et al.*, 2007). Otro entomopatógeno que ha mostrado resultados de eficacia superior al 60% sobre *M. euphorbiae* es *Beauveria bassiana* en estudios realizados por la Universidad Jorge Tadeo Lozano.



Figura 58.

Larva de *Chrysoperla carnea* (izquierda). Larva de *C. carnea* consumiendo un áfido (derecha).

El manejo con productos de síntesis química puede hacerse con ingredientes activos tales como pirimicarb, un insecticida con baja toxicidad para enemigos naturales como los coccinélidos (mariposas). Se debe destacar que el uso excesivo e innecesario de insecticidas tiene más desventajas que ventajas para el control de áfidos, debido a que la resistencia a los diferentes ingredientes activos se presenta de forma acelerada en estas especies de insectos, porque su ciclo de vida es corto sumado a una sobreposición de cohortes abundante, de esta manera el aplicar insecticidas indiscriminadamente, solo se acentúa el problema a futuro, mientras que teniendo en cuenta las recomendaciones aquí expuestas se puede obtener una solución integrada.

TRIPS (*Frankliniella occidentalis*, *Trips palmi*)

Los *trips* son pequeños insectos con tamaños que varían de 1 a 1,5 mm (Figura 59), considerados como plagas muy importantes de múltiples cultivos a nivel mundial. Es así como, *Frankliniella* es una plaga importante en cultivos de pimentón, tomate, ciertas verduras de hoja, rosa, crisantemo y cucurbitáceas. *Trips palmi* recientemente se estableció en Colombia, y tiende a presentarse de manera recurrente en zonas de clima medio y cálido. El comportamiento de la presencia de *trips* en los cultivos hortícolas y ornamentales en el país obedece a migraciones que presentan dos picos al año, uno en cada semestre, sin embargo, en los últimos años presumiblemente debido a efectos del calentamiento global, se ha visto afectado el comportamiento de estas oleadas de individuos, registrándose poblaciones considerables durante todo el año.

Biología: existen cuatro instares en el estado inmaduro, de los cuales solo dos son móviles y succionan la savia de la planta, los otros dos llamados pupa son inmóviles. Las *pupae* generalmente se encuentran en el suelo,

debajo de la planta, donde gradualmente se desarrollan en adultos. Estos se ubican principalmente en las flores y en explosiones demográficas severas invaden las hojas principalmente en el envés, las hembras de estos individuos tienen la capacidad de ovipositar de 24 a 96 huevos.



Figura 59.
Adulto del *trips* *Frankliniella* sp.

Daño: el proceso de succionar la savia por adultos y larvas, deja cicatrices pequeñas, lo cual en hojas produce una apariencia de color gris-plateada. También, la presencia de *trips* en botones florales o ápices puede interferir con su posterior desarrollo. Producen un daño directo sobre el fruto, creando cicatrices en forma de “cremallera”. Las lesiones causadas en el tejido en etapas tempranas de desarrollo del cultivo, ocasiona que el crecimiento de las células alrededor de las heridas sea irregular, lo cual con el tiempo se traduce en encrespamientos de las hojas. Por otro lado, sumado al daño directo, *Frankliniella* tiene la capacidad potencial de transmitir el “virus del mosaico del pimentón” (CMV), convirtiéndose en un vector a controlar para evitar problemas con este patógeno (Kim *et al.*, 2004).

Manejo: el monitoreo de *trips* se facilita con el uso de trampas azules con pegante, este pegante preferiblemente debe ser de origen sintético. Las trampas se deben revisar semanalmente, a su vez, los niveles de tolerancia para infestaciones de *trips* dependen mucho de la presencia de CMV en el cultivo. En caso de presencia de este u otros virus, se deben tomar medidas de control de *trips* de manera inmediata para evitar la transmisión del mismo. Aparte de la gran diversidad de depredadores presentes en el agroecosistema, se puede considerar la liberación de crisopas como *Chrysoperla externa* (con introducciones de 20.000 individuos por ha). Otro depredador potencial para *Thrips palmi* en pimentón pertenece al género *Orius* sp., siendo más eficaz en sistemas bajo invernadero (Kim *et al.*, 2004); así como *Neoseiulus cucumeris* utilizado para el manejo de *F. occidentalis* (Zilahi-Balogh *et al.*, 2007). En cuanto al control químico, no existen insecticidas

ticidas que controlen *trips* y a la vez sean totalmente selectivos con los enemigos naturales, sin embargo, ingredientes activos con alguna compatibilidad a enemigos naturales y bajo impacto ambiental son spinosad y spinetoram.

ENFERMEDADES DEL PIMENTÓN

Las enfermedades que afectan el cultivo de pimentón se pueden agrupar por agente causal, es decir, por el microorganismo responsable de la enfermedad; estos pueden ser hongos, bacterias, nemátodos y virus, los cuales pueden afectar hojas, sistema vascular, raíces y fruto. A continuación se presentan los patógenos más relevantes para Colombia.

GOTA O TIZÓN TARDÍO (*Phytophthora infestans*)

Agente causal y síntomas: la gota es una enfermedad altamente destructiva en pimentón. Esta enfermedad es causada por el hongo *Phytophthora infestans*, ataca todos los órganos de la planta, incluyendo hojas, peciolo, frutos y tallos. Los niveles de infestación de *P. infestans* tienen una estrecha relación con la humedad y presencia de agua libre en el follaje, la cual es necesaria para que los esporangios de esta germinen. Las lesiones en las hojas aparecen primero como manchas indefinidas que crecen rápidamente tomando una coloración café que cubre grandes áreas de la hoja, y luego se forma un moho blanquecino que se forma alrededor de las lesiones marrones grandes. Las lesiones de frutos aparecen como manchas grasosas, oscuras y oliváceas, las cuales crecen hasta que el fruto entero es invadido. Las noches frías con días moderadamente cálidos y alta humedad, favorecen el desarrollo de esta enfermedad, así mismo la presencia de agua libre sobre el follaje.

Manejo: se deben hacer monitoreos preventivos para detectar la presencia de síntomas iniciales por *P. infestans* y establecer focos en el cultivo; una vez establecidos los focos se recomienda enviar al laboratorio muestras para verificar el diagnóstico de la enfermedad, esta práctica se debe realizar para cada enfermedad presente en el cultivo. Posteriormente se debe disminuir la humedad del ambiente, la cual se puede manejar por medio de la aireación del invernadero bajando las cortinas en las mañanas y subiéndolas en las noches, o bien por medio de invernaderos automatizados con sensores de humedad. Otra estrategia es prevenir el establecimiento de cultivos hospederos de esta enfermedad alrededor de los cultivos de pimentón, como el caso de la papa que es altamente susceptible a estas

infecciones de gota y tener en cuenta la eliminación de residuos de ese cultivo. Las prácticas generales de fitosanidad, como las podas sanitarias y su posterior eliminación, también pueden contribuir al manejo de la gota en el invernadero. Preferiblemente, las podas sanitarias se combinan con una aplicación de fungicidas curativos (i.e. aplicaciones repetitivas después de 3-5 días). Los fungicidas sistémicos tales como cymoxanil, fenamidone, metalaxyl, dimetomorf o propamocarb, generalmente brindan excelentes resultados para el control de la gota. También se han obtenido buenos resultados con aplicaciones de hidrolato de chipaca, un producto apto para uso en cultivos orgánicos.

MOHO GRIS (*Botrytis cinerea*)

Agente causal y síntomas: el moho gris es una de las principales enfermedades en cultivos de pimentón bajo invernadero, causada por *Botrytis cinérea*, hongo de gran importancia en agricultura, porque afecta una amplia variedad de plantas ornamentales y hortícolas, cultivadas bajo invernadero y a campo abierto, causando daños en follaje y en cosecha.

Este hongo tiene la capacidad de invadir y dañar muchas partes de la planta, como flores (Figura 60), pedicelos, tallos (Figura 60), hojas, botones, frutos, bulbos, tubérculos y raíces, y casi siempre se encuentra en los tejidos viejos y senescentes de las plantas. Los factores que favorecen el desarrollo de *B. cinerea* son alta humedad relativa, temperaturas entre 15 a 22°C, y un mayor contenido de agua en los tejidos de las plantas. El síntoma más característico de la enfermedad se manifiesta inicialmente por una decoloración y humedecimiento de los tejidos. En condiciones de alta humedad relativa se desarrolla un moho de color gris de apariencia vellosa, compuesto de muchas esporas del hongo, por esto se ha denominado moho gris.



Figura 60.

Tallo de pimentón afectado por *B. cinerea* (izquierda). Flor de pimentón afectada por *B. cinerea* (derecha).

Manejo: se deben hacer monitoreos preventivos para detectar la presencia de síntomas iniciales por *Botrytis* y establecer focos en el cultivo. Como principales prácticas de prevención, están el control de la humedad y agua libre dentro del invernadero y una adopción de prácticas culturales como mantener los cultivos limpios eliminando residuos vegetales y realizar las podas a tiempo para evitar heridas grandes por donde puede entrar el hongo, así como la eliminación de tejidos enfermos. Este hongo posee la característica de atacar tejidos sanos como tejidos en descomposición presentes al interior de la plantación, a su vez continúa atacando los tejidos de los frutos en poscosecha. El enclamiento de suelos ácidos para incrementar el contenido de calcio en las plantas puede reducir la susceptibilidad de las plantas al patógeno, esto se traduce en que plantas sanas soportan mejor los ataques de patógenos, pudiendo emitir ataques bioquímicos contra estos. Las podas sanitarias eventualmente pueden ser complementadas con fumigaciones para evitar la posterior infección de heridas. Cuando los tallos están afectados, se recomienda cortar y raspar la zona afectada del tallo y posteriormente aplicarle una pasta con fungicidas como iprodione y tiram, con el fin de proteger la herida.

En países como Israel se han estudiado algunas alternativas, como por ejemplo, con el uso de moléculas como el quitosán (un polisacárido) que logra una inhibición de hasta el 80% en el hongo (Ben-Shalom *et al.*, 2003). Sin embargo, en Colombia este tipo de alternativas no se han evaluado o implementado, por lo cual se continúa acudiendo a las aplicaciones de fungicidas preventivos y curativos de los grupos químicos

MILDEO POLVOSO (*Sphaerotheca fuliginea*)

Agente causal y síntomas: el mildew polvoso en pimentón es causado por el hongo *Sphaerotheca fuliginea* (Figura 61). Es una enfermedad que afecta varios cultivos agrícolas y es relativamente importante en cultivos bajo invernadero, y aunque es común en climas cálidos y secos, se encuentra también en zonas húmedas y moderadamente frías. Esta es una de las enfermedades más comunes y fáciles de reconocer, ya que se manifiesta como manchas de aspecto polvoso y de color blanco sobre las hojas (Figura 61); afecta a todos los tipos de plantas incluyendo solanáceas como pimentón.

Manejo: evitar corrientes de viento muy fuertes en el invernadero, las cuales facilitan el transporte interno de esporas que propagan la enfermedad. Las podas fitosanitarias deben hacerse con tijeras desinfectadas y evitando movimientos bruscos sobre las plantas principalmente cuando se tie-

ne certeza de la presencia del hongo, debido a que sus esporas son muy livianas y se difunden rápidamente ante movimientos drásticos. El control de mildero polvoso se ha logrado con la aspersión de fungicidas sistémicos como piperalina y dimetomorf, aunque el hongo ha adquirido resistencia a algunos de estos productos. Así mismo, la mayoría de fungicidas que controlan el mildero polvoso reducen el crecimiento de la planta, razón por la cual, el control eficaz de los focos es aún más importante.



Figura 61.
Planta de pimentón afectada por mildero polvoso (*S. fuliginea*) (derecha). Mildero polvoso (*S. fuliginea*) sobre hoja de pimentón (izquierda).

Por otra parte, se ha demostrado que la aplicación de fertilizantes foliares a base de fósforo y potasio podría ser una medida complementaria para el manejo de *S. fuliginea*, esto se logra bajo una práctica conocida como la terapia de fertilización foliar que nutre a la planta y a la vez la protege de fitopatógenos a mediano y largo plazo (Reuveni & Reuveni, 1998). Es así como el uso de sales de fosfatos y potásicas, además de servir como fertilizantes foliares, han mostrado efecto fungicida sin generar efectos fitotóxicos sobre la planta (Reuveni *et al.*, 1996). El mecanismo de acción del potasio y fósforo a nivel foliar es por medio de la generación de inductores de resistencia en las plantas contra *S. fuliginea*, presentando reducciones hasta del 92% de incidencia de la enfermedad (Reuveni *et al.*, 2000), siendo una alternativa ambientalmente amigable y compatible con otros fungicidas.

El mildero polvoso también se puede manejar con extractos de "lengua de vaca" (*Rumex crispus*), una especie arvense conocida en zonas de clima frío (Choi *et al.*, 2004) como también con el extracto de *Rheum officinale*, planta que se encuentra en Colombia específicamente en el departamento de Antioquia, la cual ha sido estudiada por Yang *et al.* (2009) para el manejo de esta enfermedad. Finalmente, el hongo *Lecanicillium longisporum* se ha utilizado para el manejo del mildero polvoso con resultados promisorios (Kim *et al.*, 2008). Sin embargo, en la actualidad se continúan realizando aspersiones indiscriminadas de fungicidas. La recomendación es reducir este tipo de aplicaciones para dar paso a medidas alternativas como las anteriormente señaladas.

MARCHITEZ FUSARIANA (*Fusarium oxysporum*)

Agente causal y síntomas: la marchitez fusariana es causada por el hongo *Fusarium oxysporum*, enfermedad distribuida en todo el mundo causando grandes pérdidas en diversos cultivos. Este microorganismo es favorecido por temperaturas cálidas (20°C) asociadas a una alta humedad relativa. La infección causada por este hongo inicia al penetrar este a nivel del suelo ya sea por el tallo o raíces superficiales, y luego, por los haces vasculares, es trasladado a toda la planta. El hongo se desplaza al interior de esta por el sistema vascular de tallos y raíces, afectando, el movimiento de agua, nutrientes y asimilados dentro de la planta. El hongo se conserva en numerosos sustratos, en el suelo, y en restos vegetales. La diseminación de *Fusarium* se facilita por el agua de riego, el viento y las corrientes de aire, a su vez puede sobrevivir varios años en el suelo, aún cuando se dejen de cultivar plantas susceptibles y además tiene la capacidad de infectar rápidamente nuevos cultivos.

Afecta principalmente el tallo y causa clorosis a lo largo de las márgenes de las hojas más viejas seguido por una necrosis, afecta también el crecimiento y desarrollo de los frutos. Los síntomas inician en las hojas viejas y paulatinamente progresan hacia las hojas más jóvenes, causando la marchitez de la planta. Al cortar transversalmente el tallo de una planta afectada, se observa la formación de un anillo de color pardo y una decoloración del xilema. *F. oxysporum* sp. *radicis* se conoce como la podredumbre de raíces y base del tallo; el hongo afecta principalmente el sistema radical y se puede diferenciar de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* porque solo progresa hasta 25 cm por encima de la base del tallo y al cortar la raíz, se observa una lesión de color marrón por el sistema vascular con una pudrición seca parda de la corteza y el xilema. Es característico observar externamente las lesiones necróticas de raíces y base del tallo de la planta afectada (Figura 62). Como el hongo afecta la raíz, la infección además se manifiesta en una marchitez de la planta.



Figura 62.

Fusarium en la base de la planta de pimentón (izquierda). Detalle afección en la base del tallo de pimentón por causa de *Fusarium* (derecha).

Manejo: inicialmente, se debe confirmar el diagnóstico en laboratorio, posteriormente es necesario hacer monitoreos frecuentes por todo el invernadero, para así detectar los primeros focos de infección del hongo. Las infecciones de *F. oxysporum* se pueden prevenir utilizando sustratos de siembra desinfectados. Una alternativa para la prevención de esta enfermedad es mediante la siembra de variedades resistentes así como la realización de rotación de cultivos. La eliminación completa de plantas enfermas puede ayudar a controlar el hongo en el cultivo. Otra medida de manejo es por medio de la aplicación preventiva de fungicidas sistémicos del grupo de los benzimidazoles y/o morfolinas, o la implementación de control biológico, para lo cual se recomienda la realización de aplicaciones preventivas de hongos antagonistas como *Trichoderma harzianum*, realizadas a intervalos de 15 días, desde el inicio del cultivo o desde la fase de semillero.

Una alternativa alelopática que se ha estudiado para el manejo de *Fusarium oxysporum* es la incorporación de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el suelo previo a la siembra. Mediante esta práctica se han obtenido resultados de disminución de la enfermedad luego de varios ciclos de cultivo (Pavlou & Vakalounakisb, 2005). También se han probado fertilizantes biorgánicos a base de residuos de cosecha de arroz fermentados bajo incorporación de *T. harzianum*. La aplicación de estos productos al suelo han logrado disminuir la incidencia de *F. oxysporum* en suelos dedicados a la producción agrícola (Chen *et al.*, 2011). Otro control biológico potencial para el manejo de *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* consiste en la inoculación de hongos de micorrizas arbusculares principalmente *Glomus caledonium*, *Glomus* spp. y *Acaulospora* spp., los cuales han logrado disminuir los niveles de infestación en el suelo (Jun-Li *et al.*, 2010).

Dependiendo de la radiación solar incidente en la zona de la plantación se pueden utilizar métodos físicos como la solarización del suelo. Esta práctica puede inactivar hongos del género *Fusarium*. La solarización se realiza utilizando coberturas de plástico de 0,05 mm de grosor durante seis semanas previa a la cosecha siendo posible complementar este tratamiento con el uso de cal antes del inicio de la solarización (Bourbos *et al.*, 1997). Las medidas anteriormente mencionadas buscan disminuir las aplicaciones de agroquímicos persistentes al suelo, que causan graves perjuicios a sus poblaciones microbianas. La disminución de poblaciones microbianas en la rizosfera se constituye como un bioindicador de la acción persistente de la cipermetrina en el suelo utilizada para el manejo de patógenos en otras latitudes, este efecto ha sido estudiado por Baoguo *et al.* (2008), encontrando que puede ser nefasto y la recuperación de esta vida en el suelo es muy lenta.

ALTERNARIA O TIZÓN TEMPRANO (*Alternaria solani*)

Agente causal y síntomas: en plántulas jóvenes desarrolla podredumbre del cuello que comienza con la formación de áreas oscuras a nivel del suelo que se extienden hacia arriba anillando el tallo. En plantas desarrolladas produce lesiones en tallo y hojas. Las lesiones foliares son fundamentalmente circulares o elípticas, formando anillos concéntricos de color pardo. Las lesiones más abundantes se dan en las hojas más viejas. En las manchas más viejas se forma un halo clorótico que puede tomar buena parte del folíolo. A medida que la enfermedad avanza las manchas coalescen, esto es se unen formando una mancha más grande causando la muerte de la hoja, la cual generalmente queda colgando, dando el aspecto de marchitamiento a la planta. En el tallo las manchas son alargadas y se desarrollan frecuentemente en las axilas de peciolo o brotes y pueden anillarlos. En el fruto produce lesiones pardas oscuras, deprimidas, alrededor de las cicatrices del cáliz. Estas pueden extenderse provocando la pudrición del fruto. En resumen, el daño corresponde a lesiones hundidas oscuras pequeñas esparcidas por todo el fruto o grandes en la zona del pedúnculo (Mitidieri & Polack, 2005).

Manejo: al igual que los demás hongos tratados, el manejo de la humedad es fundamental, así como las podas fitosanitarias, siempre realizando las respectivas desinfecciones de las tijeras con producto como creolina. El uso de fungicidas preventivos y sistémicos es el método más usado, pero se deben realizar las rotaciones necesarias para evitar resistencia, para esto se debe recordar que estas rotaciones se deben basar en el mecanismo de acción del fungicida. Es recomendable el uso de productos del grupo químico de las estrobirulinas.

MOHO FOLIAR O CLADOSPORIOSIS (*Fulvia fulva*; *Cladosporium fulvum*)

Agente causal y síntomas: el moho foliar es una enfermedad importante en solanáceas y algunas cucurbitáceas, que generalmente afecta el follaje, inicialmente hojas viejas y en infecciones severas también hojas jóvenes. Los síntomas iniciales son manchas con márgenes no definidas de color verde pálido o amarillas en la parte superior de las hojas (American Phytopathological Society, 2004). En el envés se forma un polvillo color verde oliva, asociado con las áreas decoloradas en el haz. Las hojas se curvan, marchitan y pueden caer de la planta (Agris, 2005). El *Cladosporium* sobrevive en los residuos de cosecha, en el suelo y sobre las estructuras de la cubierta. La enfermedad fácilmente se disemina con las herramientas y

ropa de los trabajadores. Igualmente, la semilla contaminada puede servir como fuente primaria del inóculo.

Manejo: existen diferentes estrategias para prevenir problemas con moho foliar dentro del invernadero, entre ellas un buen manejo de la humedad relativa, evitando humedades superiores al 80%, la siembra de semilla certificada y la adopción de prácticas de eliminación de hojas afectadas. Después de estas podas sanitarias, se recomienda la aplicación de fungicidas como procloraz.

DAMPING-OFF O MUERTE SÚBITA

Agente causal y síntomas: es una enfermedad de los semilleros causada por un consorcio de microorganismos, es decir, diferentes agentes causales como *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp., *Sclerotium* sp, *Sclerotinia*, bacterias, etc. El síntoma típico de *damping-off* en plántulas es la pudrición de la base del tallo, lo cual provoca la caída y muerte de las mismas, así mismo cuando las semillas se siembran en suelos infectados con alguno de estos patógenos, estas no alcanzan a germinar al ser invadidas por estos, los cuales causan necrosis, pudrición y finalmente la desintegración de la semilla (Figura 63).



Figura 63.
Damping-off en planta de pimentón.

Manejo: el control de *damping-off* se logra con el uso de semillas tratadas con fungicidas, o con el uso de hongos antagonistas como *Trichoderma*, con un adecuado manejo del drenaje, ya que estos patógenos son favorecidos por una alta humedad, así mismo con el uso de sustratos limpios, libres de patógenos. Un microorganismo antagonista potencial presente en diversos suelos a nivel mundial es *Pseudomonas* spp. que en el caso del pimentón han sido estudiadas como antagonistas de los hongos *Pythium ultimum* y *R. solani* agentes causales del *damping-off* (Salman, 2010). Otra

alternativa probada para el manejo de *P. ultimum*, hongo causante de pérdidas significativas en pimentón y otras cucurbitáceas, es el uso de extractos de bacterias como *Serratia marcescens*, como se puede observar, son alternativas viables probadas en otras latitudes que sirven de partida para iniciar procesos de control biológico en Colombia (Roberts *et al.*, 2007).

Los patógenos del suelo asociados a pimentón *R. solani*, *P. ultimum*, y *Meloidogyne incognita*, causan daños severos relacionados con el *damping-off*. En la actualidad, se trabaja en investigaciones tendientes al desarrollo de consorcios de microorganismos que se enfoquen en el manejo específico de algunos patógenos, en el caso del pimentón se apunta al uso de los antagonistas *Trichoderma virens*, *Burkholderia ambifaria*, *B. cepacia* y *Serratia marcescens* que causan una supresión significativa sobre poblaciones de los patógenos anteriormente mencionados (Roberts *et al.*, 2005).

MARCHITAMIENTO BACTERIAL (*Ralstonia solanacearum*; *Pseudomonas solanacearum*)

Agente causal y síntomas: el marchitamiento bacterial por *R. solanacearum* es común en las diferentes especies de solanáceas y está presente principalmente en los trópicos y en climas cálidos. Los síntomas iniciales son la flacidez en una o más hojas jóvenes y un gradual marchitamiento de la planta. En estados iniciales de la enfermedad, los cortes del tallo muestran un amarillamiento u oscurecimiento del sistema vascular. Al cortar el tallo de una planta marchita a la altura del suelo, se presenta un exudado grisáceo cuando se presiona el tallo. La pudrición además puede ocasionar un ahuecamiento del mismo, y pueden aparecer raíces adventicias en los tallos de plantas afectadas. El marchitamiento bacterial puede distinguirse de enfermedades causadas por hongos mediante la suspensión en agua de una sección del tallo enfermo, donde una corriente de células bacteriales blanda, lechosa y viscosa fluye de él en un lapso de 3 a 5 minutos.

Esta bacteria se encuentra presente en restos vegetales, en material de propagación como semillas o plántulas, y en el suelo. La bacteria se propaga a través del agua del suelo, mediante herramientas de poda y en algunos casos, por insectos. Este microorganismo penetra a la planta a través de heridas, daños mecánicos en raíces, causados por nemátodos o por aberturas naturales y se moviliza hacia la parte superior del tallo a través de los vasos del xilema, causando necrosis vascular, marchitez y finalmente la muerte de la planta.

Manejo: el manejo de esta enfermedad es complejo, ya que una vez se establece en un suelo, es difícil su erradicación, por tanto su control se basa en el uso de variedades resistentes, en el uso de semillas y material vegetal certificado y en la rotación de cultivos. También es importante, la desinfección de herramientas en el momento de las podas, el manejo de insectos que puedan propagar la enfermedad y un buen manejo del drenaje.

CANCER BACTERIAL (*Clavibacter michiganensis*)

Agente causal y síntomas: aunque el cáncer bacterial es una enfermedad esporádica en cultivos de solanáceas bajo invernadero, puede ser devastadora. Los síntomas tempranos incluyen doblamiento de las hojas más viejas y necrosis marginal de los folíolos (Agrios, 2005). Se forman estrías oscuras que se extienden desde la parte inferior de los pecíolos hasta el punto donde se unen con el tallo (y que eventualmente causan la formación de un cáncer). Los tejidos vasculares muestran rayas amarillentas o pardas, las cuales se tornan de color marrón rojizo y se pueden desarrollar raíces adventicias sobre el tallo.

Manejo: la presencia de cáncer en los tejidos y las características estrías oscuras en las hojas ayudan a distinguir focos iniciales del cáncer bacterial, para tomar las medidas necesarias de control. Existen múltiples estrategias para prevenir la infección, como las medidas de higiene al visitar nuevos cultivos, la siembra de semilla certificada, el control de calidad de agua para riego y la desinfección de herramientas de poda. Una vez infestado el cultivo, se recomienda la erradicación y/o quema de plantas infectadas, así como la adopción de podas sanitarias.

MANCHA BACTERIANA (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*)

Agente causal y síntomas: esta enfermedad se encuentra ampliamente distribuida y afecta principalmente cultivos de tomate y pimentón. La bacteria invade hojas (Figura 64), tallos y frutos (Figura 65). Los síntomas se manifiestan con la aparición de manchas irregulares de color negro de aproximadamente 3 mm



Figura 64.
Hojas de pimentón afectadas por mancha bacteriana.

(Agrios, 2005). La mancha bacteriana observada sobre los folíolos se hunde y cambia de amarillo a negro o marrón oscuro y finalmente se produce necrosis en el centro y con el tiempo se desarrolla un halo alrededor de las manchas. La lesión en fruto comienza como una pequeña mancha acuosa amarillenta que más tarde se torna grisácea oscura y costrosa; esta lesión tiende a deprimirse en el centro y levantarse en el margen. Esta enfermedad se desarrolla en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas de entre 24 y 30°C. La bacteria puede venir en semillas y se disemina a través de la lluvia, y por el uso de maquinaria y herramientas.



Figura 65.

Frutos de pimentón afectados por bacteriosis. Fruto en desarrollo (izquierda). Fruto maduro (derecha).

Manejo: es altamente importante tomar las suficientes medidas para evitar el establecimiento de esta enfermedad en el cultivo, ya que su control es difícil. Algunas de las estrategias de prevención son: la rotación de cultivos, el uso de plantas sanas libres de la enfermedad, semilla tratada y eliminación de malezas. Una vez establecida en el cultivo, se puede controlar la enfermedad con la aplicación de bactericidas a base de yodo como agrodyne.

NEMÁTODOS (*Meloydogine spp.*)

Agente causal y síntomas: los nemátodos fitoparásitos son organismos microscópicos abundantes en todos los suelos del mundo. El cultivo del pimentón es huésped de varios géneros de nemátodos, siendo el de mayor importancia el *Meloidogyne*, conocido como el nemátodo de los nódulos radicales, debido a las deformaciones (nudosidades o agallas) causadas en las raíces de las plantas. En cultivos de clima frío, se encuentra reportada la especie *M. hapla*, mientras que en climas más cálidos se reportan las especies *M. incognita* y *M. javanica*. Las larvas penetran a las raíces produciendo cambios en la estructura de las células de la planta creando sitios de alimentación llamados “células gigantes”, los cuales inducen la forma-

ción de agallas o nódulos. Dependiendo de la especie, el nemátodo forma nódulos pequeños como el caso de *M. hapla*, mientras que la especie *M. javanica* forma agallas más grandes. *M. incognita* forma pequeñas agallas en cadenas, como una especie de camándula. *Meloidogyne arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita* y *M. javanica* han sido reportados como parásitos en pimentón (Robertson *et al.*, 2006).

Los síntomas aéreos ocasionados por nemátodos no son muy específicos y fácilmente se confunden con deficiencias nutricionales o hídricas. La deformación de las raíces y su daño funcional se traduce en el atraso del crecimiento y marchitez general de la planta. Así mismo, los ataques de nemátodos predisponen a las plantas a la infección por otras enfermedades, ya sea por las heridas que ocasionan o por que hacen más susceptibles las plantas frente al ataque de otros patógenos.

Manejo: existen varias formas de control de nemátodos, entre las cuales están las prácticas culturales, como la rotación de cultivos, aunque en el caso de la especie *M. hapla*, especie de climas fríos, por ser polífago, es de difícil de control, incluso por rotación de cultivos. El manejo de nemátodos, además, depende de la densidad poblacional, la cual se debe establecer mediante monitoreos preventivos para su identificación y cuantificación en laboratorio. Cuando las poblaciones son bajas, se puede hacer control biológico con productos a base de extractos vegetales como el Sincosin, que al cambiar los radicales libres en raíces y generar más de estas, hace que la planta se defienda del ataque; así mismo, en suelo hace que los nemátodos pierdan su capacidad de movimiento, reproducción y penetración de la raíz. Actualmente, además, se utiliza el hongo *Paecilomyces lilacinus*, reportado como parásito de *Meloidogyne* y el cual tiene la capacidad de afectar huevos y hembras en desarrollo. Khan *et al.* (2006), reportó que la aplicación de *P. lilacinus* redujo hasta en un 62% las agallas y 94% los juveniles J2 de *M. javanica* en tomate cuando se comparó con los testigos no tratados. Para tener éxito en el control con *Paecilomyces*, se requiere esperar que se cumpla cierto período de establecimiento, además se deben efectuar aplicaciones periódicas para obtener un buen control del nemátodo. Por otra parte, se han planteado otras alternativas al uso de bromuro de metilo para descontaminar suelos con presencia de *Meloidogyne* (Gilreath *et al.*, 2005), tales como el uso de residuos de cosecha de pimentón, que se pueden utilizar para realizar purines y usarlos en el manejo de *Meloidogyne* spp. en el mismo cultivo, esto debido a la naturaleza química de los compuestos que se generan luego del proceso de fermentación (Piedra *et al.*, 2007).

VIRUS DEL MOSAICO DEL TABACO (TMV) Y VIRUS DEL MOSAICO DEL TOMATE (ToMV)

Agente causal y síntomas: estos dos virus están estrechamente relacionados, pertenecen al género de los Tobamovirus y su genoma consta de una cadena simple de RNA y han sido ampliamente estudiados por su importancia económica a nivel mundial. De manera intuitiva el virus del mosaico del tabaco afecta principalmente a tabaco, así como el virus del mosaico del tomate se presenta principalmente en tomate, sin embargo los virus tienen la característica de cambiar y adaptarse muy rápidamente, es así como se han encontrado estos patógenos que pueden causar considerables daños en cultivos de solanáceas bajo invernadero. Los síntomas principales son la formación de un mosaico verde oscuro claro o amarillento de las hojas superiores y a lo largo de las nervaduras secundarias. También pueden presentarse deformaciones, curvatura o acampanado de las hojas (Groves *et al.*, 2001).

Manejo: la transmisión de estos virus se realiza principalmente por semillas y de forma mecánica, por contacto de manos y por herramientas usadas en las podas. El virus del tabaco puede transmitirse manualmente por las manos del operador que fuma cigarrillos. Igualmente, estos virus se pueden conservar en restos vegetales, en suelo y mantenerse viables en ropa, herramientas de labranza y en las infraestructuras de los invernaderos. Actualmente la mayoría de las variedades de tomate son resistentes a estos virus y su presencia en los cultivos se ha reducido sustancialmente.

VIRUS DEL BRONCEADO DEL TOMATE (TSWV)

Agente causal y síntomas: el virus del bronceado del tomate (TSWV) es uno de los patógenos con mayor importancia mundial, pertenece al género Tospovirus, el único género de la familia Bunyaviridae que infecta a las plantas. La gran magnitud de los daños que provoca es debida a su amplia distribución en las principales zonas hortícolas del área templada y subtropical. Afecta una gran cantidad de plantas (más de 550 especies pertenecientes a más de 70 familias botánicas). Entre las especies susceptibles al virus del bronceado se encuentran cultivos de importancia como: pimentón, berenjena, judías, alcachofa, haba, apio, papaya y plantas ornamentales. Así mismo, algunas malezas pueden servir como hospederos del mismo.

En la Sabana de Bogotá este virus afecta principalmente cultivos de plantas ornamentales y algunas hortalizas. En cultivos de solanáceas, la infección inicialmente se presenta por un cambio de color (hacia el morado)

de las hojas y por una reducción y deformación de los folíolos. A medida que avanza la enfermedad, el follaje toma un color bronceado, con manchas cloróticas, formando además un moteado en las hojas. En los frutos maduros se presentan zonas redondas de color amarillo, o como manchas con círculos concéntricos (Groves *et al.*, 2001).

Manejo: los principales vectores de este virus son los *trips* y en particular la especie *Frankliniella occidentalis*, aunque también se reportan *Trips tabaci* y *T. palmi*, Las prácticas dirigidas al control de estos insectos, mencionadas en el presente capítulo son muy eficientes en prevenir la presencia del virus en los cultivos. De igual manera, una eliminación meticulosa de malezas dentro y fuera del invernadero puede ayudar a reducir la incidencia de esta enfermedad.



COSECHA **Y** **POSCOSECHA**

Oscar Monsalve
Edwin Villagrán

INTRODUCCIÓN

Los frutos de pimentón no solo se encuentran fisiológicamente activos cuando están unidos a las plantas de la cual proceden, sino que después de la cosecha continúan estándolo. Por lo tanto, es necesario saber cómo se producen dichos procesos fisiológicos, el momento óptimo de cosecha y las labores que se le deben hacer al fruto después de cosechado, con el objetivo de mantenerlo el mayor tiempo posible en condiciones óptimas de calidad para el consumo final. Con el objetivo de entender mejor el proceso de cosecha y poscosecha se tratarán inicialmente algunos conceptos básicos tales como: calidad, factores que influyen en el proceso pre y poscosecha, y madurez.

CALIDAD

La calidad de un fruto es aquella que reúne las características de tamaño, forma, color, sabor, textura, aroma, ausencia de productos agroquímicos y ausencia de insectos y fitopatógenos que exige el mercado. Los consumidores son cada vez más exigentes en cuanto a calidad se refiere, es por esto que cada vez son más apetecidos los productos limpios y ecológicos. Este tipo de productos aseguran, por medio de certificaciones específicas, un producto más inocuo para el ambiente y el ser humano. No obstante, el concepto de calidad varía mucho, dependiendo del eslabón de la cadena que lo maneje. Por ejemplo, para el productor el concepto de calidad será diferente al del consumidor y este al del industrial o del procesador (Zapata & Mozo, 2000).

La calidad se clasifica según su finalidad así:

CALIDAD COMERCIAL

Se refiere a la presentación externa del producto y se encuentra definida por factores como color, tamaño, forma, ausencia de daños mecánicos y daños causados por plagas y enfermedades. Estas características son las que se tienen en cuenta para la elaboración de las normas de calidad. El grado de madurez es un factor de gran importancia en la calidad comercial (Zapata & Mozo, 2000).

CALIDAD SENSORIAL (ORGANOLÉPTICA)

Se refiere a aquellas propiedades que afectan los sentidos del consumidor y que hacen que el fruto sea o no consumido. Ejemplo:

- Con el sentido del gusto, determinamos: dulce, ácido, amargo, astringente, etc.
- Con el sentido de la vista, determinamos: color, forma, tamaño, apariencia.
- Con el sentido del olfato, determinamos: aromas.
- Con el sentido del tacto, determinamos: consistencia (firme, blanda).

CALIDAD HIGIÉNICA

Esta calidad representa la sanidad del producto. Se trata de las sustancias que están presentes sobre los frutos y que pueden ser perjudiciales para la salud. Estos agentes perjudiciales pueden ser microorganismos, agroquímicos o la contaminación que puede provenir del suelo, las aguas, las excretas tanto humanas como animales, y los equipos que se utilicen en la producción del producto (Zapata & Mozo, 2000).

FACTORES PRECOSECHA QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LOS FRUTOS

FACTORES AMBIENTALES

Temperatura: para la mayoría de las frutas, mientras más elevada sea la temperatura (sin exceder la máxima recomendada), más rápido será su desarrollo.

Radiación: la duración y la intensidad de luz inciden directamente en la calidad del producto, por ejemplo, frutos sometidos directamente a la radiación solar pueden generar daño por golpe de sol (Sección Desórdenes fisiológicos y condiciones de estrés del Capítulo Ecofisiología del cultivo y manejo del clima).

Humedad relativa: la humedad relativa influye notablemente en la calidad de los frutos, pues si esta es alta, puede favorecer el desarrollo de algunos agentes patógenos causantes de enfermedades que disminuyen la calidad de los frutos.

Suelos: el tipo de suelo en el que se desarrolle el cultivo es fundamental para el crecimiento de la planta en su totalidad, lo que influye directamen-

te en la calidad de los frutos.

Vientos: el viento a grandes velocidades puede causar daños en la epidermis de los frutos con la consecuente pérdida de la calidad.

PRÁCTICAS DE MANEJO DEL CULTIVO

Las prácticas inadecuadas de manejo del cultivo, tanto en precosecha como en poscosecha también afectan la calidad de los frutos:

Material vegetal: el uso de variedades no aptas para la región donde se desarrolla el proceso productivo puede generar un inadecuado desarrollo fisiológico y metabólico de las plantas, lo que se verá reflejado en el proceso de poscosecha (sección Material Vegetal del Capítulo Manejo del Cultivo).

Riego: el riego inadecuado puede generar reducción en la calidad organoléptica de los frutos. Riegos excesivos pueden generar agrietamientos en los pimentones, riegos escasos reducen el tamaño de los frutos y riegos abundantes, seguidos de riegos escasos pueden generar muerte celular en las hojas de la planta, lo que reduciría la tasa fotosintética y por ende la producción de frutos (Capítulo Riego).

Fertilización: la fertilización influye notablemente en la calidad de los frutos; por ejemplo, deficiencias de potasio y/ o calcio reducen la vida útil de los frutos, disminuyendo su calidad en poscosecha. Excesivas aplicaciones de nitrógeno provocan un sobredesarrollo vegetativo de las plantas, reduciendo la generación de frutos (sección Elementos Mayores del Capítulo Fertilización).

Deshierbas: la ausencia de deshierbas o su tardía realización genera competencia de estas plantas con el cultivo, lo que produce reducción en el desarrollo de las plantas de pimentón y por ende sobre el tamaño y calidad de los frutos a cosechar.

Edad de la planta: la edad de la planta influye en el tamaño y calidad del fruto, pues entre más avanzado sea el ciclo de cultivo menor potencial de producción de frutos presentará la planta.

La época de cosecha: cosechas en tiempos demasiado soleados generan una rápida pérdida de turgencia en los frutos recién cosechados, lo que disminuye la calidad y vida útil de los mismos.

MADUREZ

La maduración es un proceso fisiológico que ocurre en un determinado período de tiempo como parte del crecimiento y desarrollo de una fruta. Se produce sin que haya en muchos casos un crecimiento en tamaño; sino más una transformación interna de la fruta. El fruto se transforma totalmente, pasando de ser simple, sin atractivo, no comestible a uno atractivo, de un alto sabor y aroma, deseable para ser consumido (Zapata & Mozo, 2000).

La madurez es la última etapa dentro del proceso de maduración, es la fase en la cual un producto ha alcanzado un estado suficiente de desarrollo como para que después de la cosecha y el manejo poscosecha, su calidad sea, por lo menos, la mínima aceptable por el consumidor. Hay tres conceptos de madurez que son utilizados con propósitos comerciales.

MADUREZ FISIOLÓGICA

Es el momento en que fisiológicamente todas las partes del fruto han alcanzado el máximo desarrollo y la semilla es apta para la reproducción. En ocasiones, la madurez de consumo, comercial y/o de cosecha se logra antes de la madurez fisiológica. Para el caso del pimentón la madurez de consumo puede o no corresponder a la madurez fisiológica, eso depende del tipo de pimentón que se cultive y se comercialice. Tal es el caso de los pimentones *gourmet* (amarillos, naranjas, etc.), que generalmente se cosechan antes de alcanzar su madurez fisiológica, que es cuando se tornan totalmente rojos, esto con el objetivo de conservar el color que se desea.

MADUREZ DE COSECHA

Es aquella etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta, en la cual ya es apta para ser desprendida de la planta. Puede llegar a ser similar a la madurez de consumo.

MADUREZ COMERCIAL

Es simplemente el estado de maduración de la fruta requerido por el mercado. Para el caso del pimentón, dependiendo de la variedad comercializada, esta guarda relación con la madurez de cosecha y de consumo .

MADUREZ DE CONSUMO

Es aquel momento en el desarrollo del fruto en que están completas, para el consumo humano, todas sus características organolépticas, tales como sabor, color, aroma, textura, consistencia, etc. Para el caso del pimentón, esta madurez puede ser similar a la madurez comercial y a la madurez de cosecha.

ÍNDICES DE MADUREZ

Una buena calidad se obtiene cuando la cosecha se hace en el estado de madurez apropiado. La calidad de las frutas no se puede mejorar, pero se puede conservar. Si se retrasa la cosecha de las frutas, con seguridad aumentarán las pudriciones y durará menos tiempo para su comercialización, si se adelanta puede no alcanzar las características organolépticas requeridas por el consumidor final. Para definir madurez óptima de cosecha, se usa una combinación de criterios tanto objetivos como subjetivos. Lo principal es la percepción personal, haciendo uso de los sentidos, pero generalmente este método no otorga la suficiente seguridad para determinar el momento preciso de cosecha. Entre estos métodos tenemos:

Método visual: se utiliza el sentido de la vista teniendo en cuenta el color, el tamaño y la forma. Los cambios en el color no pueden definirse con precisión ni tampoco el tamaño, siendo estas medidas imprecisas para determinar el momento de cosecha.

Método físico: incluye factores como la facilidad con la que se separa el fruto de la planta, el ablandamiento o firmeza del mismo, sin embargo, estos son métodos que continúan siendo subjetivos.

Método químico: es muy utilizado en fruticultura e incluye la determinación de factores como sólidos solubles, ácidos, azúcares y almidones. Aunque es el método más preciso requiere instrumentos especializados, que probablemente no todos los productores estén en posibilidad de adquirir.

Método cronológico: se refiere al período transcurrido desde la floración hasta la madurez establecido para el producto. Es un cálculo que permite establecer con alguna precisión el momento de cosecha.

COSECHA

INTRODUCCIÓN

Es la operación de desprender o separar de la planta los frutos comercial o fisiológicamente maduros, de acuerdo con el destino del mercado.

La cosecha es parte de un proceso que involucra otros pasos, tendientes a mantener la calidad de la fruta. Estos pasos son:

- Buena planificación de la producción para asegurar que la madurez del cultivo coincida con la demanda del mercado.
- Comunicación continua con los compradores para identificar las necesidades exactas a medida que se acerca el tiempo de la cosecha; pero también, para dar a conocer a los compradores el mejor momento de cosecha y la calidad esperada.
- Planificación anticipada, para coordinar el equipo, el trabajo y el transporte.

La eficiencia de la operación depende del uso de un equipo humano experimentado o entrenado y la adopción de métodos que satisfagan las necesidades de los compradores. El objetivo general de la cosecha es obtener un fruto de excelentes condiciones físicas y químicas para un mercado cada vez más exigente. Para el logro de este objetivo se debe:

- Utilizar herramientas adecuadas.
- Seleccionar frutos de acuerdo al índice de madurez establecido.
- Realizar la cosecha en el momento adecuado del día.
- Manejar los frutos de una forma adecuada, evitando al máximo los daños mecánicos.

EPOCA DE COSECHA

Se refiere al momento preciso en que se debe cosechar, de acuerdo a las exigencias del mercado. Cuando la cosecha se hace en forma temprana o tardía, se presentan problemas con la calidad de los productos colectados, así:

Recolección temprana:

- Madurez incompleta.
- Problema con el sabor, olor, aroma.
- Pérdida de peso y marchitamiento.
- Bajos rendimientos en el procesamiento.
- Engaño al consumidor.

Recolección tardía:

- Vida útil del producto corta.
- Mayor sensibilidad al ataque de enfermedades.

- Textura blanda.
- Pérdida del producto en la planta.
- Piel frágil y susceptible a heridas.
- Sobremadurez.
- Poco tiempo para ser comercializada.

MÉTODOS DE COSECHA

Manual: con este método se emplean una gran variedad de herramientas manuales tales como: navajas, cuchillos, tijeras, etc. Para el caso del pimentón se utilizan tijeras de poda preferiblemente.

Mecanizada: para el caso colombiano aún no se ha alcanzado el nivel tecnológico que permita utilizar máquinas para el proceso de cosecha, sin embargo, en otros países puede involucrar varios niveles de tecnología. Pueden ser simplemente vehículos que se desplazan entre las hileras del cultivo. También se pueden utilizar maquinarias cosechadoras complejas, con las cuales la labor es más rápida.

COSECHA DE PIMENTÓN

El pimentón se cosecha cuando tiene las características que exige el mercado, las cuales normalmente alcanza entre los 90 a 120 días después del trasplante (primera cosecha). El período de cosecha estará sujeto a las condiciones climatológicas de la zona de cultivo. La cosecha se hace de forma manual. Previo a la cosecha, el personal debe tener las uñas cortas y limpias para evitar daño al fruto y comprometer la inocuidad del mismo; así mismo, se debe lavar y desinfectar sus manos. En el campo se realiza una preselección, rechazando los pimentones que presenten daños fitosanitarios, fisiológicos y/o mecánicos. Los pimentones son recolectados en canastillas plásticas (no sobrellenar la canastilla) generalmente con capacidad para 20 kg (Figura 66), para posteriormente ser transportadas al área de poscosecha y empaque (si fuere el caso). Al momento de transportar las canastillas, estas deben ser tratadas de forma adecuada, para evitar maltratos físicos del producto. Si se realiza el transporte de las canastillas en camiones se recomienda no levantar columnas que sobrepasen sustancialmente el nivel de la carrocería, con el fin de evitar que al momento del acarreo las canastillas colapsen. Es importante en este proceso utilizar algún tipo de cubierta (si el camión no es cubierto) para evitar daños ocasionados por condiciones climáticas adversas.



Figura 66.
Pimentones recolectados en canastillas plásticas.

Como se dijo en la sección Madurez, el punto de cosecha del pimentón puede o no corresponder a su madurez fisiológica y varía en función de los híbridos empleados. Respecto a la cosecha de pimentón en fresco los indicadores que se utilizan son:

- **Tipo:**
 - Pimentones verdes: su cosecha se determina por la firmeza y tamaño.
 - Pimentones de color: debe tener como mínimo 50% de la coloración que se desee.
- **Tiempo:** se debe tener en cuenta que la planta de pimentón puede ser cosechada una o dos veces por semana durante un período aproximado de 90 a 150 días. La primera cosecha puede variar dependiendo de la altura sobre el nivel del mar donde se esté desarrollando el cultivo, pero en términos generales se realiza de 90 a 120 días después del trasplante. Pueden alcanzarse de 24 a 40 cosechas durante un ciclo productivo.
- **Longitud:** el pimentón para consumo en fresco debe tener una longitud de 10 a 15 cm, aunque la longitud final será función del híbrido sembrado.
- **Color:** los pimentones pueden tener una gran variedad de colores, dependiendo del híbrido empleado. Los más comunes son los amarillos, naranjas, verdes y rojos (Figura 67).



Figura 67.
Pimentones de diferentes colores.

Consistencia: si la recolección se efectúa sobre frutos poco desarrollados o en horas del día con altas temperaturas, durante la conservación se puede observar una pérdida importante de agua, acompañada de un reblandecimiento de los tejidos (Poenicke *et al.*, 1977).

La cosecha debe hacerse de una a dos veces a la semana, preferiblemente por la mañana y con sumo cuidado (Figura 68), procurando evitar todo tipo de golpes y daños, que provocarían el desarrollo de problemas fitosanitarios o malformaciones, que afectarían gravemente la calidad comercial de los frutos.



Figura 68.
Pimentones listos para recolección.

POSCOSECHA

INTRODUCCIÓN

Para dar un buen manejo a las frutas después de la cosecha, debe considerarse el hecho que estos productos son orgánicos o estructuras vivas y que no solo se encuentran vivas cuando se hallan unidas a la planta, sino que después de la cosecha, continúan estándolo y siguen funcionando los sistemas fisiológicos que operaban durante su etapa de crecimiento en la planta. Por esta razón, los procesos fisiológicos que más inciden en el deterioro de las frutas durante la poscosecha son la respiración y la transpiración. Estos procesos son acelerados por las condiciones de temperatura y humedad a las que se somete el producto durante las fases de cosecha (USAID, 2008).

Las frutas una vez cosechadas cuentan únicamente con las reservas de nutrientes almacenados y como ya no puede reponerlos, en la medida en que se van agotando tales reservas, se produce el proceso de envejecimiento.

FISIOLOGÍA DE LA POSCOSECHA

Respiración: es un proceso metabólico fundamental en las frutas recolectadas. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos, normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos, a moléculas más simples como el dióxido de carbono y el agua. Como en todos los seres vivos, se necesita de un suministro continuo de energía para realizar las reacciones metabólicas, siendo esta suministrada por la respiración, lo cual a su vez implica la degradación de los tejidos (Zapata & Mozo, 2000).

Transpiración: es el proceso mediante el cual la fruta pierde agua en forma de vapor. Este es un proceso muy importante debido a que los frutos tienen altos contenidos de agua, entre 80 y 85%, y su pérdida se refleja en el marchitamiento (Zapata & Mozo, 2000).

Etileno: es un gas natural producido por las plantas en forma constante. Su concentración en los frutos es muy baja y aumenta ligeramente antes de iniciar el proceso de maduración. Su producción aumenta cuando la planta está bajo mucho estrés, cuando ha sido maltratada físicamente, o cuando sufre algún ataque por microorganismos. Hay algunas frutas que producen más etileno que otras. Es conocido como la hormona de la maduración, porque a pesar de que es producido en pequeñas cantidades, activa el proceso de maduración (Zapata & Mozo, 2000).

CLASIFICACIÓN DE LAS FRUTAS

Climatéricas: son aquellas que tienen la capacidad de seguir madurando después de cosechadas, debido a que presentan un rápido incremento en sus tasas de respiración y liberación de etileno. Los frutos climatéricos requieren de un manejo especial a fin de evitar que el climaterio se active y los lleve a la senescencia rápidamente perdiendo gran parte o la totalidad de su valor comercial (Zapata & Mozo, 2000).

No climatéricos: los frutos no climatéricos, después de cosechados, no tienen la capacidad de continuar con los procesos fisiológicos de madurez. Los cambios que ocurren son por degradación o deshidratación. Deben cosecharse lo más maduro que sea posible, es decir, en su madurez de consumo. Estos productos después de cosechados reducen su velocidad respiratoria en forma constante hasta el final de su vida, cuando ya han agotado todas sus reservas (Zapata & Mozo, 2000). El pimentón se encuentra dentro de este grupo (Tabla 32).

Tabla 32. Clasificación de las frutas según su metabolismo

FRUTOS CLIMATÉRICOS	FRUTOS NO CLIMATÉRICOS
Aguacate	Cereza
Anón	Fresa
Banano	Granada
Higo	Limón
Ciruela	Naranja
Curuba	Mandarina
Durazno	Marañón
Granadilla	Mora
Guanábana	Pepino cohombro
Mango	Pimentón
Manzana	Piña
Maracuyá	Tomate de árbol
Melón	Uva
Papaya	Toronja
Pepino	Tangelo
Pera	
Pitahaya	
Plátano	
Tomate	
Zapote	
Níspero	
Guayaba	
Lulo	

LABORES POSCOSECHA

Son una series de actividades o labores integradas y secuenciales que se le hacen a la fruta después de cosechada, tales como selección, lavado, clasificación, desinfección, encerado, empaque, almacenamiento, transporte y distribución del producto, hasta que llegue al mercado. Lo anterior con el objetivo de mantener la calidad de los frutos para lograr la satisfacción del cliente.

OPERACIONES BÁSICAS

Selección: consiste en separar los productos malos, es decir, aquellos que presenten defectos que impidan su venta o procesamiento. Incluye frutos partidos, podridos, deformes, magullados, con ataques de insectos o patógenos, etc.

Limpieza: su función es eliminar de la fruta de pimentón todo tipo de material extraño, que mezclado o adherido desmejore la presentación o

altere el peso o volumen. Estos materiales pueden ser: arena, grasa, hojas, semillas, cáscaras, huevos de insectos, residuos de aspersión, ataques de bacterias, hongos, etc.

Clasificación: es la separación de los productos, según propiedades escogidas por el comprador o consumidor tales como grado de madurez, tamaño, peso, forma, etc.

Secado: todos los agentes limpiadores o detergentes utilizados en la etapa de limpieza deben ser removidos, esto se logra con el uso de agua fresca. Los frutos deben secarse después cuidadosamente para eliminar el exceso de agua.

OPERACIONES ESPECIALES

Encerado: El objetivo de este proceso es el de restablecer la cera natural de la corteza que se pierde cuando se lava el fruto. La cera debe ser aplicada una vez el fruto esté completamente seco, ya que cualquier residuo de agua que quede sobre la cáscara, diluiría la capa de cera aplicada, reduciendo el brillo final.

Las ventajas del encerado son:

- Reducción de la pérdida de agua durante el período de almacenamiento.
- Reducción de la tasa de respiración de los frutos.
- Cumple con el requisito de brillo.
- Formación de una barrera protectora física contra el ataque de microorganismos.
- Sellamiento de rasguños o cortes que se producen en la piel.
- Es aplicable mediante una variedad de procesos, incluso manual.
- Prolongación de la vida poscosecha del producto.

Empaque: es el recipiente que permite manejar la fruta eficientemente. El empaque debe ser:

- Práctico.
- Fácil de armar.
- Fácil de inspeccionar.
- Fácil de llenar.
- Que sirva de exhibición.
- Que proteja los frutos de daños físicos durante la manipulación y el transporte.

- Resistente: que no se deforme por el peso.
- Impermeable: los empaques deben ser impermeabilizados de tal forma que no absorban humedad para evitar así que pierdan su resistencia.
- Ventilada: que permita fácilmente intercambiar la temperatura de la fruta.

Las ventajas del proceso del empaque son numerosas y cobijan al producto desde su cosecha hasta el consumidor final. En forma general, se pueden anotar las siguientes:

- Protegen la fruta de daños físicos: eliminan la manipulación individual del producto y de este modo facilita el proceso de mercadeo.
- Protección contra daños mecánicos.
- Protege contra las pérdidas de humedad.
- Mantiene la sanidad de los productos.
- Facilita la contabilidad de los productos almacenados.

Almacenamiento: el objetivo principal de esta actividad es netamente comercial. El almacenamiento se puede dar porque no hay un comprador inmediato, porque los precios están bajos, por sobreproducción o porque no existe disponibilidad inmediata de transporte.

El almacenamiento puede ser:

- A corto plazo: este por lo general se hace en las fincas y a las condiciones climáticas de la región.
- A largo plazo: este es refrigerado siendo el sistema más común el cuarto frío. Se basa en el principio de la temperatura baja, reduciendo el ritmo respiratorio del producto, pero debe mantenerse dentro de un rango apropiado para no causar daño al mismo.

Recomendaciones para un buen almacenamiento:

- No almacenar frutos en mal estado.
- No almacenar frutos sobremaduros.
- Las columnas de canastillas deben estar separados por lo menos 25 cm entre sí, para que circule el aire.
- No arrumar directamente sobre el piso, mejor colocar una plataforma o estiba para evitar el contacto con el suelo.
- No almacenar en sitios calientes.
- Los empaques deben tener suficientes espacios porosos para facilitar la aireación.

Transporte: el objetivo del transporte es llevar el producto desde la planta de producción en campo hasta el consumidor final. El transporte debe tener buena ventilación y proteger el producto de la exposición solar. El transporte que se utilice debe ser apropiado para el producto e incluso tener refrigeración autónoma.

POSCOSECHA DE PIMENTÓN

En Colombia aún no se manejan calibres específicos para la comercialización de los pimentones, simplemente se clasifican de acuerdo al tamaño (sección Cosecha del presente capítulo) una única categoría y los demás se desechan. El manejo que se le dan a los frutos nacionalmente es con frecuencia, y para evitar la deshidratación, un recubrimiento con un film plástico adaptable (vinipel) (Figura 69).



Figura 69.
Pimentones empacados con vinipel.

En otros países la manipulación de los frutos se efectúa seleccionando, por calibres, dos o tres categorías, de acuerdo a la longitud, la uniformidad del color, la presencia o no de enfermedades en los frutos y presencia de daños.

De importancia fundamental en la conservación del pimentón es el mantenimiento de humedades relativas altas. Para una conservación de larga duración, según empresas especializadas de transporte de productos agrícolas como Maersk y CMA-CGM, son convenientes temperaturas de 7 a 10°C así como una humedad relativa del 85 al 90% para mantener un período de almacenamiento de los pimentones de 10 a 14 días.



ANÁLISIS FINANCIERO

Oscar Monsalve
Carlos R. Bojacá

INTRODUCCIÓN

El análisis financiero de un proyecto productivo, tanto de pimentón, como de cualquier cultivo, es de vital importancia dentro del proceso de producción. A partir de este análisis se evidencia si los procesos de producción y de comercialización se están realizando correctamente y se está obteniendo la rentabilidad esperada, pues la finalidad de cualquier proceso agrícola es obtener ganancias. Existen diversos indicadores financieros que reflejan el estado real del proyecto y que deben estudiarse en conjunto para obtener un panorama detallado de la situación económica del mismo. En este capítulo se explicarán estos indicadores y se desarrollará un ejemplo práctico.

ELEMENTOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

INVERSIONES

En el contexto empresarial, la inversión es el acto mediante el cual se adquieren ciertos bienes con el ánimo de obtener unos ingresos o rentas a lo largo del tiempo. La inversión se refiere al empleo de un capital en algún tipo de actividad o negocio con el objetivo de incrementarlo (Acuña, 2008).

Desde una consideración amplia, la inversión es toda materialización de medios financieros en bienes que van a ser utilizados en un proceso productivo de una empresa o unidad económica y comprendería la adquisición de bienes, equipo, materias primas, servicios etc. Desde un punto de vista más estricto la inversión comprendería solo los desembolsos de recursos financieros destinados a la adquisición de instrumentos de producción que la empresa va a utilizar durante varios períodos económicos. En el caso particular de inversión financiera los recursos se colocan en títulos, valores y demás documentos financieros, a cargo de otros entes, con el objeto de aumentar los excedentes disponibles por medio de la percepción de rendimientos, intereses, dividendos, variaciones de mercado u otros conceptos. Para el análisis económico de una inversión puede reducirse la misma a las corrientes de pagos e ingresos que origina, considerado cada uno en el momento preciso en que se produce (Acuña, 2008).

COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto (Acuña, 2008).

Esto significa que el destino económico de una empresa está asociado con: el ingreso (por ej., los bienes vendidos en el mercado y el precio obtenido) y el costo de producción de los bienes vendidos. Mientras que el ingreso, particularmente el ingreso por ventas, está asociado al sector de comercialización de la empresa.

El costo de producción tiene dos características opuestas. La primera es que para producir bienes uno debe gastar; esto significa generar un costo. La segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos tan bajos como sea posible y eliminados los innecesarios. Esto no significa el corte o la eliminación de los costos indiscriminadamente.

Por ejemplo, no tiene sentido que no se posea un programa correcto de mantenimiento de equipos, simplemente para evitar los costos de mantenimiento. Sería más recomendable tener un esquema de mantenimiento aceptable el cual eliminaría, quizás, el 80-90% de los riesgos de daño. Igualmente, no es aconsejable la compra de insumos de mala calidad para reducir el costo de la materia prima. La acción correcta sería tener un esquema adecuado de compra de insumos según los requerimientos del mercado y los costos. Otros aspectos entendidos como "costos" (por ej., programas de seguridad de la planta, capacitación de personal, investigación y desarrollo), generalmente no existen en la industria agrícola a pequeña escala. Desafortunadamente en el mismo sentido, los costos para proteger el medio ambiente (por ej., el tratamiento de aguas) son en forma frecuente ignorados y en consecuencia, transferidos a la comunidad en el largo plazo o para futuras generaciones (Acuña, 2008).

Cuando se analiza la importancia dada al costo de producción en Colombia, otro aspecto que se debe examinar respecto a una determinada estructura de costos, es que una variación en el precio de venta tendrá un impacto inmediato sobre el beneficio bruto, porque este último es el balance entre el ingreso (principalmente por ventas) y el costo de producción. En consecuencia, los incrementos o las variaciones en el precio de venta con frecuencia son percibidos como la variable más importante (junto con el costo de la mano de obra), particularmente cuando existen amplias variaciones del precio.

COSTOS FIJOS

Los costos fijos son aquellos cuyo monto total no se modifica de acuerdo con la actividad de producción. En otras palabras, se puede decir que los costos fijos varían con el tiempo más que con la actividad; es decir, se presentarán durante un período de tiempo aun cuando no haya alguna actividad de producción (Acuña, 2008).

Por definición, los costos fijos no cambian durante un período específico. Por lo tanto, a diferencia de los variables, no dependen de la cantidad de bienes o servicios producidos durante el mismo período (por lo menos dentro de un rango de producción). Por ejemplo, los pagos de arrendamiento de las instalaciones y el salario del administrador de la finca son costos fijos, cuando menos a lo largo de cierto período (Acuña, 2008).

Naturalmente los costos fijos no son para siempre. Tan solo son fijos a lo largo de un período en particular, digamos un trimestre o un año. Más allá de esos plazos, los arrendamientos pueden terminarse y los administradores pueden ser despedidos. Para ser más específicos, cualquier costo fijo puede eliminarse o modificarse en un plazo suficiente de tiempo (Acuña, 2008).

COSTOS VARIABLES

Como su nombre lo indica, el costo variable hace referencia a los costos de producción que varían dependiendo del nivel de producción. Todo aquel costo que aumenta o disminuye según aumente o disminuya la producción, se conoce como costo variable (Acuña, 2008).

Un ejemplo claro de costo variable es la materia prima, puesto que entre más unidades se produzcan de un bien determinado, más materia prima se requiere, o caso contrario, entre menos unidades se produzcan, menos materia prima se requiere. Igual sucede con los envases y empaques, puesto que su cantidad depende directamente de las cantidades de bienes producidos.

El costo variable es importante, puesto que este permite maximizar los recursos de la empresa, ya que esta solo requerirá de los costos que estrictamente requiera la producción, según su nivel. Los costos de producción de una empresa serán más eficientes entre mayor sea el porcentaje de costos variables. Una empresa que hipotéticamente tuviera un 100% de costos variables, quiere decir que si en un mes no produce nada, tendrá cero costos. Pero si sus costos variables fueran de un 50%, en un mes que no se produzca nada, en el que no se obtenga ningún ingreso, aun así tendrá que correr con un alto costo fijo.

INGRESOS

En economía, el concepto ingreso hace referencia a las cantidades que recibe una empresa por la venta de sus productos o servicios. Cuando el ingreso proviene de actividades productivas, se puede clasificar en varios tipos:

- **Ingreso marginal:** generado por el aumento de la producción en una unidad.
- **Ingreso medio:** ingreso que se obtiene en promedio, por cada unidad de producto vendida; es decir, es el ingreso total dividido en el total de unidades vendidas.
- **Ingreso del producto marginal:** ingreso generado por la utilización de una unidad adicional de algún factor de producción (trabajo, capital), por ejemplo, la utilización de un trabajador más, etc.

FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es un estado financiero que presenta sistemáticamente los ingresos y egresos registrados período a período: por ejemplo, año por año o mes por mes. En finanzas y en economía se entiende por flujo de caja o flujo de fondos (en inglés *cash flow*) los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado. El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un período determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa (Acuña, 2008).

El estudio de los flujos de caja dentro de una empresa puede ser utilizado para determinar:

- Problemas de liquidez. El ser rentable no significa necesariamente poseer liquidez. Una compañía puede tener problemas de efectivo, aún siendo rentable. Por lo tanto, permite anticipar los saldos en dinero.
- Para analizar la viabilidad de proyectos de inversión. Los flujos de fondos son la base de cálculo del valor actual o presente neto (VAN) y de la tasa interna de retorno (TIR).
- Para medir la rentabilidad o crecimiento de un negocio cuando ocurra que las normas contables no representan adecuadamente la realidad económica.

RELACIÓN BENEFICIO-COSTO (B/C)

Este es un criterio para la toma de decisiones de proyectos de inversión en el que se comparan los beneficios o ingresos de un proyecto con los costos del mismo a valor presente.

$$\text{Relación Beneficio – Costo} = \frac{\text{Valor presente ingresos}}{\text{Valor presente costos}} \quad \text{Ecuación 24}$$

- Si el resultado de esta relación es mayor que uno (1), vale la pena llevar a cabo el proyecto.
- Si el resultado de esta relación es igual a uno (1), es indiferente si se realiza o no el proyecto. No significa que no hay beneficios, sino que estos apenas alcanzan a compensar el costo de oportunidad de las alternativas de inversión.
- Si el resultado de esta relación es menor que uno (1), los costos son mayores a los ingresos y por lo tanto es preferible no realizar el proyecto.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Este concepto denominado también como tasa interna de rendimiento o rentabilidad, se define como aquella tasa de interés en que se igualan los valores actuales o presentes de los ingresos esperados del proyecto con los egresos del mismo. Es decir, la mínima TIR de un proyecto es cuando la VAN es igual a cero (0) (Acuña, 2008). Para Gallagher y Andrew (2001) la TIR es “la tasa de retorno estimada para un proyecto propuesto, dados sus flujos de efectivo incrementales”.

La TIR, lo mismo que el VAN, tiene en cuenta todos los flujos de caja de un proyecto y se ajusta al valor del dinero a través del tiempo. El resultado de la TIR se expresa como un porcentaje y no como un valor monetario (Acuña, 2008). La TIR supone que los flujos del proyecto son reinvertidos, por lo tanto, mide la rentabilidad del dinero mantenido dentro del proyecto.

Cuando se toman decisiones de inversión, la TIR del proyecto evaluado se compara con la tasa de rendimiento deseada. Esta tasa se conoce como tasa crítica de rentabilidad o tasa mínima requerida. Si la TIR del proyecto es mayor o igual a la tasa requerida, entonces, se considera como un proyecto financieramente viable. Cuando se evalúan varios proyectos con el método de la TIR, se aceptan aquellos cuyo rendimiento sea mayor o igual a la tasa de rentabilidad.

Beneficios de la TIR. Este método tiene gran aceptación por las siguientes razones:

- a. Se ajusta al valor del dinero a través del tiempo.
- b. Se concentra en todos los flujos de caja (ingresos y egresos) asociados al proyecto.
- c. Describe los proyectos en términos de una tasa de rendimiento. Esto facilita su comparación con otras alternativas de inversión y con respecto a la tasa mínima requerida por la organización.

Desventajas de la TIR. Los principales problemas de este método son:

- a. La TIR es una cifra porcentual, por lo tanto no refleja el cambio de valor de la empresa por efecto del proyecto. Se pueden encontrar proyectos con altas TIR y pequeños incrementos en el valor de la compañía y proyectos con resultados inversos.
- b. Si el objetivo fundamental de la organización es maximizar su valor, entonces lo más importante es conocer el monto en que se modifica el valor de la firma, como resultado de desarrollar el proyecto calculado. Esto se mide con el VAN.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

En una forma simple, el VAN es el resultado de expresar en valores actuales la diferencia de todos los flujos de ingresos y de egresos relacionados con un proyecto. Desde el punto de vista de la gestión financiera basada en el valor agregado o de maximización de la riqueza del propietario, se puede expresar el VAN como *el cambio estimado en el valor de la empresa que se presentaría si se acepta un proyecto*. Las modificaciones en el valor de una empresa pueden tener un resultado positivo, negativo o nulo, dependiendo de la tasa de interés utilizado para descontar los flujos de caja del proyecto (Acuña, 2008).

Esto implica las siguientes situaciones:

- $VAN > 0$ El valor de la empresa se incrementa al implementar el proyecto. El rendimiento estimado del nuevo proyecto supera la tasa de retorno requerida por la empresa.
- $VAN = 0$ El valor de la empresa no se modifica al adaptar el nuevo proyecto, pues este genera exactamente la tasa de retorno requerida por la empresa.
- $VAN < 0$ El valor de la empresa se disminuye al realizar el nuevo proyecto. El retorno estimado del nuevo proyecto es menor que el requerido.

Determinación del VAN: para calcular el VAN de un proyecto se suma el valor presente de los flujos de caja (FC) proyectados y luego se resta el monto de la inversión expresada en los mismos términos de valor presente. El resultado es una cifra expresada en la divisa utilizada que muestra el cambio en el valor de la empresa si se realiza el proyecto.

La fórmula del VAN es la siguiente ecuación:

$$VAN = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC1}{(1+i)^2} \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n} - VP \text{ de la inversión inicial} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

FC = Flujo de caja en los momentos indicados.

i = Tasa de descuento de los FC equivalente a la tasa de retorno requerida por el proyecto.

n = Vida del proyecto expresada según el número de períodos.

PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio es una herramienta financiera que permite determinar el momento en el cual las ventas cubrirán exactamente los costos, expresándose en valores, porcentaje y/o unidades, además muestra la magnitud de las utilidades o pérdidas de la empresa cuando las ventas excedan o caen por debajo de este punto, de tal forma que este viene a ser un punto de referencia a partir del cual un incremento en los volúmenes de venta generará utilidades, pero también un decremento ocasionará pérdidas; por tal razón se deberán analizar algunos aspectos importantes como son los costos fijos, costos variables y las ventas generadas (Acuña, 2008).

Para la determinación del punto de equilibrio debemos, en primer lugar, conocer los costos fijos y variables de la empresa, además, debemos conocer el precio de venta de el o los productos que fabrique o comercialice la empresa, así como el número de unidades producidas. Al obtener el punto de equilibrio en valor, se considera la siguiente fórmula:

$$PE\$ = \frac{\text{Costos fijos}}{1 - \frac{\text{Costos variables}}{\text{Ventas totales}}} \quad \text{Ecuación 26}$$

ESTADÍSTICA DE PRECIOS

En la figura 70 se presenta el promedio mensual de los precios de venta de pimentón al consumidor en las principales ciudades de Colombia.

En esta gráfica se muestra claramente que el primer semestre del año es el más propicio para la venta de pimentón. Los meses de julio, agosto y septiembre tienen el escenario menos favorable. La ciudad de Bogotá se muestra como la más atractiva para la venta del producto, en contraste, Tunja presenta el peor escenario para los productores.

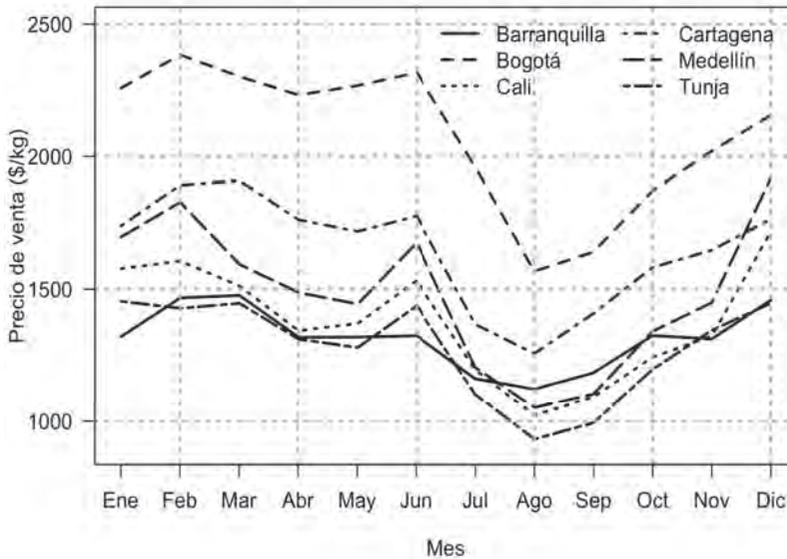


Figura 70.

Precios promedio de venta de pimentón al consumidor, mes a mes en el período comprendido entre 2005 y 2011 en las principales ciudades de Colombia.

EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE PIMENTÓN

La evaluación financiera se basó en un modelo empresarial, en donde todos los procesos tanto técnicos como administrativos y de gestión se caracterizan por estar dentro de los parámetros legales para el gobierno colombiano (CCB, 2011; DIAN, 2011). Esta evaluación se desarrolló con el objetivo de determinar si los proyectos productivos de pimentón presentaban una rentabilidad económica aceptable para los productores. Los proyectos productivos analizados fueron pimentón rojo (PIR) y pimentón gourmet (PIG). Todos los datos técnicos relativos a fertilización, protección de cultivos, labores culturales, cosecha, poscosecha, entre otros, fueron cuantificados económicamente e incluidos en la matriz de datos de entrada para la evaluación económica. De igual manera, todos los costos variables (material vegetal, fertilizantes, protección de cultivos y papelería) y fijos (salarios y administración) asociados a la producción fueron contabilizados e incluidos en el análisis.

La evaluación económica de los proyectos consideró una tasa de impuestos del 33% (DIAN, 2011), una vida útil de activos depreciables de 5 años, una tasa para los depósitos a término fijo (DTF) del 4%, una tasa de interés del 12% (Finagro, 2011) para un préstamo solicitado a 2 años y una tasa de inflación anual del 3% (Banco de la República, 2011). Los proyectos fueron evaluados de tal forma que el productor obtuviera una rentabilidad deseada del 20%, considerando una tasa de oportunidad del 24%. A partir de esta información y como indicador financiero se calculó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). También se calcularon la cantidad y el precio de equilibrio, así como la relación beneficio-coste.

Además de realizar una evaluación económica fija para los dos proyectos productivos se elaboraron distintos escenarios comerciales con el fin de establecer la viabilidad económica de cada proyecto ante variaciones de precio, productividad o punto de venta. Para tal fin se configuraron los siguientes escenarios comerciales:

Escenario 1: dado que los principales puntos de comercialización de la producción agrícola nacional son los centros mayoristas de abastos, los cuales se caracterizan por generar una fluctuación constante en los precios tanto de venta al consumidor como de compra al productor, se simuló el comportamiento financiero de los dos proyectos productivos ante aumentos y disminuciones de hasta el 50% del precio por kilogramo pagado al productor. El precio de referencia a partir del cual se consideraron las fluctuaciones fue el precio promedio pagado al productor en la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos) durante los últimos cinco años (los precios fueron corregidos por la inflación anual y traídos a valor presente). Esta información fue obtenida a través de los boletines del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA).

Escenario 2: una de las características que define la producción bajo invernadero en nuestro país es la falta de estandarización de prácticas de manejo. Lo anterior sumado a la diversidad de zonas donde se produce en condiciones protegidas, genera comportamientos variables de la productividad. En consecuencia, el segundo escenario consistió en establecer el efecto de variaciones tanto positivas como negativas de hasta un 50% de la productividad para cada cultivo, en términos de kg/m² vendido en los centros mayoristas de abastecimiento. La productividad utilizada como referencia correspondió a la productividad promedio de cada uno de los dos tipos de cultivos evaluados experimentalmente.

Escenario 3: en el mercado nacional existen diferentes tipos de compradores a los cuales el productor bajo invernadero puede ofrecer su pro-

ducto. Con el fin de analizar el impacto de la selección del comprador se comparó el comportamiento financiero de los dos proyectos productivos ante diferentes tipos de clientes: Corabastos, grandes superficies, exportadoras, tienda, supermercado o plaza de barrio, consumidor tipo 1 (estrato ≤ 3) y consumidor tipo 2 (estrato > 3). Las características de cada uno de los clientes incluidos en el estudio se presentan en la Tabla 37. Los precios de venta para cada tipo de cliente se establecieron con base en comunicaciones directas con los clientes mencionados.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Área de siembra: el análisis asumió que la producción sería para un área de cultivo de 1 ha en cada uno de los proyectos evaluados. De igual forma, se asumió una producción constante, por lo que el área funcional (área en producción permanente) es de 5.000 m².

Densidad de siembra: la densidad de siembra, tanto para pimentón rojo como para pimentón gourmet fue de 2,5 plantas m², para un total de 25.000 plantas de acuerdo al área sembrada (1ha).

Duración total del ciclo: la duración total del ciclo en la Sabana de Bogotá, para ambos cultivos es de ocho meses (32 semanas).

Duración etapa productiva: la duración de la etapa de producción (cosechas) de ambos cultivos es de cuatro meses (16 semanas).

Producción por planta: la producción por planta para el pimentón rojo es de 1,9 kg y para el pimentón *gourmet* es de 3,2 kg, basados en los ciclos productivos llevados a cabo en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, ubicado en el municipio de Chía - Cundinamarca (4°53'3.62"N, -74°00'50"O) a una altura de 2.650 msnm.

Producción por m²: la producción por m² para el pimentón rojo es de 4,8 kg y para el pimentón *gourmet* es de 8,0 kg, basados en los ciclos productivos llevados a cabo en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, ubicado en el municipio de Chía - Cundinamarca (4°53'3.62"N, -74°00'50"O) a una altura de 2.650 msnm.

INVERSIONES

En la Tabla 33 se puede apreciar la inversión detallada para producir una hectárea de pimentón rojo y pimentón *gourmet* bajo invernadero.

Tabla 33. Inversión necesaria para producir una hectárea de pimentón rojo y *gourmet* bajo invernadero.

RUBRO	UNIDAD	Pimentón rojo		Pimentón gourmet	
		\$/Unitario	\$/TOTAL	\$/Unitario	\$/TOTAL
INFRAESTRUCTURA DEPRECIABLE		\$ 88'000.000		\$ 88'000.000	
Estructura invernadero	m ²	\$ 7.000	\$ 56'000.000	\$ 7.000	\$ 56'000.000
Cable vía	m ²	\$ 1.000	\$ 8'000.000	\$ 1.000	\$ 8'000.000
Sistema riego	m ²	\$ 3.000	\$ 24'000.000	\$ 3.000	\$ 24'000.000
INFRAESTRUCTURA DEPRECIABLE NO		\$ 22'400.000		\$ 22'400.000	
Cubierta invernadero	m ²	\$ 1.800	\$ 14'400.000	\$ 1.800	\$ 14'400.000
Tubería terciaria	m ²	\$ 500	\$ 4'000.000	\$ 500	\$ 4'000.000
Acolchado plástico	m ²	\$ 500	\$ 4'000.000	\$ 500	\$ 4'000.000
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		\$ 11'093.750		\$ 11'500.000	
Motocultor	Unid	\$ 4'000.000	\$ 4'000.000	\$ 4'000.000	\$ 4'000.000
Bomba espalda	Unid	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 200.000
Bomba estacionaria	Unid	\$ 1'500.000	\$ 1'500.000	\$ 1'500.000	\$ 1'500.000
Carretilla	Unid	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000	\$ 300.000
Canastillas (20 kg)	Unid	\$ 8.000	\$ 593.750	\$ 8.000	\$ 1'000.000
Herramientas	Unid	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000
Computador	Unid	\$ 1'800.000	\$ 1'800.000	\$ 1'800.000	\$ 1'800.000
Impresora multifuncional	Unid	\$ 1'200.000	\$ 1'200.000	\$ 1'200.000	\$ 1'200.000
Muebles	Unid	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000	\$ 1'000.000
INSUMOS		\$ 13'166.667		\$ 13'166.667	
Material vegetal	m ²	\$ 750	\$ 6'000.000	\$ 750	\$ 6'000.000
Fertilización	m ²	\$ 294	\$ 2'352.000	\$ 294	\$ 2'352.000
Protección de cultivos	m ²	\$ 523	\$ 4'186.667	\$ 523	\$ 4'186.667
Análisis químico de suelo	Unid	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000
Análisis químico de agua	Unid	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 150.000
Análisis microbiológico de suelo	Unid	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 100.000
Análisis microbiológico de agua	Unid	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 100.000
Papelería	m ²	\$ 16	\$ 128.000	\$ 16	\$ 128.000
GESTIÓN		\$ 48'219.792		\$ 52'485.417	
Salarios	m ²	\$ 3.560	\$ 35'600.000	\$ 3.560	\$ 35'600.000
Administración	m ²	\$ 1.262	\$ 12'619.792	\$ 1.689	\$ 16'885.417
TOTAL INVERSIÓN		\$ 182'880.208		\$ 187'552.083	

La inversión total es de **\$182'880.208** para cubrir una hectárea de pimentón rojo bajo invernadero y de **\$187'552.083** para cubrir una hectárea de pimentón *gourmet* bajo invernadero.

EVALUACIÓN FINANCIERA

COSTOS ANUALES

En la Tabla 34 se pueden apreciar los costos anuales fijos, variables y totales necesarios para producir una hectárea de pimentón rojo y pimentón *gourmet*. En esta tabla se pueden apreciar los costos totales por año teniendo en cuenta el pago de la inversión o sin el pago de ésta, basados en la posibilidad de obtener algún tipo de subsidio por parte del gobierno para la financiación de la inversión inicial. A su vez, cada rubro tiene la información de su costo por m² (\$/m²), costo total para una hectárea (\$/Total), costo por kilogramo de pimentón producido (\$/kg) y porcentaje de participación en el costo total (%/\$).

Tabla 34. Costos anuales necesarios para producir una hectárea de pimentón rojo y pimentón *gourmet* bajo invernadero.

RUBRO	Pimentón Rojo				Pimentón Gourmet			
	\$/m ²	\$/Total	\$/kg	%/\$	\$/m ²	\$/Total	\$/kg	%/\$
COSTOS VARIABLES AÑO								
MATERIAL VEGETAL	\$ 1.125	\$ 9'000.000	\$ 126	10,2%	\$ 1.125	\$ 9.000.000	\$ 75	9,7%
Plántulas	\$ 236	\$ 1'890.000	\$ 27	2,1%	\$ 236	\$ 1.890.000	\$ 16	2,0%
Semillas	\$ 889	\$ 7'110.000	\$ 100	8,1%	\$ 889	\$ 7.110.000	\$ 59	7,6%
FERTILIZACIÓN	\$ 441	\$ 3'528.000	\$ 50	4,0%	\$ 441	\$ 3.528.000	\$ 29	3,8%
Fertilizantes de alta solubilidad	\$ 400	\$ 3'200.000	\$ 45	3,6%	\$ 400	\$ 3.200.000	\$ 27	3,4%
Fertilizantes de baja solubilidad	\$ 36	\$ 288.000	\$ 4	0,3%	\$ 36	\$ 288.000	\$ 2	0,3%
Enmiendas y materiales orgánicos	\$ 5	\$ 40.000	\$ 1	0,0%	\$ 5	\$ 40.000	\$ 0	0,0%
PROTECCIÓN DE CULTIVOS	\$ 785	\$ 6'280.000	\$ 88	7,1%	\$ 785	\$ 6.280.000	\$ 52	6,7%
Insecticidas orgánicos	\$ 85	\$ 680.000	\$ 10	0,8%	\$ 85	\$ 680.000	\$ 6	0,7%
Insecticidas químicos	\$ 200	\$ 1'600.000	\$ 22	1,8%	\$ 200	\$ 1'600.000	\$ 13	1,7%
Fungicidas químicos	\$ 500	\$ 4'000.000	\$ 56	4,5%	\$ 500	\$ 4'000.000	\$ 33	4,3%
ANÁLISIS DE LABORATORIO	\$ 50	\$ 500.000	\$ 1	0,6%	\$ 50	\$ 500.000	\$ 1	0,5%
Análisis químico de suelo	\$ 15	\$ 150.000	\$ 0	0,2%	\$ 15	\$ 150.000	\$ 0	0,2%
Análisis químico de agua	\$ 15	\$ 150.000	\$ 0	0,2%	\$ 15	\$ 150.000	\$ 0	0,2%
Análisis microbiológico de suelo	\$ 10	\$ 100.000	\$ 0	0,1%	\$ 10	\$ 100.000	\$ 0	0,1%
Análisis microbiológico de agua	\$ 10	\$ 100.000	\$ 0	0,1%	\$ 10	\$ 100.000	\$ 0	0,1%
PAPELERIA	\$ 24	\$ 240.000	\$ 3	0,3%	\$ 24	\$ 240.000	\$ 2	0,3%
Papelería	\$ 24	\$ 240.000	\$ 3	0,3%	\$ 24	\$ 240.000	\$ 2	0,3%
TOTAL COSTOS VAR AÑO	\$ 2.425	\$ 19'548.000	\$ 268	22,2%	\$ 2.425	\$ 19'548.000	\$ 159	21,0%
COSTOS FIJOS AÑO								
SALARIOS	\$ 5.340	\$ 53'400.000	\$ 749	60,6%	\$ 5.340	\$ 53'400.000	\$ 445	57,3%
Sueldo Gerente	\$ 0	\$ 0	\$ 0	0,0%	\$ 0	\$ 0	\$ 0	0,0%
Sueldo Ingeniero	\$ 0	\$ 0	\$ 0	0,0%	\$ 0	\$ 0	\$ 0	0,0%
Sueldo Administrador	\$ 1.440	\$ 14'400.000	\$ 202	16,3%	\$ 1.440	\$ 14'400.000	\$ 120	15,4%
Sueldo Operarios	\$ 3.600	\$ 36'000.000	\$ 505	40,9%	\$ 3.600	\$ 36'000.000	\$ 300	38,6%
Contador	\$ 300	\$ 3'000.000	\$ 42	3,4%	\$ 300	\$ 3'000.000	\$ 25	3,2%
ADMINISTRACIÓN	\$ 1.514	\$ 15'143.750	\$ 213	17,2%	\$ 2.026	\$ 20'262.500	\$ 169	21,7%
Arriendo	\$ 300	\$ 3'000.000	\$ 42	3,4%	\$ 300	\$ 3'000.000	\$ 25	3,2%
Transporte	\$ 713	\$ 7'125.000	\$ 100	8,1%	\$ 1.200	\$ 12'000.000	\$ 100	12,9%
Servicios	\$ 60	\$ 600.000	\$ 8	0,7%	\$ 60	\$ 600.000	\$ 5	0,6%
Otros	\$ 442	\$ 4'418.750	\$ 62	5,0%	\$ 466	\$ 4'662.500	\$ 39	5,0%
TOTAL COSTOS FIJOS AÑO	\$ 6.854	\$ 68'543.750	\$ 962	77,8%	\$ 7.366	\$ 73'662.500	\$ 614	79,0%
TOTAL COSTO AÑO	\$ 9.279	\$ 88'091.750	\$ 1.230	100%	\$ 9.791	\$ 93'210.500	\$ 773	100%
TOTAL + INVERSIÓN	\$ 30.644	\$ 179'531.854	\$ 1.573		\$ 31.623	\$ 186'986.542	\$ 982	

RENDIMIENTO DEL CULTIVO

Producción anual:

- Pimentón rojo: 71.250 kg/año (para el análisis se asumió una pérdida del 10% correspondiente a 7.125 kg/año). Asumiendo las pérdidas se tiene una producción anual de 64.125 kg/año.
- Pimentón *gourmet*: 120.000 kg/año (para el análisis se asumió una pérdida del 10% correspondiente a 12.000 kg/año). Asumiendo las pérdidas se tiene una producción anual de 108.000 kg/año.

INGRESOS BRUTOS

Ventas anuales:

- Pimentón rojo: \$107'781.300 año.
- Pimentón *gourmet*: \$181'526.400 año.

FLUJO DE CAJA

En las Tabla 35 y 36 se pueden apreciar los flujos de caja para cada uno de los cultivos evaluados.

Tabla 35. Flujo de caja para los cinco años del proyecto productivo del cultivo de pimentón rojo.

PARÁMETRO	Pimentón rojo					
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS	\$ 0	\$ 107'781.300	\$ 113'170.365	\$ 118'828.883	\$ 124'770.327	\$ 131.008.844
COSTOS OPERACIÓN	\$ 0	\$ -88'091.750	\$ -92'496.338	\$ -97'121.154	\$ -101'977.212	\$ -107.076.073
INVERSIÓN MANTENIMIENTO	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ -24'640.000	\$ 0	\$ -25.872.000
DEPRECIACIÓN	\$ 0	\$ -13'873.125	\$ -13'873.125	\$ -13'873.125	\$ -13'873.125	\$ -13.873.125
INTERES	\$ 0	\$ -17'556.500	\$ -8'778.250	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AMORTIZACIÓN	\$ 0	\$ -73'152.083	\$ -73'152.083	\$ 0	\$ 0	\$ 0
PERDIDA EN VTA DE ACTIVOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
BASE GRAVABLE	\$ 146.304.167	\$ -84'892.158	\$ -75'129.431	\$ -16'805.396	\$ 8'919.990	\$ -15.812.354
IMPUESTOS	\$ 0	\$ 28'014.412	\$ 24'792.712	\$ 5'545.781	\$ -2'943.597	\$ 5.218.077
UTILIDAD CONTABLE		\$ -56'877.746	\$ -50'336.719	\$ -11'259.615	\$ 5'976.394	\$ -10.594.277
PRÉSTAMO	\$ 146.304.167	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DEPRECIACIÓN	\$ 0	\$ 13'873.125	\$ 13'873.125	\$ 13'873.125	\$ 13'873.125	\$ 13'873.125
VALOR EN LIBROS ACT VENDIDOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 29'728.125
INVERSIÓN INICIAL	\$ -182.880.208	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FLUJO DE CAJA NETO (FCN)	\$ -36.576.042	\$ -43'004.621	\$ -36'463.594	\$ 2'613.510	\$ 19'849.519	\$ 33'006.973

Tabla 36. Flujo de caja para los cinco años del proyecto productivo del cultivo de pimentón *gourmet*.

PARÁMETRO	Pimentón <i>gourmet</i>					
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS	\$ 0	\$ 181'526.400	\$ 190'602.720	\$ 200'132.856	\$ 210'139.499	\$ 220'646.474
COSTOS OPERACIÓN	\$ 0	\$ -93'210.500	\$ -97'871.025	\$ -102'764.576	\$ -107'902.805	\$ -113'297.945
INVERSIÓN MANTENIMIENTO	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ -24'640.000	\$ 0	\$ -25'872.000
DEPRECIACIÓN	\$ 0	\$ -13'930.000	\$ -13'930.000	\$ -13'930.000	\$ -13'930.000	\$ -13'930.000
INTERES	\$ 0	\$ -18'005.000	\$ -9'002.500	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AMORTIZACIÓN	\$ 0	\$ -75'020.833	\$ -75'020.833	\$ 0	\$ 0	\$ 0
PERDIDA EN VTA DE ACTIVOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
BASE GRAVABLE	\$ 150'041.667	\$ -18'639.933	\$ -5'221.638	\$ 58'798.280	\$ 88'306.694	\$ 67'546.528
IMPUESTOS	\$ 0	\$ 6'151.178	\$ 1'723.141	\$ -19'403.432	\$ -29'141.209	\$ -22'290.354
UTILIDAD CONTABLE		\$ -12'488.755	\$ -3'498.498	\$ 39'394.847	\$ 59'165.485	\$ 45'256.174
PRÉSTAMO	\$ 150'041.667	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DEPRECIACIÓN	\$ 0	\$ 13'930.000	\$ 13'930.000	\$ 13'930.000	\$ 13'930.000	\$ 13'930.000
VALOR EN LIBROS ACT VENDIDOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 29'998.000
INVERSIÓN INICIAL	\$ -181'556.467	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FLUJO DE CAJA NETO (FCN)	\$ -33'111.293	\$ -13'151.766	\$ -5'965.156	\$ 29'174.902	\$ 47'736.902	\$ 62'556.523

RELACIÓN BENEFICIO-COSTO (B/C)

La relación B/C se estimó con base en todos los flujos de caja del proyecto.

- Pimentón rojo: 0,8
- Pimentón gourmet: 1,3

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

- Pimentón rojo: -18,1%
- Pimentón gourmet: 60,2 %

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

- Pimentón rojo: \$-73'906.343
- Pimentón gourmet: \$60'909.707

PUNTO Y PRECIO DE EQUILIBRIO

Punto de equilibrio:

- Pimentón rojo: 74.420 kg
- Pimentón gourmet: 73.067 kg

Precio de equilibrio:

- Pimentón rojo: \$1.744
- Pimentón gourmet: \$1.086

TIPOS DE CLIENTES

En la Tabla 37 se presentan las características más relevantes de los tipos de clientes incluidos en el análisis.

Tabla 37. Principales características de los diferentes tipos de clientes incluidos en la evaluación económica según los datos recopilados en campo y conversación directa con productores y clientes.

CARACTERÍSTICA	Corabastos	Gran Superficie	Exportador	Tienda	Consumidor Tipo 1	Consumidor Tipo 2
Distribución del producto	En punto de venta	En punto de venta	En punto de venta	En punto de venta	En punto de venta	En punto de venta
Transporte	Alquilado	Alquilado	Alquilado	Propio	Propio	Propio
N° clientes	Un único cliente	Un único cliente	Un único cliente	Varios clientes	Varios clientes	Varios clientes
Exigencia de calidad	Media	Alta	Alta	Media - Alta	Alta	Alta
Categorías de compra	Todas	Las dos mejores	Las dos mejores	Una o dos categorías	Una o dos categorías	Una o dos categorías
Cantidad de compra	Todo	Todo	Todo	Una parte	Una pequeña parte	Una pequeña parte
Precio de compra	Dependiendo de la oferta del producto en el momento de la transacción	20 - 200% > a Abastos	20 - 50% > a Abastos	Igual al precio de venta (abastos - consumidor)	Igual al precio de venta (tienda - consumidor)	Igual al precio de venta (tienda - consumidor)
Volumen de compra	Todo	Constante	Constante o por pedido	Constante	Por pedido	Por pedido
Frecuencia pago	Contado	15 - 60 días	15 - 60 días	0 - 15 días	Contado	Contado
Empaque	Granel	Empacado	Empacado	Granel	Empacado	Empacado
Devoluciones y/o daños	Abastos	Productor o Almacén	Productor	Tienda	Consumidor	Consumidor
Exigencia de logística	Baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta

ANÁLISIS DE RESULTADOS FINANCIEROS

De acuerdo a los resultados expuestos en la evaluación financiera se puede apreciar que la producción de pimentón gourmet es viable bajo la metodología y parámetros económicos aplicados, pues es el que mayores retornos económicos otorga al productor, ya que con una inversión de \$187'552.083 esta se recupera en dos años, obtiene la rentabilidad anual

deseada (24%) y además genera un superávit de \$60'909.707. El proyecto de pimentón rojo no es viable financieramente, manejado dentro del marco empresarial exigido por las Cámaras de Comercio y la DIAN, pues muestra una rentabilidad negativa, lo que indica que los ingresos no alcanzan a cubrir los costos de producción ni a saldar la deuda adquirida para la inversión. Esto se debe principalmente a la baja producción (4,8 kg/m²) en comparación con la producción del proyecto PIG (8 kg/m²).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las simulaciones de los escenarios comerciales de cada proyecto ante variaciones de precio, productividad o punto de venta.

Escenario 1: la Figura 71 muestra que con las condiciones expuestas en el estudio los dos cultivos presentan una TIR positiva. Sin embargo, solo el pimentón *gourmet* presenta un VAN positivo. El indicador financiero VAN solo comienza a ser positivo para el pimentón rojo si se aumentan los precios de venta un 40%.

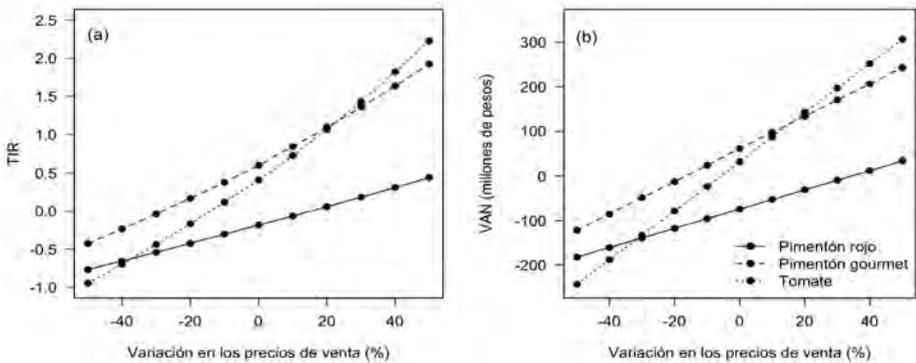


Figura 71

Efecto de la variación porcentual del precio pagado al productor de dos proyectos productivos diseñados a cinco años y establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) (a) y sobre el valor actual neto (VAN) (b). El precio de referencia (Variación = 0%) corresponde al precio promedio pagado al productor durante los últimos cinco años en la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos) de acuerdo con los boletines del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA).

Escenario 2: el comportamiento de la fluctuación porcentual en la producción de los proyectos en evaluación presenta una tendencia similar a lo expuesto en el escenario 1, pues el proyecto pepino europeo muestra una TIR y un VAN positivos, mientras que el proyecto pimentón rojo es inviable económicamente para las condiciones del estudio. Sería necesario un aumento de 20% en la producción (kg/m²) para que el proyecto pimentón rojo, fuese viable económicamente (Figura 72). Esto evidencia, que si se aumenta la producción en campo es posible enfrentar la inestabilidad comercial que afrontan los proyectos en estudio y generaría una rentabili-

dad estable en el tiempo. La experiencia en campo indica que es más factible mejorar las condiciones de cultivo y de esta forma generar una mayor productividad, que cambiar las políticas agrícolas comerciales en el país.

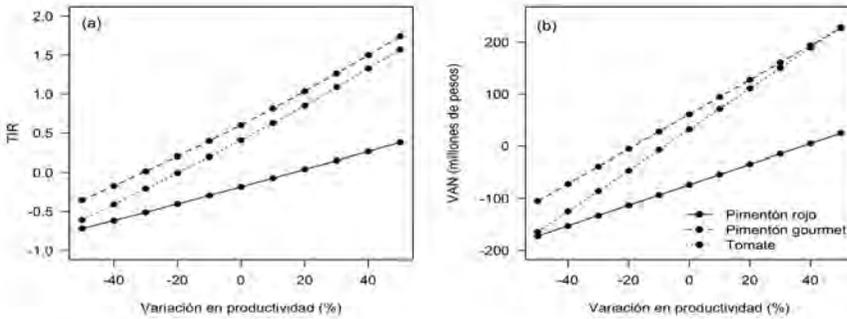


Figura 72.

Efecto de la variación porcentual de la productividad de los dos proyectos productivos diseñados a cinco años y establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) (a) y sobre el valor actual neto (VAN) (b). La productividad de referencia (Variación = 0%) corresponde a la productividad promedio obtenida a través de pruebas de campo.

Escenario 3: la Figura 73 muestra que cuando los clientes son las grandes superficies, las tiendas, supermercados, plazas de barrio o los consumidores finales los dos proyectos son viables. La viabilidad económica del proyecto pimentón *gourmet* se ratifica con este análisis, pues con cualquier tipo de cliente es rentable. Esta simulación muestra claramente que aun cuando la producción no sea óptima, si se realizan acuerdos comerciales con canales de distribución diferentes a las plazas mayoristas se pueden establecer proyectos viables y estables en el tiempo. Sin embargo, para realizar estos acuerdos comerciales, se deben tener en cuenta todos los aspectos característicos de cada tipo de cliente incluyendo sus condiciones y su método de comercialización (Tabla 37).

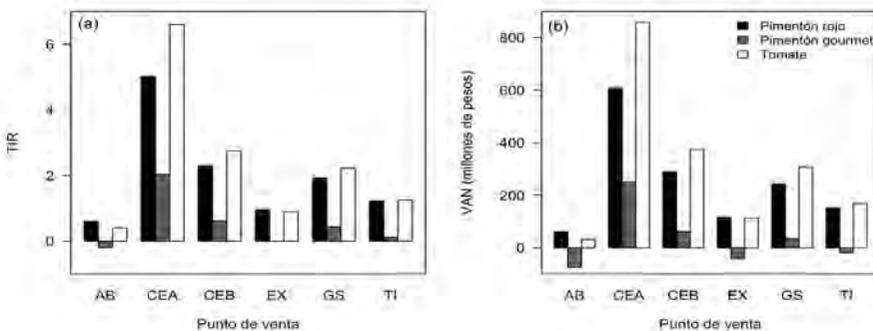


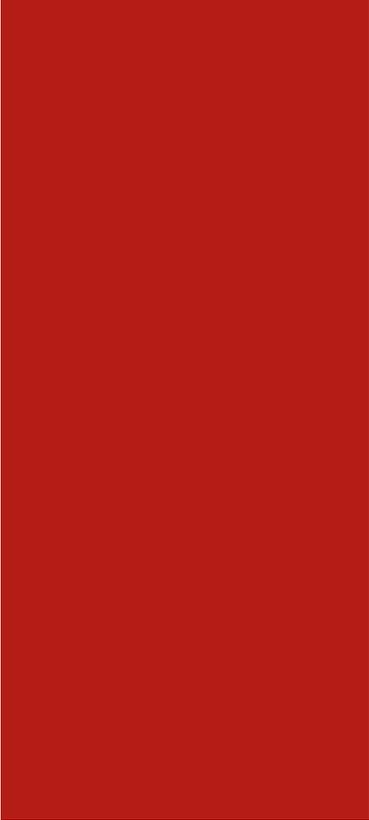
Figura 73.

Efecto del precio pagado en diferentes puntos de venta de Bogotá de cinco cultivos establecidos bajo invernadero sobre la tasa interna de retorno (TIR) (a) y sobre el valor actual neto (VAN) (b) de los dos proyectos diseñados a cinco años. Donde: AB = Abastos, CEA = Consumidor final estrato alto, CEB = Consumidor final estrato bajo, EX = Exportador, GS = Gran superficie, TI = Tienda o supermercado de barrio.

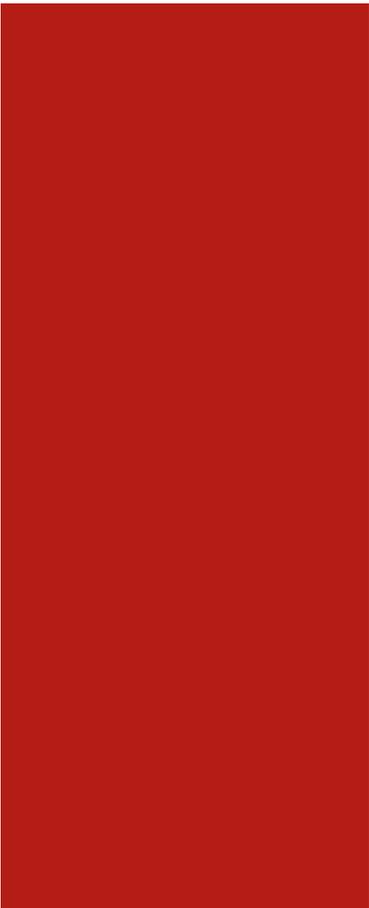
CONCLUSIONES FINANCIERAS

El establecimiento de especies como pimentón bajo condiciones de invernadero es viable económicamente solo si este va acompañado de una optimización de todo el sistema productivo. Los beneficios ofrecidos por el invernadero deben ser complementados por el productor, mejorando sus prácticas de manejo (manejo cultural, fertilización, manejo de plagas y enfermedades) de manera tal que se reduzcan las limitantes biofísicas impuestas por el medio, logrando maximizar la productividad hasta donde sea posible.

Es necesaria la búsqueda de nuevos canales de comercialización que generen una real estabilidad y mayores ingresos para el productor. Es así como el mercado de las tiendas, supermercados y plazas de barrio se muestran como clientes comerciales potenciales, ya que no tienen las exigencias de las grandes superficies ni manejan una volatilidad tan alta de precios como las centrales mayoristas de abastos. Las ventas al consumidor final mostraron el mejor escenario económico, sin embargo, la logística que se debe desarrollar para este tipo de mercado incluye un manejo bastante especial y dispendioso.



BIBLIOGRAFÍA



- Acuña, G. 2008. *Formulación y evaluación financiera de proyectos de inversión con aplicaciones en Excel*. Universidad Nacional de Colombia – Facultad de Ciencias Económicas. 27-63 p.
- Agrios, G.N. 2005. *Plant Pathology*. 5ª Edición. Elsevier Academic Press. Department of Plant Pathology, University of Florida. USA 922 p.
- American Phytopathological Society. 2004. *Plagas y enfermedades de las cucurbitáceas*. Mundi-Prensa Libros. 88 p.
- American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 1991. *Engineering Practice* (EP 406-1) Standards. Michigan, EE.UU.
- Arias, L.A. 2005. Establecimiento de la cría del pasador del fruto *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) por medio de infestación natural en tomate (*Lycopersicon esculentum*). Informe de Investigación. Centro de Excelencia en Mitigación de Plagas CEMIP. (Convenio ICA-USDA-IICA). 20 p.
- Bakker, J.C. 1989. The effects of temperature on flowering, fruit set and fruit development of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science* 64: 313–320.
- Banco de la República de Colombia. 2011. Indicadores económicos. www.banrep.gov.co. Fecha de consulta: Marzo de 2011.
- Baoguo, Z., Hongxun, Z., Bo, J., Ling, T., Jianzhou, Y., Baoju, L., Guoqiang, Z. & B. Zhihui. 2008. Effect of cypermethrin insecticide on the microbial community in cucumber phyllosphere. *Journal of Environmental Sciences* 20: 1356–1362.
- Ben-Shalom, N., Ardi, R., Pinto, R., Aki, C. & E. Fallik. 2003. Controlling gray mould caused by *Botrytis cinerea* in cucumber plants by means of chitosan. *Crop Protection* 22: 285–290.
- Bojacá, C.R. 2009. *Generic modeling approaches to technical sustainability on field level for farming systems in the high Andean tropics*. Tesis doctoral. Universidad Católica de Lovaina, Bélgica.
- Bojacá, C.R., Gil, R. & A. Cooman. 2009a. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations. *Computers and Electronics in Agriculture* 65(2): 219-227.
- Bojacá, C.R., Gil, R., Gómez, S., Cooman, A. & E. Schrevens. 2009b. Analysis of greenhouse air temperature distribution using geostatistical methods. *Transactions of the ASABE* 52(3): 957-968.
- Bourbos, V., Skoudridakis, M., Darakist, G. & M. Koulizakis. 1997. Calcium cyanamide and soil solarization for the control of *Fusarium solani* f.sp. *cucurbitae* in greenhouse cucumber. *Crop Protection* 16(4): 383-386.
- Cabrera, A., Eiras, A.E., Gries, G., Gries, R., Urdaneta, N., Miras, B., Badji, C. & K. Jaffe. 2001. Sex pheromone of tomato fruit borer *Neoleucinodes elegantalis*. *Journal of Chemical Ecology* 10: 2097-2107.

- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). 2011. Pasos para crear empresa. www.ccb.org.co. Fecha de consulta: Marzo de 2011.
- Choi, G., Lee, S., Jang, K., Kim, J., Cho, K & J. Kim. 2004. Effects of chrysophanol, parietin, and nepodin of *Rumex crispus* on barley and cucumber powdery mildews. *Crop Protection* 23:1215–1221.
- Chen, L., Yang, X., Raza, W., Luo, J., Zhang, F. & Q. Shen. 2011. Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of *Fusarium* wilt of cucumber in continuously cropped soil. *Bioresource Technology* 102: 3900–3910.
- Cooman, A. 2002. *Feasibility of protected tomato cropping in the high altitude tropics using statistical and system dynamic models for plant growth and development*. Tesis doctoral. Universidad Católica de Lovaina, Bélgica.
- de Kreijl, C., van Veen-Schotanus, L. & P. Haghuis. 2005. Production and quality of tomato as affected by radiation-regulated electrical conductivity of drip solution. *Acta Horticulturae* 697: 251–257.
- Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN). 2011. Estatuto tributario. www.dian.gov.co. Fecha de consulta: Marzo de 2011.
- El-Ghousari, M.Y. 2004. *Optimización de la producción de un invernadero mediante control predictivo no lineal*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, España.
- Esiyok, D., Ozzambak, E. & B. Eser. 1994. The effects of stem pruning on the yield and earliness of greenhouse peppers (*Capsicum annum L. grossum* cv. Kandil and 11B-14). *Acta Horticulturae* 366: 293-300.
- Fernández, M.D., Orgaz, F., Fereres, E., López, J.C., Céspedes, A., Pérez, J., Bonachela, S. & M. Gallardo. 2001. *Programación de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Caja Rural de Almería y Málaga, Almería. 71 p.
- Fernández, S. & J.A. Salas. 1985. Estudios sobre la biología del perforador del fruto del tomate *Neoleucinodes elegantalis* Gene (Lepidoptera: Pyraustidae). *Agronomia Tropical* 35: 77-82.
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro). 2011. ABC del agrocrédito. www.finagro.gov.co. Fecha de consulta: Marzo de 2011.
- Food Agricultural Organization (FAO). 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. FAO, Roma. 326 pp. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>.
- Fuentes, L.S. 2000. *Ciclo de vida de Amitus fuscipennis McGown y Nebeker, parasitoide de Trialeurodes vaporariorum a 15, 20, 25 y 30 °C en tomate*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gilreath, J., Noling, J. & B. Santos. 2004. Methyl bromide alternatives for bell pepper (*Capsicum annum*) and cucumber (*Cucumis sativus*)

- rotations. *Crop Protection* 23: 347–351.
- Gilreath, J., Santos, B., Motis, T., Noling, J. & J. Mirusso. 2005. Methyl bromide alternatives for nematode and *Cyperus* control in bell pepper (*Capsicum annuum*). *Crop Protection* 24: 903–908.
- Goldhamer, D.A., Soler, M., Salinas, M., Fereres, E., Cohen, M., Girona, J. & M. Mata. 1999. Comparison of continuous and discrete plant-based monitoring for detecting tree water deficits and barriers to grower adoption for irrigation management. *Acta Horticulturae* 537(1): 431–448.
- Gonzales, R., Baille, A. & H. Liu. 2008. Influence of fruit load on dry matter and N-distribution in sweet pepper plants. *Scientia Horticulturae* 117: 307–315
- Gopinath, K., Saha, S., Mina, B., Pande, H., Srivastva, A. & H. Gupta. 2009. Bell pepper yield and soil properties during conversion from conventional to organic production in Indian Himalayas. *Scientia Horticultu rae* 122: 339–345.
- Groves, R., Sorenson, C., Walgenbach, J. & G. Kennedy. 2001. Effects of imidacloprid on transmission of tomato spotted wilt tospovirus to pepper, tomato and tobacco by *Frankliniella fusca* Hinds (Thysanoptera: Thripidae). *Crop Protection* 20: 439–445.
- Guenko, G. 1983. *Fundamentos de la horticultura cubana*. Ciencia y tecnología. La Habana, Cuba. 335 p.
- Hernández, D.M. & L.A. Martínez. 2007. Desarrollo de un plan de muestreo indirecto para la detección de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate bajo invernadero. Trabajo de Grado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Hirschi, K.D., 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant Physiology* 136: 2438–2442.
- Ho, L.C. & P.J. White. 2005. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. *Annals of Botany* 95: 571–581.
- Horbowicz, M, & A. Stepowska. 1995. Effect of growing conditions at greenhouse on vitamin E content in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits. *Acta Agrobotanica* 48: 61–67.
- Jaramillo, J. 2009. The state of research in tomato in Colombia. *Acta Horticulturae* 821: 47–52.
- Jovicich, E., Cantliffe, D., Sargent, S. & L. Osborne. 2004. *Production of greenhouse-grown peppers in Florida*. Documento HS979. Department of Horticultural Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Jovicich, E., Cantliffe, D.J. & G.J. Hochmuth. 1999. "Elephant's foot", a plant disorder in hydroponic greenhouse sweet pepper. *Florida Agricultural Experiment Station Journal Series* 112: 310–312.

- Jovicich, E., Cantliffe, D.J., Stoffella, P.J. & D.Z. Haman. 2007. Bell pepper fruit yield and quality as influenced by solar radiation-based irrigation and container media in a passively ventilated greenhouse. *HortScience* 42(3): 642–652.
- Jun-Li, H., Xian-Gui, L., Jun-Hua, W., Wei-Shou, S., Shu, W., Su-Ping, P. & M. Ting-Ting. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungal inoculation enhances suppression of cucumber Fusarium wilt in greenhouse soils. *Pedosphere* 20(5): 586–593.
- Jurado, A. & N. Nieto. 2004. *El cultivo de pimiento bajo invernadero*. En: Camacho, F. (Coord), Técnicas de producción en cultivos protegidos. Caja rural intermediterránea, Cajamar, Almería.
- Khan, A., Williams, K. & H.K. Nevalainen. 2006. Control of plant-parasitic nematodes by *Paecilomyces lilacinus* and *Monacrosporium lysipagum* in pot trials. Macquarie University Biotechnology Institute, Macquarie University, Sydney, Australia.
- Kim, J., Goettel, M. & D. Gillespie. 2008. Evaluation of *Lecanicillium longisporum*, Vertalec® for simultaneous suppression of cotton aphid, *Aphis gossypii*, and cucumber powdery mildew, *Sphaerotheca fuliginea*, on potted cucumbers. *Biological Control* 45: 404–409.
- Kim, D., Park, J., Kim, S., Kim, S. & C. Paik. 2004. Biological control of *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) with *Orius strigicollis* (Hemiptera: Anthracoridae) on cucumber in plastic houses in the Southern region of Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 7(3): 311–315.
- Kima, J., Goettel, M. & D. Gillespie. 2007. Potential of *Lecanicillium* species for dual microbial control of aphids and the cucumber powdery mildew fungus, *Sphaerotheca fuliginea*. *Biological Control* 40: 327–332.
- Kriedemann, P.E. & R.E. Smart. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5(1): 6–15.
- Lop, A., Peiteado, C. & V. Bodas de Aliara. 2005. Curso de riego para agricultores. Proyecto de autogestión del agua en la agricultura. WWF/Adena. 34 pp.
- López, J.E. 2007. *Capítulo 3 Necesidades hídricas de los cultivos* en: Irrigación y Drenaje. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. 28–36 p.
- Mansour, S., Belal, M., Abou-Arab, A. & M. Gad. 2009. Monitoring of pesticides and heavy metals in cucumber fruits produced from different farming systems. *Chemosphere* 75: 601–609.
- Marcano, R. 1991. Ciclo biológico del perforador del fruto del tomate *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae), usando berenjena (*Solanum melogena*) como alimento. *Entomología Venezolana* 6(2): 135–141.

- Marcelis, L., Ho, L.C. 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Experimental Botany* 50: 357-363.
- Marcelis, L., Heuvelink, E., Baan Hofman-Eijer, L., Den Bakker, J., & B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268.
- Maroto, J. 1995. *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 400 – 417.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Wiley, San Diego CA. 889 p.
- Messelink, G., van Maanen, R., van Steenpaal, S. & A. Janssen. 2008. Biological control of thrips and whiteflies by a shared predator: Two pests are better than one. *Biological Control* 44: 372–379.
- Miranda, D., Fischer, G., Barrientos, J.C., Carranza, C., Rodríguez, M. & O. Lancheros. 2009. Characterization of productive systems of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in production zones of Colombia. *Acta Horticulturae* 821: 35-46.
- Mitidieri, M & L. Polack. 2005. Guía de monitoreo y reconocimiento de plagas, enfermedades y enemigos naturales de tomate y pimiento. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, Argentina. Disponible en: www.inta.gov.ar.
- Montenegro, G.H. & D. Malagón. 1990. *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá: Instituto Colombiano “Agustín Codazzi”, Subdirección Agrológica. 813 p.
- Montero, J.I. 2006. Evaporative cooling in greenhouses: Effect on microclimate, water use efficiency and plant response. *Acta Horticulturae* 719: 373-383.
- Mundarain, S., Coa, M. & A. Cañizares. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). *Revista UDO Agrícola* 5(1): 62-67.
- Muñoz, E., Serrano, A., Pulido, J. & J. Cruz. 1991. Ciclo de vida, hábitos y enemigos naturales de *Neoleucinodes elegantalis* (Gene, 1854) (Lepidoptera: Pyralidae), pasador del fruto del lulo *Solanum quitoense* Lam. en el Valle del Cauca. *Acta Agronoacutemica* 41: 99-104.
- Navarro, S., Navarro, G. 2000. *Química agrícola – El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 490 p.
- Papadopoulos, A.P. & X. Hao. 1997. Effect of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 70: 165-178.
- Park, J., Kim, J., Park, J. & K. Cho. 2001. Development of time-efficient method for estimating aphids density using yellow sticky traps in

- cucumber greenhouses. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 4(2): 143-148.
- Pavlou, G. & D. Vakalounakis. 2005. Biological control of root and stem rot of greenhouse cucumber, caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*, by lettuce soil amendment. *Crop Protection* 24: 135–140.
- Piedra, A., García-Álvarez, A., Díez-Rojo, A., Ros, C., Fernández, P., Lacasa, A. & A. Bello. 2007. Use of pepper crop residues for the control of root-knot nematodes. *Bioresource Technology* 98: 2846–2851.
- Poenicke, E.F., Kays, S.J., Smittle, D.A. & R.E. Williamson. 1977. Ethylene in relation to postharvest fruit quality deterioration in processing cucumbers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102: 303-306.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. www.r-project.org.
- Rabinowitch, H.D., Ben-David, B. & M. Friedmann. 1986. Light is essential for sunscald induction in cucumber and pepper fruits, whereas heat conditioning provides protection. *Scientia Horticulturae* 29(1-2): 21-29.
- Randle, W.M. & S. Honma. 1981. Dormancy in peppers. *Scientia Horticulturae* 14:19–25.
- Reuveni, R. & M. Reuveni. 1998. Foliar-fertilizer therapy - a concept in integrated pest management. *Crop Protection* 17(2): 111-118.
- Reuveni, M., Agapov, V. & F. Reuveni. 1996. Controlling powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber by foliar sprays of phosphate and potassium salts. *Crop Protection* 15(1): 49-53.
- Reuveni, R., Dor, G., Raviv, M., Reuveni M. & S. Tuzun. 2000. Systemic resistance against *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber plants exposed to phosphate in hydroponics system, and its control by foliar spray of mono-potassium phosphate. *Crop Protection* 19: 355-361.
- Robertson, L., López-Pérez, J., Bello, A., Díez-Rojo, M., Escuera, M., Piedra-Buena, A, Ros, C. & C. Martínez. 2006. Characterization of *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria* and *M. hapla* populations from Spain and Uruguay parasitizing pepper (*Capsicum annuum* L.). *Crop Protection* 25: 440–445.
- Roberts, D., Lohrke, S., Meyer, S., Buyer, J., Bowers, J., Baker, C., Li, W., de Souza, J., Lewis, J. & S. Chung. 2005. Biocontrol agents applied individually and in combination for suppression of soilborne diseases of cucumber. *Crop Protection* 24: 141–155.
- Roberts, D., McKenna, L., Lakshman, D., Meyerc, S., Konga, H., de Souza, J., Lydona, J., Bakere, C., Buyera, J. & S. Chung. 2007. Suppression of damping-off of cucumber caused by *Pythium ultimum* with live cells

- and extracts of *Serratia marcescens* N4-5. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2275–2288.
- Rubio, J.S., García-Sánchez, F., Rubio, F. & V. Martínez. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae* 119: 79–87.
- Salman, M. 2010. Determination of antibiotic activity on plasmids from fluorescent pseudomonads isolates CW2, WB15 and WB52 against pre-emergence damping-off caused by *Pythium ultimum* and *Rhizoctonia solani* in cucumber. *Biological Control* 53: 161–167.
- Sánchez, L.R. 2003. Planificación del riego del tomate y del pimiento grueso estación sericícola. *Revista Vida Rural* 164: 48:54.
- Saure, M.C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) – a calcium- or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae* 90, 193–208.
- Shi-Ze, Z., Fan, Z. & H. Bao-zhen. 2008. Enhancement of phenylalanine ammonia lyase, polyphenoloxidase, and peroxidase in cucumber seedlings by *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Agricultural Sciences in China* 7(1): 82-87.
- Straten, G., Henten, E.J., Willigenburg, L.G. & R.J.C. Ooteghem. 2010. *Optimal control of greenhouse cultivation*. CRC Press Inc, Nueva York USA. 326 p.
- Tadesse, T., Nichols, M.A., & K.J. Fisher. 1999. Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 27(3): 239–247.
- Teitel, M., Barak, M. & A. Antler. 2009. Effect of cyclic heating and a thermal screen on the nocturnal heat loss and microclimate of a greenhouse. *Biosystems Engineering* 102: 162-170.
- Tróchez, G.A., Díaz, A.E. & F. García. 1999. Recuperación de *Copidosoma* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoide de huevos de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Pyralidae) en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). *Revista Colombiana de Entomología* 25(3-4): 179-183.
- Trudgill, D.L., Honek, A., Li, D. & N.M. van Straalen. 2005. Thermal time: Concepts and utility. *Annals of Applied Biology* 146(1): 1-14.
- USAID. 2008. *Manejo poscosecha de pepino*-Boletín técnico de poscosecha. RED – Programa de diversificación económica rural (USAID/RED). pp. 1-12.
- Valadez, L. 1994. *Producción de hortalizas*. Noneg editores, México DF. pp. 258 – 269.
- Van Lenteren, J.C. 1995. *Integrated Pest Management in Protected Crops*. En: Dent, D. (ed.). *Integrated Pest Management*. Londres, Chapman & Hall.

- Van Roermond, H.J.W. & J.C. van Lenteren. 1992. Life-history parameters of the greenhouse whitefly as function of host plant and temperature. *Wageningen Agricultural University Papers* 92.3: 1-102.
- Van Roermond, H.J.W. 1995. Understanding biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid *Encarsia formosa*. From individual behaviour to population dynamics. Tesis doctoral. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda.
- Vavrina, C.S. 2002. *An introduction to the production of containerized, vegetable transplants*. Horticultural Sciences Department, University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). Fact Sheet HS849.
- Watkins, J.T. & D.J. Cantliffe. 1983. Mechanical resistance of the seed coat and endosperm during germination of *Capsicum annuum* at low temperature. *Plant Physiology* 72: 146-150.
- Yang, X., Mac, X., Yang, L., Yu, D., Qian, Y. & H. Ni. 2009. Efficacy of *Rheum officinale* liquid formulation on cucumber powdery mildew. *Crop Protection* 28: 1031–1035.
- Zandi-Sohani, N., Shishehbor, P. & F. Kocheili. 2009. Parasitism of cotton whitefly, *Bemisia tabaci* on cucumber by *Eretmocerus mundus*: Bionomics in relation to temperature. *Crop Protection* 28: 963–967.
- Zilahi-Balogh, G., Shipp, J., Cloutier, C. & C. Brodeur. 2007. Predation by *Neoseiulus cucumeris* on western flower thrips, and its oviposition on greenhouse cucumber under winter vs. summer conditions in a temperate climate. *Biological Control* 40: 160–167.



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO

www.utadeo.edu.co