

Bases tecnológicas para la producción de material de siembra de alta calidad de las especies cítricas para Colombia

Mauricio Fernando Martínez
Nubia Murcia Riaño
Juliene Andrea Barreto Rojas
Gustavo Acosta Herrera
Alejandro Jaramillo Laverde
Diana Lucía Correa-Moreno
Yeison López-Galé
Diana Rodríguez-Mora
Takumasa Kondo
Lizeth Palacios Joya
Hover Dayan Beltrán López

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Bases tecnológicas para la producción de material de siembra de alta calidad de las especies cítricas para Colombia

Mauricio Fernando Martínez
Nubia Murcia Riaño
Juliene Andrea Barreto Rojas
Gustavo Acosta Herrera
Alejandro Jaramillo Laverde
Diana Lucía Correa-Moreno
Yeison López-Galé
Diana Rodríguez-Mora
Takumasa Kondo
Lizeth Palacios Joya
Hover Dayan Beltrán López

Mosquera, Colombia, 2022

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Bases tecnológicas para la producción de material de siembra de alta calidad de las especies cítricas para Colombia. / Mauricio Fernando Martínez [y otros diez] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2022.

216 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye tablas, fotos y referencias bibliográficas

ISBN e-Book: 978-958-740-568-2

1. Frutas cítricas 2. Portainjertos 3. Comercialización 4. Control de enfermedades de plantas 5. Viveros de árboles frutales 6. Propagación de plantas.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA
Centro de Investigación Palmira. Diagonal a la intersección de la
carrera 36A con calle 23, Palmira, Valle del Cauca. Código postal:
763533, Colombia.

Este documento hace parte de los resultados obtenidos en los siguientes proyectos de investigación: “Manejo de viveros y bases tecnológicas para la certificación genética, fisiológica y sanitaria de cítricos”; “Nuevas tecnologías para la producción masiva de plántulas sanas de lima ácida Tahití en casas de malla antipulgón para la competitividad del sector viverista y productivo en Colombia”; “Un sustrato recomendado para la producción de portainjertos de cítricos en fase vivero”; “Colección de trabajo de plantas de variedades de cítricos libres de CTV, Exocortis y HLB”; “Recomendaciones para la producción y manejo de plántulas de cítricos en casas de malla, con calidad genética, fisiológica y sanitaria”; Determinación de calidad fisiológica de semilla para la producción de portainjertos de cítricos, y “Modelo - Bases tecnológicas para la producción de material de siembra de alta calidad de especies cítricas”.

Colección: Transformación del Agro

Fecha de recepción: 31 agosto de 2021

Fecha de evaluación: 21 septiembre de 2021

Fecha de aceptación: 6 de diciembre de 2021

Publicado: agosto de 2022

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Edwin Daniel Algarra Suárez

Diagramación: María Paula Berón Ramírez

Citación sugerida: Martínez, M. F., Murcia Riaño, N., Barreto Rojas, J. A., Acosta Herrera, G. H., Jaramillo Laverde, A., Correa-Moreno, D. L., López-Galé, Y., Rodríguez-Mora, D., Kondo, T., Palacios Joya, L., & Beltrán López, H. D. (2022). *Bases tecnológicas para la producción de material de siembra de alta calidad de las especies cítricas para Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405682>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co/>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Los autores	21
Agradecimientos	27
Introducción	29
Referencias	32

Capítulo I

Características de los ambientes protegidos	35
Selección y adecuación del terreno	37
Orientación	37
Estructura de soporte	37
Cubierta	38
Ventajas de la producción de material de siembra de cítricos en ambientes protegidos	39
Desventajas de la producción de material de siembra de cítricos en ambientes protegidos	40
Aspectos de bioseguridad para el manejo de plantas de cítricos en casas de malla antipulgón	40
Certificación del material de siembra de cítricos	41
Componentes de un programa de certificación de material de siembra de cítricos	42
Referencias	44

Capítulo II

Manejo de semillas para la producción de portainjertos de cítricos	47
Descripción de los portainjertos de mayor uso en Colombia	48
Género <i>Citrus</i>	48
Género <i>Poncirus</i>	50
Grupo de híbridos intergenéricos	51
Características de las semillas de los portainjertos de cítricos	56
Proceso de extracción, secado y almacenamiento de las semillas	58
Evaluación de viabilidad de semillas de portainjertos de cítricos	64
Métodos de evaluación de viabilidad de semillas	65
Método de evaluación de germinación en cajas de Petri	65
Método de evaluación de germinación en papel toalla	66
Método de evaluación de germinación en cámaras húmedas	66
Método de evaluación de germinación en bandejas	67
Registro de información obtenida en pruebas de germinación en laboratorio	68
Evaluación de vigor de semillas y energía germinativa	73
Prueba de tetrazolio para evaluación de viabilidad de semillas	74
Multiplicación de semillas de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos de casas de malla antipulgón	75
Germinador en arena	75
Semilleros en bandejas	76
Preparación de sustratos y siembra de semillas	76
Germinación de las semillas	79
Referencias	82

Capítulo III

Sustratos para la producción de portainjertos en ambiente protegido	87
Materiales utilizados para sustratos en viveros	89
Propiedades deseables en sustratos para producción de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos	92
Características para definir un buen sustrato	94
Características físicas	94
Características químicas	97
Características biológicas	98
Sustrato utilizado para producción de portainjertos	99
Características de fuentes utilizadas para la elaboración de sustrato	99
Propiedades de sustrato elaborado con fuentes regionales	101
Respuesta agronómica de portainjertos sobre sustratos regional	103
Materiales y costos de producción de sustrato para producción de portainjerto	105
Agradecimientos	106
Referencias	106

Capítulo IV

Desarrollo y multiplicación de variedades comerciales de cítricos	111
Proceso de injertación	112
Fertilización y riego	119
Control de malezas y deschuponado	119
Referencias	120

Capítulo V

Prevención y manejo de plagas en ambiente protegido	123
Plagas frecuentes en invernaderos de cítricos en el Valle del Cauca, Colombia	124
Ácaros (Acari)	124
Moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae)	127
Insectos escama (Hemiptera: Coccoomorpha)	128
Pulgones o áfidos (Hemiptera: Aphididae)	129
Minador de hoja (Lepidoptera: Gracillariidae)	130
Psílido asiático de los cítricos (Hemiptera: Liviidae)	132
Manejo integrado de plagas	133
Prevención	133
Monitoreo	134
Inspección visual	135
Instalación de trampas cromáticas	135
Colecta y preservación de muestras	136
Registro y procesamiento de la información	137
Acciones de control de plagas	139
Control cultural	139
Control biológico	140
Control químico	144
Referencias	145

Capítulo VI

Manejo de enfermedades de cítricos en ambiente protegido	151
Modelo de certificación de cítricos	152
Enfermedades de los cítricos	155

Tristeza de los cítricos	155
Exocortis de los cítricos	162
Huanglongbing de los cítricos	166
Manejo preventivo de enfermedades de origen viral, viroidal y bacteriano	169
Mancha marrón	171
Gomosis	174
Fumagina	179
Referencias	183

Capítulo VII

Manejo integrado de arvenses en vivero	195
Características de las arvenses	196
Arvenses frecuentes en viveros de cítricos en ambiente protegido	196
Alternativas de manejo para el control de arvenses	199
Control preventivo	199
Control manual	201
Control mecánico	202
Control físico	203
Acolchados con grava	203
Acolchados con coberturas plásticas	204
Control químico	205
Síntomas de lesión por herbicidas en plantas de cítricos	209
Medidas de protección personal	209
Referencias	211



Lista de figuras

Figura 1	Vista frontal de casa de malla para la producción de cítricos	38
Figura 2	Ruta técnica del programa de certificación de cítricos en Colombia	43
Figura 3	Detalle de la morfología de <i>Citrus volkameriana</i>	49
Figura 4	Detalle de la morfología de <i>Poncirus trifoliata</i>	51
Figura 5	Detalle de la morfología de Carrizo × <i>Citroncirus</i> sp.	52
Figura 6	Detalle de la morfología de Troyer × <i>Citroncirus</i> sp.	53
Figura 7	Detalle de la morfología de CPB 4475 × <i>Citroncirus</i> spp.	54
Figura 8	Detalle de la morfología de Sunky × English	55
Figura 9	Diferentes hábitos de crecimiento de los patrones de cítricos. 1. Porte alto; 2. Porte medio; 3. Porte bajo	56
Figura 10	Tipo de semillas de los portainjertos de mayor uso en la multiplicación de plantas	56
Figura 11	Desarrollo de embriones en semillas de portainjertos de cítricos	58
Figura 12	Frutos de portainjertos de cítricos en estado de madurez óptimo para la cosecha y obtención de semillas	59
Figura 13	Proceso de extracción de semillas de patrones	60
Figura 14	Extracción y lavado de semillas de cítricos	61
Figura 15	Descarte de semillas y tratamiento de semillas	61
Figura 16	Efecto del tiempo de secado sobre el contenido de humedad y el porcentaje de germinación de semillas de portainjerto Citrange Carrizo, 2016	62
Figura 17	Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje de germinación y contenido de humedad de semillas de Sunky × English	63

Figura 18	Semillas del portainjerto Sunky × English tratadas con fungicidas protectantes	63
Figura 19	Método para prueba de germinación en cajas de Petri	65
Figura 20	Método para prueba de germinación en papel toalla	66
Figura 21	Método para prueba de germinación en cámaras húmedas	67
Figura 22	Método para prueba de germinación	67
Figura 23	Características de las semillas germinadas de portainjertos de cítricos	68
Figura 24	Planta emergida en alveolo	70
Figura 25	Comportamiento de la germinación de tres portainjertos de cítricos evaluados en casas de malla en AGROSAVIA, C. I. Palmira	72
Figura 26	Prueba de viabilidad en semillas de portainjertos de cítricos	74
Figura 27	Semilleros en camas de arena gruesa	75
Figura 28	Bandejas recomendadas para la siembra de portainjertos	76
Figura 29	Insumos utilizados para la preparación de sustrato de germinación	77
Figura 30	Siembra de semillas de portainjertos	78
Figura 31	Emergencia de semillas de portainjerto Cleopatra en dos ambientes de germinación	79
Figura 32	Desarrollo óptimo del sistema radicular en patrones listos para trasplante a bolsa	80
Figura 33	Aspecto de las plantas consideradas para descarte por problemas en la base del tallo y con raíces deformes	81
Figura 34	Relación entre fracción sólida y porosidad en mezclas de sustratos de referencia (% de volumen)	96

Figura 35	Relación entre fracción sólida y porosidad en sustratos elaborado con fuentes regionales (% volumen). Cascarilla de arroz (CA); cachaza compostada (CC); carbonilla (CAR); limo (L)/arena (A)	101
Figura 36	Variables morfológicas de respuesta agronómica de portainjertos sobre sustrato elaborado con fuentes regionales	104
Figura 37	Preparación del portainjerto y cosecha de varetas	113
Figura 38	Preparación del portainjerto y cosecha de varetas	114
Figura 39	Injertación en “T” invertida	115
Figura 40	Injertación en parche	116
Figura 41	Crecimiento y desarrollo de la yema después de injertación	117
Figura 42	Crecimiento de lima ácida Tahití, injertada sobre los portainjertos limón Volkameriana y Citrumelo CPB 4475	118
Figura 43	Crecimiento de naranja Frost Valencia injertada sobre los portainjertos limón Volkameriana y Citrumelo CPB 4475	118
Figura 44	Daños producidos por ácaros Tetranychidae en plantas de cítricos bajo ambientes protegidos	126
Figura 45	Daño causado por mosca blanca en plantas de cítricos en condiciones de ambientes protegidos	128
Figura 46	Insectos escamas registrados en viveros protegidos	129
Figura 47	Daños por áfidos en plantas de cítricos	130
Figura 48	Daños en plantas de cítricos producidos por <i>P. citrella</i> en condiciones de invernadero	131
Figura 49	<i>Diaphorina citri</i>	132

Figura 50	Inspección visual activa con un optivisor para el monitoreo de plagas en ambientes protegidos de cítricos	135
Figura 51	Instalación de trampas amarillas en viveros protegidos	136
Figura 52	Gráfico de fluctuación poblacional de adultos de mosca blanca y ácaro rojo construido a partir de monitoreos de frecuencia de aparición (10 hojas/planta) en invernaderos de cítricos de AGROSAVIA, C. I. Palmira, durante el periodo de febrero a septiembre del 2017	138
Figura 53	Síntomas causados por CTV en limas ácidas en campo	156
Figura 54	Síntomas de CTV en hojas de limas ácidas	157
Figura 55	Diagnóstico biológico de CTV en limón pajarito	159
Figura 56	Resultado del diagnóstico de CTV por Das-Elisa en plantas de cítricos	160
Figura 57	Diagnóstico molecular de CTV por RT-PCR	161
Figura 58	Diagnóstico de CTV por qRT-PCR	162
Figura 59	Síntomas asociados con exocortis en cítricos	163
Figura 60	Síntomas de exocortis en cidro etrog clon Arizona 861-S1	164
Figura 61	Diagnóstico molecular de CEVd por RT-PCR	165
Figura 62	Síntomas de HLB en hoja de limón pajarito	167
Figura 63	Diagnóstico molecular de HLB por PCR	168
Figura 64	Síntomas ocasionados por <i>Alternaria</i> sp. en el portainjerto Sunki × English	172
Figura 65	Morfología microscópica a partir de cultivo de <i>Alternaria</i> spp., 40X	173
Figura 66	Síntoma asociado a gomosis en naranja Valle Washington injertada sobre CPB 4475	176

Figura 67	Plantas de cítricos dispuestas sobre estibas de concreto elevadas a 15 cm del suelo	178
Figura 68	Casa de malla de cítricos	179
Figura 69	Tipo de daño ocasionado por fumagina en cítricos	180
Figura 70	Hojas de cítricos con diferente grado de infección de fumagina.	181
Figura 71	Control de fumagina en cítricos	182
Figura 72	Arvenses más frecuentes al interior de casas de malla de cítricos en el Valle del Cauca.	197
Figura 73	La ortiga como hospedera de ninfas y adultos de mosca	198
Figura 74	Desarrollo de arvenses en bolsas con sustratos	200
Figura 75	Crecimiento de musgo sobre estibas de concreto	201
Figura 76	Control manual de arvenses en vivero de cítricos en casa de malla	202
Figura 77	Uso de grava para el control de arvenses en vivero de cítricos bajo ambiente protegido	203
Figura 78	Control de arvenses con cobertura plástica en vivero de cítricos bajo ambiente protegido.	204
Figura 79	Control químico de arvenses al interior de la casa de malla	208
Figura 80	Control químico de arvenses en el área perimetral externa de la casa de malla	208



Lista de tablas

Tabla 1	Características de frutos y semillas de algunos portainjertos producidos en AGROSAVIA, C. I. Palmira	57
Tabla 2	Porcentajes de poliembrionía de patrones producidos a nivel comercial en Colombia	58
Tabla 3	Formato de registro de semillas germinadas en ensayos en laboratorio	69
Tabla 4	Formato para registro de germinación en casa de malla	71
Tabla 5	Vigor germinativo, energía germinativa y germinación media diaria de las semillas de cinco lotes de Citrange Carrizo	73
Tabla 6	Materiales residuales y subproductos utilizados como sustratos para producción en vivero	89
Tabla 7	Propiedades y características deseables de componentes utilizados para sustratos de cultivos	90
Tabla 8	Propiedades y características de componentes comúnmente utilizados para sustratos de cultivos.	91
Tabla 9	Periodos estimados de modificación de propiedades en la zona de raíces según medio de cultivo	94
Tabla 10	Niveles óptimos de propiedades físicas y químicas de un sustrato	95
Tabla 11	Características físicas y químicas de fuentes utilizadas para elaboración de sustrato regional	100
Tabla 12	Propiedades físicas y químicas de sustrato elaborado con fuentes regionales para la producción de plántulas en ambientes protegidos	102
Tabla 13	Materiales y costos de producción de sustrato para producción de portainjerto. Valoración para 1.000 bolsas	105

Tabla 14	Controladores biológicos (artrópodos y entomopatógenos) potenciales para el control de algunas plagas de cítricos en invernadero	142
Tabla 15	Ingredientes activos de agroquímicos utilizados con frecuencia en invernaderos de cítricos C. I. Palmira (AGROSAVIA) para el manejo de insectos y ácaros plaga	144
Tabla 16	Comportamiento de portainjertos usados en Colombia frente a las enfermedades causadas por hongos, virus y viroides	170
Tabla 17	Especies de arvenses frecuentes en viveros de cítricos en el departamento del Valle del Cauca, bajo ambiente protegido de casa de malla	198
Tabla 18	Clasificación general de los herbicidas según sus principales características	205
Tabla 19	Herbicidas recomendados para el uso al interior de las casas de malla	207





Los autores

Mauricio Fernando Martínez

mmartinez@agrosavia.co

Orcid: 0000-0002-8145-1764

Ingeniero agrónomo y M. Sc. en Ciencias Biológicas, línea de investigación en Biotecnología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. En la actualidad, se desempeña como investigador máster en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, donde ha trabajado en las áreas de producción e investigación en especies frutícolas como cítricos, aguacate y pitaya amarilla. Su trabajo está orientado a la generación de bases tecnológicas para el aseguramiento de la calidad genética, fisiológica y fitosanitaria del material de propagación en estos frutales, donde se articulan las áreas de biotecnología en caracterización de recursos fitogénéticos y la estandarización de técnicas de diagnóstico para algunas enfermedades con la producción del material vegetal en condiciones de vivero, casas de malla e invernaderos. Ha participado en proyectos de investigación en el área de mejoramiento genético de cítricos y aguacate, tanto en copas como patrones, para aumentar la oferta varietal en Colombia.

Nubia Murcia Riaño

nmurcia@agrosavia.co

Orcid: 0000-0002-5679-3885

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Diplomado de estudios avanzados en producción vegetal y doctorado en Producción vegetal y ecosistemas agroforestales por la Universidad Politécnica de Valencia, España. Se ha desempeñado en investigación en fitopatología y en la coordinación de proyectos de investigación en manejo integrado de enfermedades en los sistemas productivos de cítricos y aguacate. Tiene experiencia en técnicas de diagnóstico biológico y

molecular de patógenos de plantas con énfasis en virus, viroides y hongos. En la actualidad, se desempeña como investigadora PhD adscrita a la red de frutales en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira.

Juliene Andrea Barreto Rojas

jbarreto@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-3308-2244

Ingeniera agrónoma. Estudiante de maestría en Ciencias Agropecuarias con énfasis en Fitomejoramiento en la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación en frutales y en proyectos asociados a la producción de semillas de calidad de variedades regionales para pequeños productores. Actualmente, es profesional de apoyo adscrito a la Red de Frutales, del Centro de Investigación Palmira, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Gustavo Acosta Herrera

gacosta@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-3347-7799

Agrónomo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Ha trabajado en proyectos de investigación de los sistemas productivos de especies cítricas y aguacate en la línea de producción de material vegetal bajo condiciones protegidas de casas malla y sanidad vegetal. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, adscrito a la Red Frutales.

Alejandro Jaramillo Laverde

ajaramillolv@agrosavia.co

Orcid: 0000-0002-7950-1304

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, línea de investigación en protección de cultivos; especialista en Estadística Aplicada de la Universidad del Valle. En la actualidad, se desempeña

como investigador máster de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), adscrito a la Red Frutales del Centro de Investigación Palmira, donde participa en proyectos de identificación y evaluación de métodos de manejo de enfermedades limitantes en cultivos de guayaba y aguacate, y en el Plan Nacional de Semillas, mediante el establecimiento de esquemas de producción de semilla limpia de plátano.

Diana Lucía Correa-Moreno

dlcorrea@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-1655-6102

Ingeniera agrónoma. Magíster y doctora en Ciencias Agrarias, línea de investigación manejo de suelos y aguas de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con experiencia en proyectos de investigación y extensión en degradación de suelos, desertificación, cambio climático, cuencas hidrográficas, manejo y conservación de suelos y aguas, evaluación de tierras e indicadores de calidad del suelo. En la actualidad, se desempeña en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) como investigadora en proyectos de manejo agronómico y zonificación de cultivos (guayaba, aguacate, mora y cítricos), evaluación de especies forestales y servicios ecosistémicos asociados, y adaptación a la variabilidad y cambio climático. Es miembro de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS) y de la Unión Internacional de la Ciencia del Suelo (IUSS).

Yeison David López Galé

ylopezg@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-2450-0627

Biólogo de la universidad de Sucre. Estudiante de la maestría en Ciencias Agrarias en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Ha trabajado en proyectos de investigación de los sistemas productivos de aguacate y especies cítricas en la línea de protección y sanidad vegetal. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, adscrito a la Red Frutales.

Diana Milena Rodríguez Mora

dmrodriguez@agrosavia.co

Orcid: 0000-0001-6545-3746

Ingeniera agrónoma con Maestría en Ciencias Agrarias, línea de investigación en Protección de Cultivos con énfasis en Fitopatología. Ha trabajado en proyectos de investigación en los sistemas productivos de cítricos y aguacate. Cuenta con experiencia en el desarrollo de metodologías de diagnóstico de virus, viroides, hongos y oomicetos con métodos tradicionales y moleculares, e implementación de marcadores moleculares para determinar diversidad genética de plantas y fitopatógenos. Actualmente, es investigadora máster adscrita a la Red de Frutales, Centro de Investigación Palmira, de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Demian Takumasa Kondo

tkondo@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-3192-329X

Ingeniero agrónomo y magíster en Ciencias de la Universidad de Agricultura de Tokio. Participó en el Curso de Intercambio en el Departamento de Entomología de la Michigan State University, Michigan, EE. UU.; Ph. D. del Departamento de Entomología y Fitopatología, Auburn University, Alabama, EE. UU.; posdoctorado en el Departamento de Entomología, University of California, Davis. Es editor en jefe de la *Revista Colombiana de Entomología*, y la *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (2016-2021); editor temático en el área de taxonomía y sistemática de las revistas *Neotropical Entomology*, *Revista Brasileira de Entomología*, *Zookeys*, y miembro del consejo editorial de las revistas *International Journal of Insect Science* (2008-2019), *Entomologia Experimentalis et Applicata* y *Fronteras de la Ciencia*. Actualmente, se desempeña como investigador senior en Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), y está radicado en el Centro de Investigación Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Lizeth Paola Palacios Joya

lpalaciosj@agrosavia.co

Orcid: 0000-0003-2201-1432

Microbióloga industrial de la Universidad de Santander; magíster en Ciencias Agrarias con línea de investigación en Protección de Cultivos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cuenta con experiencia en investigación en el área de fitopatología de sistemas productivos de cítricos, aguacate y cacao. Posee habilidades y formación en el diagnóstico e identificación de patógenos de plantas con énfasis en hongos, oomycetes y virus. Ha trabajado en proyectos de desarrollo de modelos productivos sostenibles de aguacate y cítricos para el desarrollo de las regiones en Colombia. Además, cuenta con experiencia profesional en implementación y control de sistemas de calidad. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en la Red de Frutales, de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira.

Hover Beltrán López

hdbeltranl@unal.edu.co

Orcid: 0000-0002-6355-4831

Ingeniero agrónomo con maestría en Biotecnología Molecular y Celular de Plantas de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Participó en proyectos de investigación sobre modelos productivos en lima ácida Tahití, y se desempeñó como profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de Frutales, en el Centro de Investigación Palmira, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Cuenta con experiencia en manejo de proyectos de investigación en biotecnología y sanidad de plantas; además, tiene habilidades en biología molecular y técnicas en fisicoquímica, microbiología aplicada a procesos de seguridad alimentaria, detección de patógenos, mejoramiento de plantas y diversidad genética.



Agradecimientos

Los autores agradecen a la asistente de investigación Luz Marina Acosta, por su apoyo permanente en las actividades de laboratorio y el registro de información. Asimismo, agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), por la financiación de los proyectos de investigación que dieron origen a este manuscrito.





Introducción

En Colombia, la producción de material vegetal de cítricos se enfrenta a una baja disponibilidad de material de siembra sano y de buena calidad. Las prácticas locales de multiplicación de semilla, la presencia de viveros sin registro que venden material de cítricos y la ausencia de programas de multiplicación y certificación de semilla que cumplan con estándares de calidad han influido negativamente en la competitividad del sistema de producción de cítricos a nivel nacional e internacional (Ramírez et al., 2014). En relación con el aspecto fitosanitario, se presentan enfermedades transmitidas por injerto o vectores como la tristeza de los cítricos (*Citrus tristeza virus*, CTV), exocortis, leprosis (León & Kondo 2017; Mosquera et al., 2015; Murcia et al., 2010; Rodríguez et al., 2015) y, más recientemente, Huanglongbing (HLB); esta última enfermedad representa un alto riesgo para la citricultura, debido a la presencia del vector *Diaphorina citri* en 26 departamentos del país (Kondo et al., 2017) y la presencia de la enfermedad en seis departamentos de Colombia. Por esta razón, se reglamentó la producción de plantas de cítricos bajo ambiente protegido, soportados en la Resolución 12816 de 2019 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), donde se establecen los requisitos para el registro de los viveros o huertos básicos productores y comercializadores de semilla sexual y asexual (material de propagación) de cítricos.

Las técnicas para la producción de material vegetal de cítricos en ambientes protegidos en Colombia han sido poco documentadas y difundidas. Por esa razón, se planteó elaborar el presente documento para divulgación de conocimientos técnicos obtenidos a partir de las experiencias en investigación en el proceso de la

producción de material de siembra de cítricos en ambientes protegidos, que permita conocer en detalle los diferentes aspectos sobre la producción y manejo de plantas con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria orientada a la norma de certificación de cítricos: Resolución 12816 de 2019 del ICA.

En este documento se presentan recomendaciones técnicas para la producción de plantas de cítricos en ambiente protegido de casas de malla, cuyo objetivo es que sirva como material de consulta a los viveristas, asistentes técnicos, ingenieros agrónomos y productores que se encargan del proceso de producción de plantas de cítricos en viveros protegidos en las diferentes regiones del país, a la vez que se consideran los aspectos relevantes de la norma de certificación 12816 de agosto del 2019 del ICA, y como una estrategia de prevención contra el HLB. En este manual, se abordan resultados de investigación, con datos y ajustes de producción desarrollados y validados por más de diez años en los ambientes protegidos.

La estructura del documento se presenta considerando las prácticas que comúnmente se realizan para la producción de plantas de cítricos en ambiente protegido. Además, está dividido en siete capítulos, cada uno con el abordaje de una temática específica. En ellos, se detallan desde los aspectos que se deben considerar en la selección de la infraestructura, manejo y procesamiento de la semilla para la producción de los portainjertos, sustratos, multiplicación y desarrollo de materiales, hasta el manejo de plagas, enfermedades y arvenses que se presentan en estas condiciones y que sirven como base para generar planes de manejo de la producción en casa de malla, al ajustar las condiciones para los diferentes ambientes de las regiones donde se produce material vegetal de cítricos.

En el capítulo I se presentan las características generales de los invernaderos, como los tipos de estructura, la ubicación, el manejo de los ambientes y las condiciones de bioseguridad para mantener las plantas sanas y evitar riesgos de contaminación por patógenos.

En los capítulos II y III se describen los portainjertos de mayor uso en Colombia, las principales características de la semilla: poliembrionía, porcentajes de germinación, contenidos de humedad, así como los procesos de extracción, secado y almacenamiento que permite conservar las semillas en las mejores condiciones de sanidad y viabilidad para el proceso de germinación en condiciones de casa de malla. También se presentan las principales características de los sustratos para la producción de plantas, origen y fuentes utilizadas; características físicas, químicas, biológicas; el desarrollo de los portainjertos y su respuesta agronómica frente a los diferentes sustratos.

En el capítulo IV se describe el proceso de injertación, la respuesta de los cultivares sobre los diferentes portainjertos, la prácticas de deschupone y descope, y el manejo de riego y nutrición. En los capítulos V, VI y VII se indican las plagas, enfermedades y arvenses más frecuentes en casa de malla, principalmente orientado hacia los principales vectores de las enfermedades priorizadas en la norma de certificación, como el HLB, CTV y exocortis. En cuanto a las plagas, se hace énfasis en el reconocimiento, monitoreo y acciones preventivas de manejo cultural, biológico y químico. Además, se presentan las características de las principales enfermedades causadas por virus, hongos y bacterias como HLB de los cítricos; los principales síntomas; las técnicas de diagnóstico y manejo mediante prácticas preventivas primordialmente; las arvenses más comunes en casa de malla; el control preventivo, y las prácticas de manejo.

Referencias

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). Resolución 12816 de agosto de 2019, “Por medio de la cual se establece los requisitos para el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional”.
- Kondo, T., García-Córdoba, C. Y., Sotelo-Cardona, P. A., & Ramos-Villafañe, Y. P. (2017). Capítulo VI. *Diaphorina citri* Kuwayama, hospedante de *Tamarixia radiata* (Waterston). En T. Kondo (Ed.), *Protocolo de cría y liberación de Tamarixia radiata Waterston (Hymenoptera: Eulophidae)* (pp. 67-78). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- León, M., & Kondo, T. (2017). *Insectos y ácaros de los cítricos. Compendio ilustrado de especies dañinas y benéficas, con técnicas para el manejo integrado de plagas* (2.ª edición). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Mosquera, V., Martínez, M., Cuellar, W., Vaca-Vaca, J., Lozano, I., & Murcia, N. (2015). Detection of viroids and Citrus tristeza virus (CTV) in Tahití lime *Citrus latifolia* (Tanaka) through application of RT-PCR. *Memorias xxxIII Congreso Colombiano de Fitopatología y Ciencias Afines*, 39(1), 59.
- Murcia, N., Bernad, L., Caicedo, A., & Durán-Vila, N. (2010). Citrus viroids in Colombia. *Proceedings of the 17th Conference of the IOCV* (pp. 158-166). IOCV.
- Ramírez Rojas, J., Ordóñez Morales, P. J., Narváez Toro, E., Pinzón González, S. C., Martínez, M. F., Murcia Riaño, N., & Salazar Erazo, S. M. (2014). *Principales características y tendencias del mercado de cítricos en Colombia*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13136>
- Rodríguez, D., Martínez, M., Murcia, N., & Mosquera, V. (2015). Estandarización de la técnica Northern-blot para detección de CEVd de cítricos en Colombia. *Memorias xxxIII Congreso Colombiano de Fitopatología y Ciencias Afines*, 39(1), 59.





Capítulo I

Características de los ambientes protegidos

Mauricio Fernando Martínez

El vivero es el conjunto de espacios e instalaciones acondicionados para la producción, venta y distribución de plantas de cítricos en las categorías genética, básica, registrada y certificada. Los viveros deben disponer de las instalaciones, maquinarias, equipos, herramientas, insumos y personal idóneo para lograr un funcionamiento adecuado, que asegure la producción de material de siembra en las categorías antes mencionadas, con los más altos estándares de calidad.

En Colombia, la producción de plantas de cítricos se debe realizar en viveros registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), mediante la Resolución 12816 de agosto de 2019. En esta Resolución, el artículo 4 del capítulo I establece que toda la producción de cítricos debe estar protegida por una casa de malla antiáfidos, y en su anexo 1 se establecen algunas consideraciones técnicas para el diseño de las casas de malla o ambientes protegidos.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura protegida es un sistema de producción agrícola que se realiza bajo estructura cerrada o semicerrada y con cubiertas de diferentes tipos de materiales, con el fin de generar condiciones artificiales de microclimas que son necesarias para el desarrollo y producción de plantas de interés comercial (Villagrán, 2016). A nivel mundial, los cultivos de hortalizas y flores son los que más se desarrollan en ambientes protegidos. En los últimos años, en agricultura protegida se ha aumentado la producción de plántulas de hortalizas, frutales y forestales para trasplante a campo abierto (Juárez-López et al., 2011). A continuación, se presentan las estructuras más utilizadas en agricultura protegida:

- **Invernaderos.** Estructuras cubiertas con un material transparente, para crear condiciones climáticas favorables para el crecimiento, producción y propagación de plantas. Dependiendo de su diseño, los invernaderos permiten el control de variables ambientales como la temperatura, la luminosidad, los vientos y la humedad relativa de acuerdo con las condiciones requeridas por los cultivos.
- **Casas de malla.** Estructuras metálicas o de madera cubiertas con malla, que permiten generar condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo de plantas. A diferencia de los invernaderos, las casas de malla no permiten el control de todas las condiciones ambientales, pues dependerá del tipo de cubierta (plástico o malla) y de los aditamentos para mejorar las condiciones ambientales. Las mallas se utilizan principalmente como barreras físicas para el manejo de artrópodos plaga.
- **Umbráculos o casas de sombra.** Estructuras temporales de techo plano, que sostienen mallas o saranes para el sombreado de plantas sensibles al exceso de radiación y viento; eventualmente, también pueden proveer una barrera contra algunos insectos.
- **Túneles.** Estructuras móviles de bajo costo, de forma semicilíndrica, constituidos por una cubierta plástica soportada por apoyos de varios tipos y sin áreas definidas para caminar en el interior. Se utilizan principalmente en la producción de algunas hortalizas.

Para la construcción de los ambientes protegidos de casa de malla para la producción de plantas certificadas de cítricos es necesario considerar los siguientes componentes:

Selección y adecuación del terreno

El terreno para el vivero debe ser un área delimitada, propia o alquilada, y alejada por más de 100 metros de cultivos comerciales de cítricos o especies afines con similitud en plagas y enfermedades; además, debe ser de fácil acceso y con buen drenaje. El lote debe disponer de un plano de ubicación (coordenadas, límites, infraestructura o distribución), indicando las dimensiones en metros cuadrados.

Orientación

La orientación de la casa de malla es un factor importante para mejorar las condiciones ambientales al interior. Los criterios más importantes para definir la orientación de la casa de malla son la temperatura, que está ligada al movimiento del sol durante el día (Villagrán, 2016), y los vientos de las regiones donde se establecerán los viveros. En zonas frías, se recomienda que la orientación de las casas de malla se realice de norte a sur, para tener una mayor superficie de calentamiento, mientras que en zonas cálidas se recomienda una orientación de este a oeste para disminuir el calor, en especial en las horas de mayor radiación (Villagrán, 2016). Sin embargo, esta orientación tiene mayor contacto con los vientos dominantes (Berrones et al., 2013), por lo que se recomienda estructuras resistentes y con buen sistema de anclaje.

La adopción de estos sistemas protege los cultivos de insectos plaga y, por lo tanto, reduce el uso de plaguicidas, pero a su vez dificulta el proceso de ventilación que genera un incremento en la temperatura interna del invernadero (Kittas et al., 2002).

Estructura de soporte

La estructura de soporte puede construirse con materiales de fácil acceso en las zonas donde se establecen los viveros. Para ello, se recomienda el uso de materiales ligeros y resistentes, que sean de fácil conservación, económicos, y que permitan el uso de elementos combinados, como amarres, tornillos, plásticos, entre otros. Los materiales más utilizados son acero galvanizado estructural, aluminio, hierro y madera. La selección de los materiales está en función de los recursos disponibles.

Cubierta

La cubierta de las casas de malla debe construirse con un material transparente que permita el paso de la radiación para los procesos metabólicos de las plantas. Los materiales más utilizados son vidrio, policarbonatos, polietilenos flexibles o rígidos, y mallas antiáfidos con dimensiones entre $0,87 \times 0,30$ mm o de 40 o 50 mesh (esta unidad de medida indica que hay entre 40 y 50 perforaciones en una pulgada cuadrada de la malla).

Si para la cubierta de la casa de malla se seleccionan polietilenos, se recomienda que sean de calibres 6, 7 u 8, y que tengan aditivos que les confieran propiedades de antigoteo para reducir la tensión superficial de las gotas condensadas durante la noche; de este modo, se podrá evitar el efecto de rocío al interior de las casas de malla. También se recomienda utilizar filtros de radiación ultravioleta (uv), con longitud de onda entre 360 y 380 nanómetros, que alteran el comportamiento de los insectos plaga y transmisores de virus, por lo que son conocidos como plásticos antivector o antiviral (Andrade-Piedra et al., 2015). También se utilizan aditivos antipolvo, que tienen una película de baja carga eléctrica, lo que reduce la atracción de polvo y mejora las entradas de luz al interior de la casa de malla (figura 1).



Foto: Nubia Murcia
y Mauricio Fernando Martínez.

Figura 1. Vista frontal de casa de malla para la producción de cítricos. a. Casa de malla para bloques de multiplicación; b. Casa de malla para conservación de semilla genética.

Ventajas de la producción de material de siembra de cítricos en ambientes protegidos

La producción de plantas de cítricos en ambientes protegidos en casa de malla antipulgón permite disponer de plantas de mejor calidad, con los siguientes beneficios:

- Presenta una barrera física contra el ingreso de artrópodos plaga limitantes para la producción de cítricos, principalmente de aquellos vectores de enfermedades como *Diaphorina citri* y pulgones.
- Permite un control sobre factores climáticos, porque se puede regular la temperatura para calentar o enfriar el ambiente, la intensidad de la luz, el enriquecimiento de CO₂ y la disponibilidad hídrica.
- Genera una optimización en el uso del recurso hídrico mediante la instalación de sistema de riego localizados de alta frecuencia y de fertilizantes, lo que redunda en un beneficio económico. Además, se pueden implementar sistemas de fertirriego.
- Produce plantas con alta calidad fitosanitaria al implementar protocolos de manejo fitosanitario basado en los esquemas de prevención, evasión, monitoreo y supresión.
- Favorece un mejor control de arvenses, disminuyendo el uso de herbicidas.
- Disminuye los tiempos de entrada en producción de plantas injertadas de cítricos.
- Posibilita una mejor planificación de las actividades en la producción de plantas en los viveros.
- Permite tener mano de obra permanente y especializada en algunas labores como injertación y monitoreo de plagas.
- Logra una disminución de los costos por unidad de área, pues aumenta la eficiencia de las labores, disminuye el número de aplicaciones de insumos e incrementa la eficiencia de uso de los insumos agrícolas por disminución de la deriva.
- Propicia la implementación de un sistema de trazabilidad para identificar cada planta desde el origen de la semilla hasta la yema que da origen a la planta en categoría certificada. Asimismo, en caso de algún inconveniente, se pueden identificar los puntos de falla.
- Facilita la implementación de normas y recomendaciones técnicas aplicadas en las diferentes etapas de producción, para ofrecer a los productores plantas sanas con alta calidad, considerando un mínimo impacto ambiental y respetando el bienestar de los trabajadores de campo.

Desventajas de la producción de material de siembra de cítricos en ambientes protegidos

La producción de plantas de cítricos en ambientes protegidos puede tener ciertas desventajas, como las siguientes:

- La inversión inicial de infraestructura de casas de malla puede ser alta.
- Mientras se afina el sistema de producción de plantas en este modelo de producción, se puede incurrir en sobrecostos.
- Para el manejo de las plantas certificadas, se requiere personal especializado, por lo que se debe invertir en capacitación.
- Es preciso conocer cada una de las etapas de producción de plantas para establecer los protocolos de producción.

Aspectos de bioseguridad para el manejo de plantas de cítricos en casas de malla antipulgón

Para disminuir los riesgos de contaminación de plagas y enfermedades en las plantas certificadas de cítricos dentro de las casas de malla, se sugiere tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Empleo de pediluvio para el lavado de botas o uso de polainas.
- Disposición amonio cuaternario o de la molécula autorizada por el ente regulatorio para la desinfección de calzado al ingreso de casas de malla.
- Desinfección constante de las herramientas y del vestuario.
- Utilización herramientas exclusivas para cada casa de malla o bloque de producción.
- Lavado regular de la malla antipulgón, pero se debe evitar el empleo de productos abrasivos que puedan deteriorarla.
- Restricción de entrada en el vivero a personal que en el mismo día haya trabajado o visitado fincas o lotes de cítricos.
- Uso de ropa y calzado exclusivo para trabajo en cada casa de malla o bloque de producción, así como uso de polainas para el caso de los visitantes.
- Control de arvenses alrededor del área perimetral de la casa de malla.
- Prohibición del ingreso a personal no autorizado.
- Establecimiento de un protocolo de monitoreo de plagas de interés en las casas de malla.
- Establecimiento de un protocolo del manejo para posibles rupturas de la malla antipulgón.

Certificación del material de siembra de cítricos

La certificación del material de siembra de cítricos es una estrategia de sostenibilidad a largo plazo, diseñada para prevenir en la citricultura la diseminación de enfermedades catastróficas a partir de la producción de plantas sanas. Esta estrategia integra normas y regulaciones técnicas de carácter oficial con técnicas de control y procedimientos de campo y laboratorio durante la producción de las plantas. Los viveristas deben cumplir todos los requisitos establecidos en la Resolución 12816 de 2019 para “el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional” (ICA, 2019).

Por lo tanto, se debe asegurar con certeza la identidad varietal de las copas y de los portainjertos, realizar diagnósticos fitosanitarios de las plagas y las enfermedades, y establecer diferentes prácticas de manejo de acuerdo con las etapas de desarrollo, que aseguren la obtención de plantas con alta calidad hortícola. Esto se convierte en una garantía para los productores, debido a que les permite establecer sus huertos con plantas sanas y de buen desarrollo desde el vivero, así como mejorar la sanidad del cultivo y prolongar la vida útil de los árboles, con aumentos en la producción, que en el largo plazo aumenta la productividad, y en la consecuente rentabilidad del negocio.

El concepto de calidad hortícola en la producción debe incluir los siguientes aspectos:

- **Calidad genética.** Se refiere a la autenticidad varietal tanto del portainjerto como de la copa o cultivar. En esta categoría es recomendable el uso de portainjertos y cultivares evaluados en el país, para disponer de información sobre la adaptación y el comportamiento productivo.
- **Calidad sanitaria.** Hace referencia a que las plantas de vivero deben estar libres de plagas y enfermedades que limiten su desarrollo o potencial productivo; en esta categoría se incluyen ácaros, bacterias, hongos, insectos, nematodos, virus, viroides y cualquier otro organismo que pueda afectar el desarrollo de las plantas.
- **Calidad agronómica (física y fisiológica).** Incluye diferentes parámetros relacionados con el desarrollo y vigor de las plantas, como la altura de injertación, la afinidad entre la copa y portainjerto, el tipo de injerto utilizado, el crecimiento del injerto, la poda de formación en fase de vivero, el tutorado, el desarrollo radical de portainjerto y el estado nutricional, entre otros aspectos que indiquen una planta con buen porte y desarrollo.

La calidad sanitaria asegura un control efectivo para los patógenos transmisibles por injerto que no tienen vectores como los viroides de la exocortis (CEVd, por el acrónimo del inglés *Citrus exocortis viroid*) y caquexia de los cítricos (HSVd, por el acrónimo del inglés *Hop stunt viroid*); asimismo, reduce el riesgo con los patógenos que tienen como vectores insectos, ácaros u otro medio de diseminación, como el virus de la tristeza de los cítricos (CTV por el acrónimo del inglés *Citrus tristeza virus*) y bacterias *Candidatus Liberibacter spp.*, causante del Huanglongbing (HLB) de los cítricos, entre otros.

Para que esta estrategia sea efectiva, los productores deben comprar siempre plantas de cítricos en viveros que produzcan plantas certificadas y que cumplan con todos los requisitos de ley establecidos en la Resolución 12816 del 2019 del ICA. Diferentes autores han determinado que uno de los principales medios de dispersión del HLB es la distribución de material infectado desde vivero, cuando no se utilizan modelos de producción de plantas certificadas (Akarapisan et al., 2016; Gottwald, 2010).

Componentes de un programa de certificación de material de siembra de cítricos

La implementación de un programa de certificación de material de siembra de cítricos comprende una serie de aspectos como los siguientes:

- Saneamiento del material de propagación que se produce en el país y de los materiales introducidos seleccionados para su propagación.
- Conservación de material genético que da origen a los bloques de semilla básica.
- Multiplicación ampliada de yemas del material básico por medio de los viveros propagadores y multiplicadores para cubrir la demanda de los viveros comerciales.
- Verificación de la sanidad, mediante un sistema de inspecciones apoyado en pruebas de diagnóstico biológico, serológico y molecular para asegurar que las plantas están sanas.
- Implementación de la producción de plantas certificadas a partir de los bloques de multiplicación.

Para la producción de plantas certificadas, el ICA en el 2019, publicó la mencionada Resolución 12816 de 2019, para el registro de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y material vegetal de propagación de cítricos, que también incluye los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de plantas de cítricos certificadas en el país (figura 2).



Figura 2. Ruta técnica del programa de certificación de cítricos en Colombia

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Akarapisan, A., Kuenpech, W., & Srimai, K. (2016). Huanglongbing (HLB) incidence on 2-3 years old Tangerine trees (*Citrus reticulata*) grown from disease-free nursery stock. *International Journal of Agricultural Technology*, 12(1), 1-9.
- Andrade-Piedra, J., Kromann, P., & Otazú, V. (2015). *Manual para la Producción de Semilla de Papa usando Aeroponía: Diez años de Experiencias en Colombia, Ecuador y Perú*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Berrones, M., Garza, E., Vásquez, E., & Méndez, R. (2013). *Casa-malla, tecnología para la producción de hortalizas en el Sur de Tamaulipas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (Inifap).
- Gottwald, T. (2010). Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. *Annual Review Phytopathology*, 48, 119-139. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114418>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). Resolución 0012816 de agosto de 2019 “Por medio de la cual se establece los requisitos para el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional”.
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Castro-Brindis, R., Sánchez-Monteón, A., Cruz-Crespo, E., Juárez Rosete, C., Alejo-Santiago, G., & Balois-Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8), 21-27. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/4.pdf>
- Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., & Mermier, M. (2002). Influence of an insect screen on greenhouse ventilation. *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1083. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.9940>
- Villagrán, E. (2016). *Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56572/1072644298.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>





Capítulo II

Manejo de semillas para la producción de portainjertos de cítricos

Julienne Barreto

Hover Beltrán

Alejandro Jaramillo

Nubia Murcia

Mauricio Fernando Martínez

Las semillas son consideradas como el punto de partida para el establecimiento de un sistema productivo. Disponer de semilla de calidad es la base del éxito de una inversión a largo plazo, ya que esta propiedad de las semillas hace parte de un grupo de características deseables que tienen un fuerte impacto sobre las fases de desarrollo, establecimiento y producción del cultivo (Doria, 2010).

Al iniciar un proceso productivo, es necesario garantizar que los frutos utilizados para la extracción de semillas tengan su origen de árboles productivos y bien formados que se encuentren establecidos específicamente para este propósito, con condiciones óptimas de sanidad, con el fin de minimizar el riesgo de la transmisión de enfermedades limitantes para el desarrollo de las plantas.

La multiplicación de plantas de cítricos se realiza mediante la injertación, proceso que consiste en la unión de dos partes conformadas por el portainjerto, que aporta el sistema radical, y una parte del tallo, sobre el cual se injerta la yema que forma la copa o parte aérea que se desarrolla y produce los frutos de interés comercial. Emplear un portainjerto permite acortar el periodo del árbol para entrar en producción, mejorar los rendimientos y la calidad de los frutos, favorecer el desarrollo de materiales que se adapten a diversos suelos y a las condiciones agroclimáticas, y brindar resistencia a las principales enfermedades sistémicas (Gallego et al., 2017).

Una práctica importante para garantizar la sanidad de las semillas es el descarte de aquella fruta que se encuentre en el suelo, así como de aquellas otras localizadas en el área del dosel. Esta recomendación evita la posible contaminación por *Phytophthora* spp. y otros patógenos que comprometen el almacenamiento de semillas y el desarrollo de portainjertos (Neto et al., 2016).

Descripción de los portainjertos de mayor uso en Colombia

Los portainjertos de cítricos (Rutaceae) se dividen en tres grandes grupos de acuerdo con su origen y clasificación taxonómica: *Citrus*, *Poncirus* e híbridos intergénicos.

Género *Citrus*

En el género *Citrus* se encuentra el limón Volkameriana (*Citrus volkameriana* Ten. y Pasq.), un portainjerto tolerante a enfermedades causadas por virus y viroides como el virus de la tristeza de los cítricos (CTV), exocortis (CEVd), psorosis (complejo viral) y las causadas por oomicetos como la gomosis de los cítricos (*Phytophthora* sp.).

Se cree que el *C. volkameriana* es un híbrido de limonero (*C. reticulata*) con naranjo agrio de origen italiano (*C. medica*) (Villalba, 2000), muy vigoroso, con resistencia media a salinidad y asfixia radicular. Aunque induce copas productivas, el número es menor en relación con otros patrones (Abdallah et al., 2021) y se caracteriza por tener un porte alto (figura 3a).

Este portainjerto es el más usado en Colombia para la producción de la lima ácida Tahití, debido a su rápida entrada en producción; sin embargo, le proporciona un color verde pálido a la fruta que limita su demanda para el mercado de exportación, en el que se prefiere la corteza con una tonalidad verde intensa (figura 3d-f).



Foto: Mauricio Martínez y Hover Beltrán

Figura 3. Detalle de la morfología de *Citrus volkameriana*. a. Porte del árbol; b. Hojas de *C. volkameriana*; c. Detalle de la flor; d. Fruto *in situ*; e. Detalle del tamaño del fruto; e. Fruto *in situ*; f. Detalle del fruto.

Género *Poncirus*

Dentro del género *Poncirus* se encuentran árboles que presentan hojas trifoliadas e inducen porte medio y bajo a las copas injertadas en ellos. Generalmente, inician producción en épocas tempranas, disminuyendo los tiempos de floración a cosecha. Se ha reportado tolerancia a CTV, psorosis y gomosis, y susceptibilidad a exocortis. De este género, los portainjertos de mayor uso en la citricultura son Flying Dragon (*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa*), que induce árboles de porte bajo, y Kryder 15-3 (*Poncirus trifoliata* (L.), que induce árboles de porte medio.

- **Flying Dragon, *Poncirus trifoliata* var. *monstrosa*.** Portainjerto trifoliado que induce porte bajo o enanismo en las copas injertadas (figura 4). Se utiliza comúnmente en países con huertos establecidos en altas densidades de siembra. En Colombia, se ha evaluado su comportamiento sobre naranjas Sweet Orange y Salustiana, en mandarinas Arrayana, Clementina y tangelo Minneola, con porte bajo y alta eficiencia productiva (Vásquez Amariles, 2013). La multiplicación en vivero de este portainjerto requiere un periodo aproximado de seis a ocho meses desde el trasplante hasta la injertación.
- **Kryder 15-3.** Selección de la naranja trifoliada (*P. trifoliata* (L.) Raf.). Esta selección de portainjerto induce porte medio en las copas de las variedades injertadas, tolerante al CTV, caquexia, psorosis y *Phytophthora* sp. Algunos estudios indican que mejora la calidad de la fruta en otras especies de cítricos como la lima ácida Tahití (Murcia et al., 2020).



Foto: Mauricio Martínez y Hover Beltrán

Figura 4. Detalle de la morfología de *Poncirus trifoliata*. a. Porte del árbol; b. Hojas de Flying Dragon; c. Fruto *in situ*; e. Detalle del tamaño del fruto; f. Detalle del fruto.

Grupo de híbridos intergenéricos

Los híbridos intergenéricos son patrones de porte medio y normal, con tolerancia a la mayoría de las enfermedades causadas por virus, a excepción de la exocortis producida por el viroide CEVd. En este grupo se encuentran el Citrumelo CPB 4475 (*Citrus paradisi* Macf. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf), los Citranges Carrizo (*Citrus sinensis* ‘Washington’ sweet orange × *Poncirus trifoliata*), Troyer (*Citrus sinensis* ‘Washington’ sweet orange × *Poncirus trifoliata*), y las citrandarinas, Sunki × English (*Citrus sunki* Hort. ex Tan. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) (Universidad de California Riverside [UCR], 2018).

- **Citranges.** Híbridos del cruce de naranja Washington sweet orange (*Citrus sinensis*) × naranja trifoliada (*Poncirus trifoliata*) (UCR, 2018). Los más conocidos en la actualidad son Carrizo (× *Citroncirus* sp.) (figura 5) y Troyer (× *Citroncirus* sp.) (figura 6). En general, las variedades injertadas sobre estos son vigorosas, de rápido desarrollo y tamaño uniforme; además, mejoran el tamaño y acidez del fruto. Son de porte medio y susceptibles a presentar deficiencia de zinc debido a la distribución de su sistema radical (característico de los patrones que provienen de la naranja trifoliada).

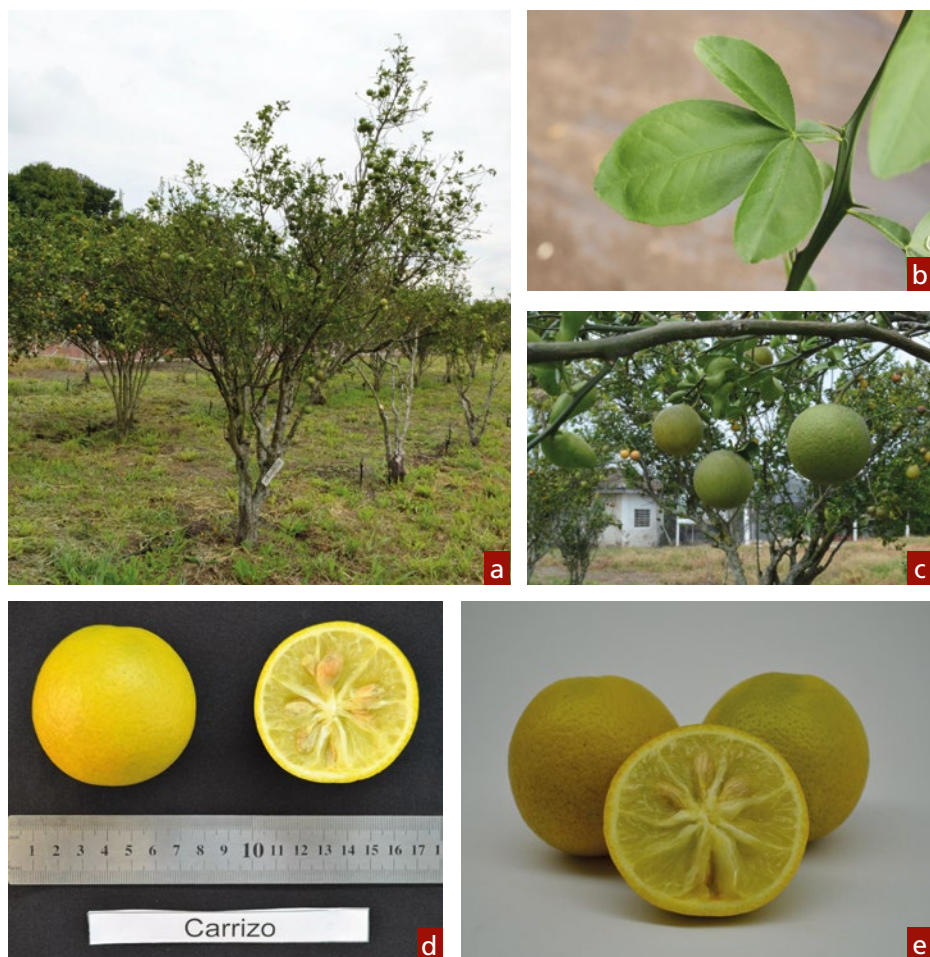


Foto: Mauricio Martínez y Hover Beltrán

Figura 5. Detalle de la morfología de Carrizo × *Citroncirus* sp. a. Porte del árbol; b. Hojas del cultivar Carrizo; c. Fruto *in situ*; d. Detalle del tamaño del fruto; e. Detalle del fruto.



Foto: Mauricio Martínez y Hover Beltrán

Figura 6. Detalle de la morfología de Troyer $\times$ *Citroncirus* sp. a. Porte del árbol; b. Hojas del cultivar Troyer; c. Detalle de la flor; d. Fruto *in situ*; e. Detalle del tamaño del fruto; f. Detalle del fruto.

- **Citrumelos.** Híbridos del cruce de pomelo Hall grapefruit (*Citrus paradisi* Macfadyen) y Rubidoux trifoliolate (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.). El más representativo en el país es el $\times$ *Citroncirus* spp. (también conocido como CPB 4475) (figura 7a-c). Es tolerante a CTV, caquexia y *Armillaria*, y resistente a *Phytophthora* sp.; no obstante, es susceptible a exocortis y a suelos salinos. Se adapta bien a suelos con textura arenosa o limosa.



Foto: Mauricio Martínez y Hoyer Beltrán

Figura 7. Detalle de la morfología de CPB 4475 $\times$ *Citroncirus* spp. a. Porte del árbol; b. Hojas; c. Detalle del tamaño del fruto; d. Detalle del fruto.

- **Sunki $\times$ English (S $\times$ E).** Portainjerto que se utiliza comúnmente en Colombia para la multiplicación de naranjas, mandarinas y limas ácidas; tiene hojas trifoliadas e induce portes medios en estos materiales. Se originó por la hibridación entre la mandarina *C. sunki* Hort. ex Tan. y la naranja trifoliada *P. trifoliata* (L.) Raf. (Gallego et al., 2017). Las variedades lima ácida Tahití (*Citrus $\times$ latifolia*), naranja Valencia (*Citrus sinensis*) y tangelo Minneola (*C. reticulata*) presentan una alta eficiencia productiva (López & Cardona, 2007; Murcia et al., 2020). Actualmente, se evalúa su comportamiento en huertos a alta densidad de siembra (figura 8).



Foto: Mauricio Martínez y Hoyer Beltrán

Figura 8. Detalle de la morfología de Sunki x English. a. Porte del árbol; b. Hojas trifoliadas; c. Detalle de la flor; d. Fruto *in situ*; e. Detalle del tamaño del fruto; f. Detalle del fruto.

De acuerdo con el efecto de diferentes patrones, los portes de los árboles cítricos se clasifican en 1) porte alto: limón Volkameriana; 2) porte medio: Troyer, Carrizo, S x E, CPB 4475; y 3) porte bajo: Flying dragón, Kryder 15-3 (Arango et al., 2009; International Plant Genetic Resources Institute [IPGRI], 1999) (figura 9).

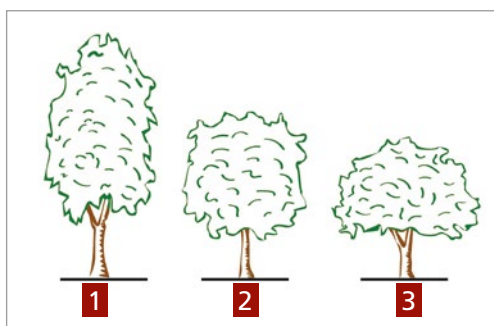


Figura 9. Diferentes hábitos de crecimiento de los patrones de cítricos. 1. Porte alto; 2. Porte medio; 3. Porte bajo.

Fuente: Elaboración propia

Características de las semillas de los portainjertos de cítricos

En general, las semillas de cítricos son ovales, anchas y redondeadas en uno de sus extremos (figura 10). La textura visual de la cubierta de la semilla varía entre arrugada y áspera o lisa y brillante; además, presentan tamaños y pesos variables, dependiendo del tipo de portainjerto (Khan et al., 2002).



Foto: Juliene Barreto

Figura 10. Tipo de semillas de los portainjertos de mayor uso en la multiplicación de plantas. a. Semillas de Citrange Carrizo; b. Semillas de Flying Dragon; c. Semillas de Sunki $\times$ English; d. Semillas de Citrange Troyer; e. Semillas de limón Volkameriana.

En la tabla 1 se presenta una caracterización de pesos y número de semillas promedio obtenidos en los frutos de los portainjertos producidos en AGROSAVIA, C. I. Palmira, y de mayor uso en la citricultura del país.

Tabla 1. Características de frutos y semillas de algunos portainjertos producidos en AGROSAVIA, C. I. Palmira

Portainjerto	Peso de frutos (g)	Número promedio de semillas por fruto	Semillas puras (%)	Semillas vanas (%)	Número de semillas / kg
Citrange Carrizo	89,7	16	62,5	37,5	3.500
Citrange Troyer	71,7	16	54,1	45,9	3.500
Flying Dragon	29,0	25	89,6	10,4	5.000
Citrumelo CPB 4475	127,5	15	72,9	27,1	5.500
Sunki × English	36,2	13	99,8	0,2	8.000
Limón Volkameriana	179,4	17	88,2	11,8	8.000

Fuente: Elaboración propia con base en Murcia et al. (2020)

Dentro de los frutos de un mismo patrón, existen diferentes tamaños de semillas; por esta razón, se recomienda seleccionar las semillas de mayor tamaño. Según Carvalho y Nakagawa (2000), las semillas de mayor tamaño obtienen una mejor nutrición durante su crecimiento y, por esta condición, tienen embriones mejor desarrollados y con mayor cantidad de sustancias de reserva.

Otra característica importante de las semillas de algunos cítricos es el desarrollo de más de un embrión dentro de un óvulo (figura 11) (Sánchez et al., 2006). Esta condición se considera uno de los aspectos más relevantes al momento de la selección del portainjerto, ya que, a mayor tasa de poliembrionía, aumenta la probabilidad de obtener plántulas uniformes y genéticamente idénticas a la planta madre, característica importante para la multiplicación comercial de cítricos (Soares et al., 2002).



Figura 11. Desarrollo de embriones en semillas de portainjertos de cítricos; a. Aspecto de los embriones. b. Semilla de Sunký × English con poliembrionía.

En la tabla 2 se presentan los porcentajes de poliembrionía de alguno de los patrones comercializados en el país; sin embargo, estos porcentajes puede variar con la edad de la planta, el estado nutricional, el desarrollo fisiológico, la ubicación de las ramas cosechadas, entre otros factores (Sánchez et al., 2006).

Tabla 2. Porcentajes de poliembrionía de patrones producidos a nivel comercial en Colombia

Portainjerto	Porcentaje de poliembrionía (%)
Limón Volkameriana	37,8
Mandarina Cleopatra	84,7
Citrumelo CPB 4475	39,5
Citrange Troyer	67,0

Fuente: Elaboración propia con base en Andrade-Rodríguez et al. (2003) y Sánchez et al. (2006)

Proceso de extracción, secado y almacenamiento de las semillas

La extracción de la semilla se debe realizar a partir de frutos que hayan alcanzado un completo desarrollo morfológico y fisiológico, porque estas condiciones garantizan que se obtenga una germinación uniforme del lote de semillas, con mejor desarrollo de las plántulas (figura 12).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 12. Frutos de portainjertos de cítricos en estado de madurez óptimo para la cosecha y obtención de semillas. a. Sunki $\times$ English; b. Citrumelo CPB 4475.

La extracción de semillas se debe hacer bajo condiciones de sombra, con alta disponibilidad de agua y con condiciones adecuadas de limpieza, que eviten cualquier contaminación cruzada que pueda afectar o inhibir la germinación. La extracción se puede realizar de forma manual o mecánica, teniendo en cuenta los recursos disponibles y la cantidad de semillas por extraer (Arango et al., 2010). Al momento de la extracción, no se deben mezclar los frutos de diferentes portainjertos.

Para la extracción manual, se recomienda realizar un corte circular y superficial por la sección ecuatorial de la fruta, teniendo la precaución de no generar daños a las semillas durante el corte. Las partes de la fruta se separan girándolas en sentido opuesto por medio de una torsión manual. La extracción se realiza aplicando presión en ambas partes de la fruta (figura 13).

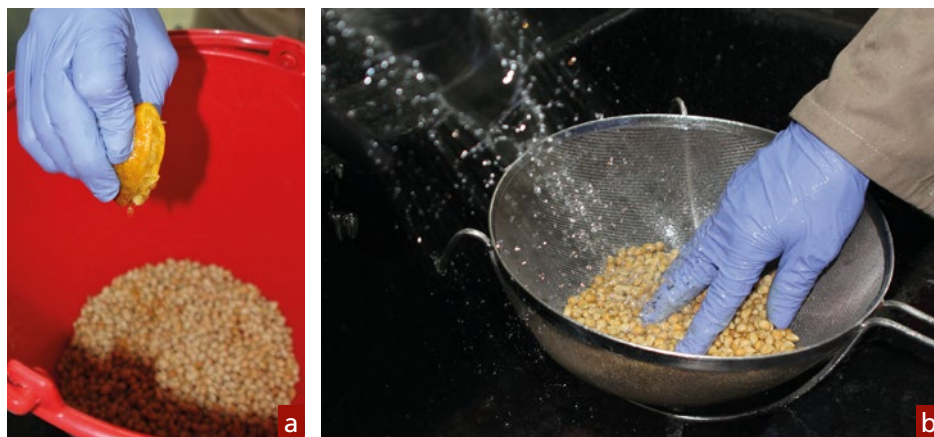


Fotos: Juliene Barreto

Figura 13. Proceso de extracción de semillas de patrones. a. Corte superficial en sección ecuatorial; b. Torsión manual; c. Apertura del fruto sin daño en las semillas.

La extracción mecánica se realiza con equipos que cortan y comprimen los frutos separando las semillas de la pulpa, sin producir daños. Es importante que durante todo el proceso se conserve la identificación de cada lote, para evitar una mezcla física de las semillas en caso de trabajar simultáneamente con diferentes portainjertos, lo cual no es recomendable.

Luego de la extracción, se debe remover completamente el mucilago mediante el lavado de las semillas con agua a presión (figura 14). Algunos autores recomiendan el lavado con enzimas pectolíticas o cal (Puerta, 2009).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 14. Extracción y lavado de semillas de cítricos. a. Extracción de semillas manual con presión; b. Lavado de semillas.

Con el fin de garantizar la uniformidad de las semillas y realizar el descarte de las semillas con malformaciones o vanas, se recomienda introducir el lote en una inmersión en agua, donde por diferencia de pesos las semillas completas y bien desarrolladas se depositarán en el fondo de recipiente, mientras que las semillas vanas e incompletas flotarán sobre la superficie; estas semillas se deben descartar (figura 15a). Después de eliminar las impurezas, se drena el agua y se continúa con el secado de las semillas (figura 15b).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 15. Descarte de semillas y tratamiento de semillas. a. Descarte de semillas vanas por flotación; b. Lote de semillas en proceso de secado.

El secado de las semillas se debe realizar bajo la sombra, con el fin de garantizar la calidad fisiológica de las semillas durante la emergencia y almacenamiento. Si se requiere almacenar el lote de semillas, se recomienda un tiempo de secado máximo de 48 horas. Si la siembra de las semillas es inmediata a la extracción, se recomienda secarla durante cuatro horas.

Para disponer de semillas durante todo el año, en estudios realizados por AGROSAVIA entre 2008 y 2017 con los portainjertos Citrange Carrizo, limón Volkameriana, Citrumelo CPB 4475, Mandarina Cleopatra y Sunky × English, se evaluaron diferentes tiempos de secado, tipos de empaque y condiciones de almacenamiento. Los resultados obtenidos sugieren que una temperatura de almacenamiento de 4 °C, bolsas de aluminio como empaque y un secado previo durante 48 horas son condiciones que garantizan porcentajes de emergencia superiores a 70 %; estos valores superan los mínimos definidos en la Resolución 3168 de 2015 del ICA, que especifica que, para patrones como el limón Volkameriana y la mandarina Cleopatra, se deben obtener porcentajes de germinación superiores al 60 %.

En la figura 16 se presenta el comportamiento germinativo de semillas del portainjerto Citrange Carrizo, al ser sometidas a diferentes tiempos de secado, entre 48 y 120 horas. Se observa que, a medida que el tiempo de secado aumenta, el contenido de humedad disminuye, condición que reduce la emergencia en un 32 %.

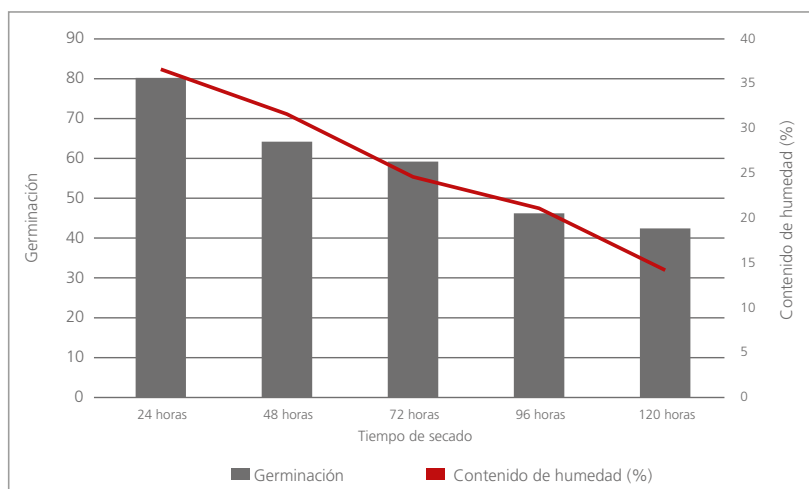


Figura 16. Efecto del tiempo de secado sobre el contenido de humedad y el porcentaje de germinación de semillas de portainjerto Citrange Carrizo, 2016.

Fuente: Resultados obtenidos en el proyecto “Bases tecnológicas para la certificación genética fisiológica y sanitaria de cítricos” (2016).

En la figura 17 se presentan los porcentajes de germinación obtenidos en las condiciones de almacenamiento descritas anteriormente para semillas del portainjerto Sunkyo × English, cuyos resultados indicaron que las semillas de este portainjerto se pueden almacenar durante 270 días (9 meses) y la germinación se mantiene por encima del 60 %.

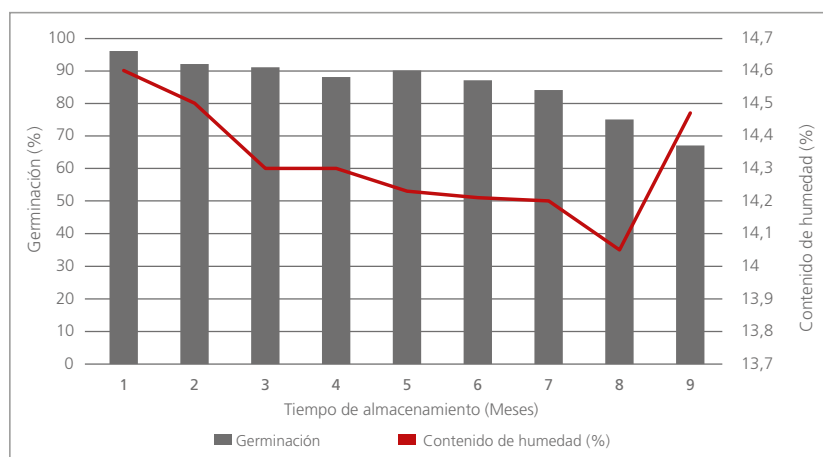


Figura 17. Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje de germinación y contenido de humedad de semillas de Sunkyo × English.

Fuente: Resultados obtenidos en el proyecto “Bases tecnológicas para la certificación genética fisiológica y sanitaria de cítricos” (2016).

Para proteger las semillas de microorganismos patógenos durante el almacenamiento y la emergencia (complejo *damping off*), se recomienda la aplicación de fungicidas protectantes (figura 18). Es importante indicar que los productos químicos utilizados en esta práctica deben estar registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).



Foto: Juliene Barreto

Figura 18. Semillas del portainjerto Sunkyo × English tratadas con fungicidas protectantes.

Durante el almacenamiento, es necesario que cada empaque este rotulado, con el tipo de portainjerto, la fecha de almacenamiento y demás información exigida en la Resolución 3168 de 2015 según la categoría registrada. Para el establecimiento de semilleros, se recomienda realizar pruebas de viabilidad de germinación y emergencia, con el fin de evaluar la calidad del lote de semilla almacenado. Esta práctica también se debe realizar para la comercialización de semillas de los portainjertos.

Evaluación de viabilidad de semillas de portainjertos de cítricos

La viabilidad de una semilla hace referencia a su capacidad de germinar y originar una plántula normal en condiciones ambientales favorables. Dicha viabilidad puede ser cuantificada a través de diferentes tipos de pruebas, como la evaluación de la germinación y la emergencia, y algunas técnicas bioquímicas, como la prueba de tetrazolio (García & Villamil, 2001; Rodríguez et al., 2008).

Se debe disponer de una cantidad específica de semillas que se puedan identificar físicamente, denominado lote de semillas, para evaluar su viabilidad. A partir de este lote, se obtiene una muestra de un tamaño adecuado para cada una de las pruebas, con la que se pueda inferir el comportamiento y características del lote (ISTA, 2018). El tamaño de la muestra depende del tipo de prueba que se realice.

Como resultado de los proyectos “Nuevas tecnologías para la producción masiva de plántulas sanas de lima acida Tahití en casa de malla antipulgón para la competitividad del sector viverista y productivo de Colombia 2007-2010” y “Tecnología de manejo de viveros y bases tecnológicas para la certificación genética fisiológica y sanitaria, Fase I 2015-2017”, se definió un tamaño de muestra de hasta 150 semillas, distribuidas en cinco repeticiones cuando se realizan pruebas de laboratorio, y un número máximo de 120 semillas, distribuidas en tres repeticiones cuando se realizan pruebas de emergencia en casa de malla (Jaramillo et al., 2012).

Una vez se tiene la muestra representativa del lote de semillas, se realiza una caracterización inicial que permite determinar el índice de semillas (g/100 semillas) y se calcula el porcentaje de humedad inicial en base húmeda mediante el método gravimétrico, teniendo en cuenta los pesos iniciales y finales de las semillas: el peso inicial, antes de someterlo al horno, y el final, después de una hora de secado a 130 °C (Hong & Ellis, 1996).

Métodos de evaluación de viabilidad de semillas

Los ensayos de germinación y emergencia permiten determinar el potencial de germinación máximo de un lote de semillas y estimar su valor potencial para la siembra en campo; de esta manera, se conoce la proporción de plantas efectivas de acuerdo con el número de semillas sembradas en la muestra (ISTA, 2018; Rodríguez et al., 2008). Estas pruebas ofrecen una primera información respecto a la calidad de las semillas e informan sobre aquellas que han reanudado su actividad metabólica rápidamente; sin embargo, hay que señalar que en algunos casos los resultados que se obtienen en condiciones controladas difieren de los obtenidos en campo (Peretti, 1994; Rodríguez et al., 2008). A continuación, se presentan las principales metodologías de evaluación de germinación de las semillas.

Método de evaluación de germinación en cajas de Petri

La prueba de germinación en laboratorio se realiza con una muestra de 150 semillas de cada lote, que debe ser tratada previamente con un fungicida protectante (por ejemplo, carboxin + thiram), en dosis de 1 g de producto comercial por cada 100 g de semilla. En cada una de las cajas de Petri con papel filtro de 90 mm se disponen 15 semillas, que se deben ubicar en un lugar fresco (temperatura de día: $24 \pm 2^\circ\text{C}$; temperatura de noche: 18°C ; humedad relativa: 80 %) y permanecer en condiciones de humedad hasta 30 días (figura 19).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 19. Método para prueba de germinación en cajas de Petri. a. Distribución de semillas por repetición; b. Distribución del ensayo usando 20 semillas por caja Petri.

Método de evaluación de germinación en papel toalla

La prueba de germinación en laboratorio se realiza con una muestra de 150 semillas de cada lote de evaluación, que debe ser tratada previamente con un fungicida protectante (por ejemplo, carboxin + thiram), en dosis de 1 g de producto comercial por cada 100 g de semilla. En un papel de toalla húmedo, previamente esterilizado, se disponen 30 semillas distribuidas en cinco hileras de seis columnas, dejando un borde de 3-4 cm. Posteriormente, se cubre con otro papel toalla humedecido, se enrolla y se amarran los extremos con bandas de caucho para evitar que se deshaga. Los rollos se disponen en cajas plásticas sobre una rejilla. La humedad se revisa diariamente, durante 30 días (figura 20).

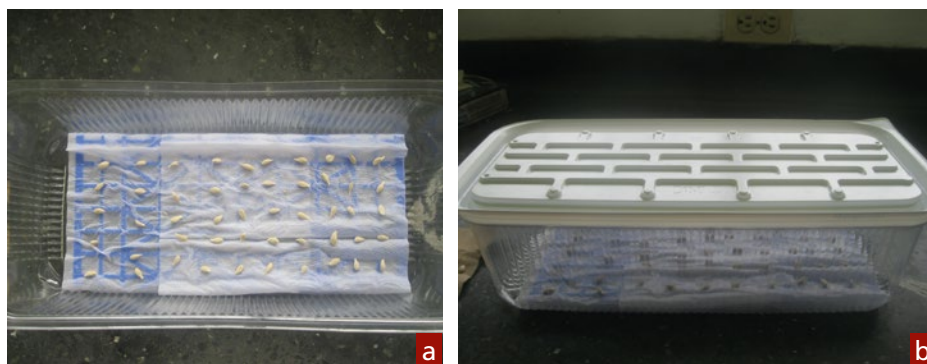


Fotos: Alejandro Jaramillo

Figura 20. Método para prueba de germinación en papel toalla. a. Distribución de semillas por repetición; b. Construcción de rollos por repetición; c. Distribución de los rollos en cajas plásticas.

Método de evaluación de germinación en cámaras húmedas

La prueba de germinación en laboratorio se realiza con una muestra de 150 semillas de cada lote de evaluación, la cual debe ser tratada previamente con un fungicida protectante (por ejemplo, carboxin + thiram), en dosis de 1 g de producto comercial por cada 100 g de semilla. Las semillas se colocan en cajas plásticas sobre papel toalla, ubicado sobre una rejilla plástica que evita el contacto directo del agua con las semillas. Posteriormente, estas cajas se tapan y forman una cámara húmeda. La humedad se revisa diariamente, durante 30 días (figura 21).



Fotos: Alejandro Jaramillo

Figura 21. Método para prueba de germinación en cámaras húmedas. a. Distribución de semillas en papel húmedo; b. Distribución de semillas en la caja plástica.

Método de evaluación de germinación en bandejas

La prueba de germinación en bandejas se realiza en casas de malla y se evalúa la cantidad de semillas que emergen de un sustrato adecuado en condiciones de campo. Esta prueba se realiza en bandejas de germinación de 40 alveolos, usando un sustrato compuesto de turba, vermiculita y cascarilla de arroz en proporciones iguales (1:1:1). También se puede realizar en camas con arena. Las semillas son sembradas a una profundidad de 2 cm y, posteriormente, se les aplica propamocarb + fosetil al 0,3 % para prevenir la contaminación por hongos (figura 22).



Fotos: Juliene Barreto

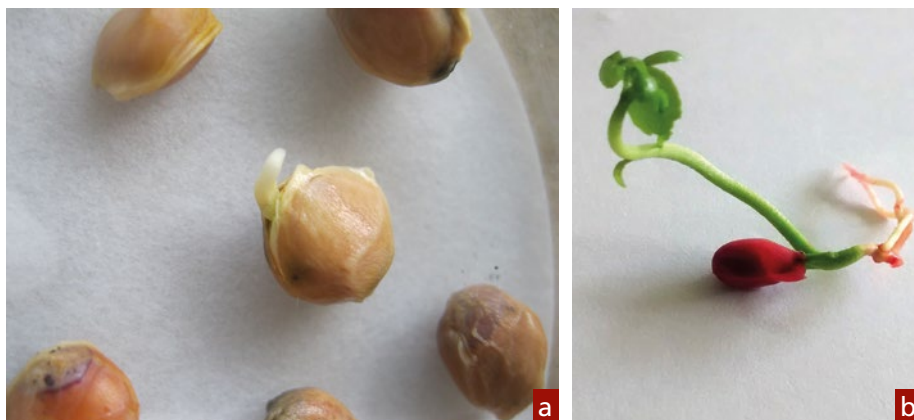
Figura 22. Método para prueba de germinación. a. En bandeja de 40 alveolos; b. Germinación en arena.

Para estas pruebas se debe utilizar mínimo tres repeticiones de 40 semillas cada una, para un total de 120 semillas por lote. Las semillas deben ser tratadas previamente con un fungicida protectante (por ejemplo, carboxin + thiram), en dosis de 1 g de producto por cada 100 g de semilla.

Registro de información obtenida en pruebas de germinación en laboratorio

Si una semilla es viable, germinará cuando se someta a las condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. Por ello, se acepta que la capacidad germinativa de un lote de semillas es un reflejo directo de su viabilidad (García & Villamil, 2001).

Se considera que la semilla ha germinado cuando la radícula ha emergido de las cubiertas seminales, ha alcanzado una longitud mayor a 3 mm y el aspecto de sus estructuras esenciales indica la posibilidad de que termine siendo una plántula normal (ISTA, 2004) (figura 23).



Fotos: Alejandro Jaramillo y Juliene Barreto

Figura 23. Características de las semillas germinadas de portainjertos de cítricos. a. Semilla germinada con radícula emergida; b. Semilla germinada sana con presencia de hojas cotiledonales.

Para los ensayos en laboratorio, los registros del número de semillas germinadas en cada prueba se deben consignar diariamente en un formato (tabla 3) y hasta máximo 30 días después de establecido. Las plántulas que presentan defecto en la raíz, cotiledones o en otras estructuras esenciales se consideran descartadas.

Tabla 3. Formato de registro de semillas germinadas en ensayos en laboratorio

Ensayo de germinación en laboratorio													
Lote			Fecha de establecimiento										
Procedencia													
% humedad inicial													

Nota. Lote: Número del lote de semillas; Procedencia: Sitio donde proviene la semilla; % humedad inicial: Contenido de humedad de la semilla al momento de la prueba; DDE (días después de establecido): Número de días después del establecimiento de la prueba; Repetición: Número de la repetición; Germinadas: Número de semillas germinadas; Descartes: Número de semillas descartadas; % germinación: Cálculo de porcentaje de germinación en un tiempo determinado.
Fuente: Elaboración propia

Los resultados son expresados en porcentaje de germinación acumulada en el tiempo que dure la evaluación, valor con el cual se construyen las curvas de germinación diarias y acumuladas. El porcentaje es calculado usando la ecuación 1:

$$\% \text{ emergencia} = \frac{\# \text{ semillas germinadas}}{\# \text{ semillas sembradas}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

En los ensayos de germinación en casa de malla, se considera que una semilla ha emergido cuando se observa sobre el sustrato una planta con el primer par de hojas verdaderas abiertas (figura 24). Se consideran descartes las plántulas que emergieron, pero presentan algún daño por patógenos o algún tipo de deformación en la base del tallo. El porcentaje de emergencia se calcula usando la ecuación 2.

$$\% \text{ germinación} = \frac{\# \text{ plantas emergidas}}{\# \text{ semillas sembradas}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$



Foto: Juliene Barreto

Figura 24. Planta emergida en alveolo

Los registros del número de plantas que emergen del sustrato en los ensayos establecidos en casa de malla se realizan desde los siete días y hasta los treinta días después de siembra, donde se acumula más del 60 % de la germinación. Sin embargo, el periodo de observación para determinar descartes y homogeneizar las plantas se extiende hasta 60 días (tabla 4).

Tabla 4. Formato para registro de germinación en casa de malla

Ensayo de germinación en casa de malla													
Lote			Fecha de establecimiento										
Procedencia													
% humedad inicial													
	Germinadas				Descartes				% g erminación				
DDE	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:	Rep:

Nota. Lote: Número del lote de semillas; Procedencia: Sitio donde proviene la semilla; % humedad inicial: Contenido de humedad de la semilla al momento de la prueba; DDE (días después de establecido): Número de días después del establecimiento de la prueba
Rep.: Número de la repetición; Emergidas: Número de semillas emergidas; Descartes: Número de semillas descartadas; % emergencia: Cálculo de porcentaje de emergencia en un tiempo determinado.
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de estos ensayos, se construyen gráficas de emergencia diaria y emergencia acumulada, y se calculan valores de vigor y energía germinativa. Las gráficas de emergencia muestran el comportamiento de la germinación de los lotes de semillas y dan un estimado de su viabilidad. Las curvas de emergencia acumulada permiten comparar las tendencias de distintos lotes de semillas, determinando hasta qué momento las semillas pueden llegar a emerger, mientras que las curvas de emergencia diarias determinan qué tiempo de la evaluación es el de mayor capacidad germinativa.

En condiciones de casas de mallas en AGROSAVIA, C. I. Palmira, se evaluó la emergencia de tres lotes de semillas de los portainjertos limón Volkameriana, Citrange Troyer y el híbrido Sunky × English durante 60 días. En las curvas de emergencia acumuladas (figura 25), se observa el comportamiento de la germinación de los distintos portainjertos. Para este ensayo, el limón Volkameriana mostró una mayor velocidad de germinación comparado con los otros dos portainjertos, iniciando la emergencia a los diez días y estabilizándose a los treinta días después de la siembra. Los portainjertos Citrange Troyer y el híbrido Sunky × English iniciaron la germinación cerca de los 20 días, alcanzando el máximo cerca de los 45 días después de sembrados.

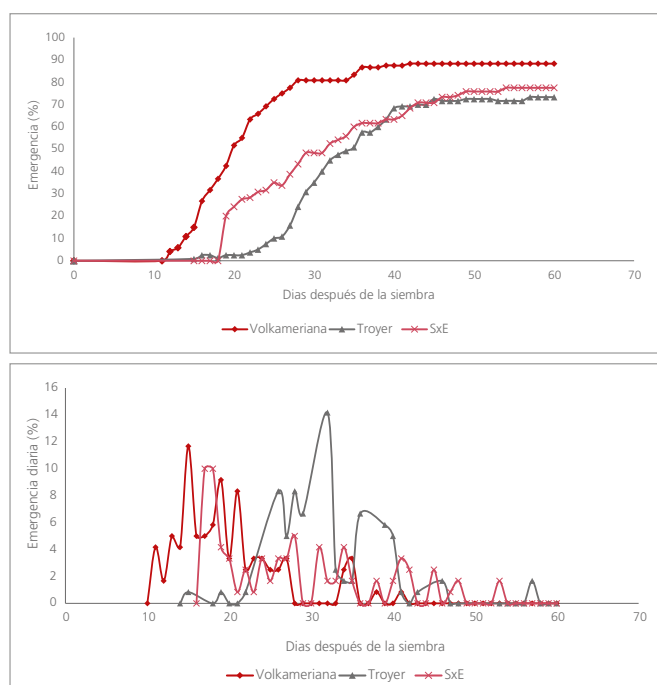


Figura 25. Comportamiento de la germinación de tres portainjertos de cítricos evaluados en casas de malla en AGROSAVIA, C. I. Palmira a. Curva de emergencia acumulada. b. Curva de emergencia diaria. Fuente: Elaboración propia

Evaluación de vigor de semillas y energía germinativa

El vigor germinativo evalúa la rapidez y la uniformidad con que germinaron las semillas en un lote determinado, a través de la ecuación 3, propuesta por Czabator (1962).

$$VG = GDM \times VM \qquad \text{Ecuación 3}$$

En la ecuación 3, *GDM* corresponde a los días medios de germinación y *VM* es el valor máximo de germinación, que se calculan mediante las ecuaciones 4 y 5, respectivamente.

$$GDM = \% \text{ final de germinación} \times \text{total días evaluado} \qquad \text{Ecuación 4}$$

$$VM = \frac{\text{Valor máximo germinación acumulativo}}{\text{Total días evaluados}} \qquad \text{Ecuación 5}$$

La energía germinativa se define como el máximo porcentaje de semillas germinadas por día durante el periodo de evaluación.

En ensayos realizados en condiciones de casa de malla en AGROSAVIA, se evaluó el vigor y la energía germinativa de cinco lotes de semillas del portainjerto Citrange Carrizo, cada uno con un tiempo de secado distinto. De acuerdo con la tabla 5, las semillas del lote 2 (24 horas de secado) mostraron mayor vigor germinativo (3,7) y mayor emergencia media diaria (1,5) comparado con los demás tratamientos.

Tabla 5. Vigor germinativo, energía germinativa y germinación media diaria de las semillas de cinco lotes de Citrange Carrizo

Lote	Vigor germinativo	Energía germinativa	Germinación media diaria
1	1,8	17,5 (día 27)	1,1
2	3,7	11,7 (día 22)	1,5
3	1,7	10,8 (día 28)	1,1
4	2,3	8,3 (día 28)	1,2
5	0,1	1,7 (día 28)	0,3

Fuente: Elaboración propia

Prueba de tetrazolio para evaluación de viabilidad de semillas

La prueba de viabilidad con tetrazolio está basada en la actividad de ciertas enzimas que participan en las reacciones de respiración que se producen en la mitocondria. Estas enzimas presentes en los tejidos vivos de las semillas reducen la presencia del tetrazolio (2,3,5-trifenilcloruro de tetrazolio) en un color rojo llamado formazán, que tiñe las células vivas (semillas viables), en tanto que las células muertas permanecen sin teñir (semillas no viables) (figura 26).

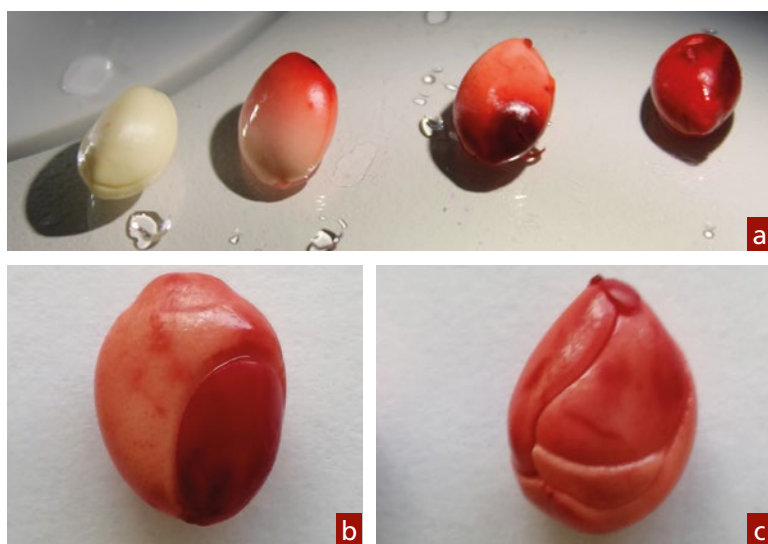


Foto: Mauricio Martínez

Figura 26. Prueba de viabilidad en semillas de portainjertos de cítricos a. Semilla no viable (color blanco) y semillas viables (color rojo en la radícula); b. Semilla monoembrionica viable con una coloración más intensa en el embrión; c. Semilla poliembrionica viable para todos los embriones.

Por lo tanto, la tinción de ciertas partes de la semilla muestra la actividad respiratoria de los diferentes tejidos, lo que permite una evaluación rápida del vigor de semillas viables. La viabilidad de la semilla indica que es capaz de germinar y producir una plántula normal (Gallo et al., 2015; Glenner, 1990; Moore, 1985; Ruiz, 2009).

La prueba de tetrazolio permite una rápida determinación de la viabilidad de un lote de semillas y de una adecuada evaluación de la capacidad germinativa potencial. Además, sirve de guía para el control de calidad de las semillas en almacenamiento y puede ser útil para estudiar la biología de las semillas y sus procesos de deterioro (Ruiz, 2009).

Multiplicación de semillas de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos de casas de malla antipulgón

La multiplicación de semillas comprende la siembra, la emergencia y el trasplante de plántulas a bolsas de vivero. Se debe realizar el establecimiento de semilleros en condiciones protegidas con malla antipulgón para evitar posibles contaminaciones con patógenos transmitidos por insectos vectores. Durante todo el proceso, se debe monitorear la aparición de síntomas asociados a microorganismos patógenos que puedan afectar el proceso de emergencia. Para la siembra se reconocen dos modelos de germinadores, que se expondrán a continuación.

Germinador en arena

Los germinadores en arena se pueden construir utilizando diferentes materiales, como bloques, ladrillos o guadua, según la disponibilidad de la zona (figura 27). El sustrato más utilizado es arena gruesa y sus dimensiones están sujetas a las necesidades particulares de producción de cada vivero. Para facilidad de manejo, se recomienda utilizar camas de 100 a 110 centímetros de ancho, con una profundidad de 30 centímetros. La siembra se realiza en surcos paralelos con una distancia de 10 cm entre surcos y de 3 cm entre semillas. La profundidad de siembra depende del tamaño de la semilla del portainjerto que se sembrará y no debe superar una distancia equivalente a dos veces el tamaño de la semilla.



Foto: Mauricio Martínez

Figura 27. Semilleros en camas de arena gruesa.

Semilleros en bandejas

Se recomienda el uso de bandejas de germinación de 40 alveolos, con un volumen por celda de 130 cm³. En el caso de usar bandejas que fueron utilizadas para siembras anteriores, se recomienda la limpieza de los alveolos con hipoclorito de sodio al 1 % (figura 28).

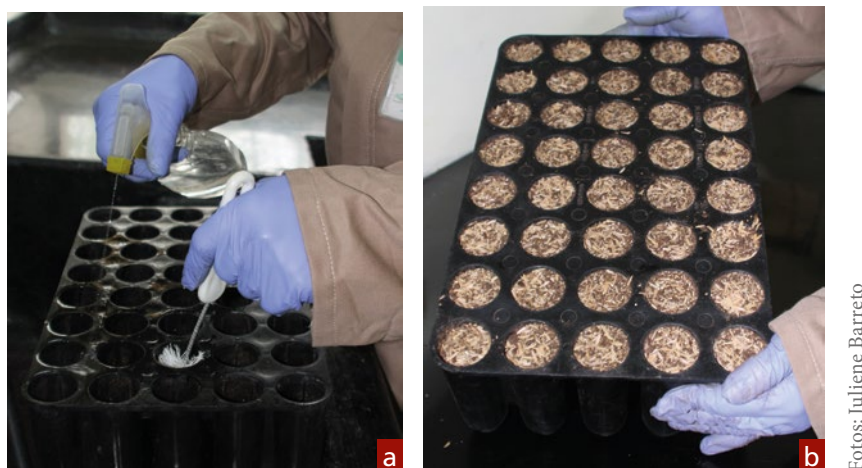


Figura 28. Bandejas recomendadas para la siembra de portainjertos. a. Lavado y desinfección de bandejas; b. Bandejas listas para siembra.

El sustrato elegido para el establecimiento de los germinadores influye en el crecimiento y en la calidad de la plántula que se espera obtener (Ortega-Martínez et al., 2010). Es importante que el sustrato utilizado proporcione buena capacidad de retención y drenaje adecuado, lo que permitirá que las plántulas en desarrollo suplan los requerimientos hídricos, sin afectar la oxigenación del sistema de raíces. Esto proporciona las condiciones físicas adecuadas para el crecimiento y desarrollo del sistema radical (Neto et al., 2016).

Preparación de sustratos y siembra de semillas

Para el llenado de las bandejas, el mercado ofrece diversos materiales de origen natural o sintético, cada uno con características físicas, químicas y biológicas que pueden ser aprovechadas de forma pura o a través de una mezcla. Factores como el precio, la disponibilidad, la facilidad de manejo, entre otros, son aspectos que considerar a la hora de elegir las materias primas que van a conformar el sustrato, que tiene como función brindar soporte y facilitar el anclaje de las plántulas a través del desarrollo del sistema radical (Burgos et al., 2011; Muñoz, 2007).

Bajo condiciones de casa de malla del C. I. Palmira, Burgos et al. (2011) sugieren como fuentes para la preparación del sustrato de germinación insumos como cascarilla de arroz, vermiculita y turba (figura 29).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 29. Insumos utilizados para la preparación de sustrato de germinación. a. Cascarilla de arroz; b. Vermiculita; c. Turba.

La viabilidad de la vermiculita radica en que presenta una buena porosidad y una adecuada retención de humedad (Burgos et al., 2011; Neto et al., 2016), lo que permite una mejor oxigenación del sistema de raíces y proporciona condiciones físicas propicias para el crecimiento normal y desarrollo de las plántulas. La turba también es reconocida como un excelente medio para la germinación por sus características fisicoquímicas, que permiten la obtención de altos porcentajes de emergencia y buen desarrollo radicular; sin embargo, su elevado costo y sus métodos de extracción no sostenibles son factores que restringen el uso de este insumo en la preparación de sustratos (Fernández-Bravo et al., 2006). Una alternativa importante para reemplazar el uso de la turba es la fibra de coco; según Muñoz (2007), esta materia prima presenta una gran capacidad de aireación, buena retención de agua, baja densidad aparente, pH neutro y una estructura física estable, lo que permite altas tasas de emergencia, buen desarrollo del sistema radicular y desarrollo adecuado de las plántulas.

La preparación y el manejo del sustrato se debe realizar en un lugar limpio y sin contacto con el suelo para evitar la contaminación. La mezcla de los insumos se debe hacer en proporciones iguales para aprovechar las características fisicoquímicas de cada materia prima utilizada. Posterior a la mezcla del sustrato, se recomienda una desinfección por métodos físicos, como el vapor de agua, o químicos, con el uso de insumos recomendados para esta labor.

La siembra se realiza teniendo en cuenta la polaridad de la semilla: se debe introducir primero la parte más angosta, lo que evitará la malformación de las raíces. La profundidad de penetración es variable y depende del portainjerto y el tamaño de la semilla, para portainjertos con semillas grandes, como los Citranges, Carrizo y Troyer, la profundidad indicada es de 2,5-3 cm; por otra parte, para semillas pequeñas como limón Volkameriana y Sunki × English, la profundidad de siembra no debe sobrepasar los 2 cm dentro del sustrato. Sobrinho (1991) concluyó que el establecimiento de los semilleros en bandejas produce plantas con sistemas de raíces de mayor volumen, lo que permite una mayor tasa de supervivencia luego del trasplante.

El número de semillas por alveolo se establece en función de la calidad fisiológica y puede variar de una a cuatro semillas. Aquellos portainjertos que presenten mayor tasa de poliembrionía requieren menos semillas, dada la mayor probabilidad de obtener varios embriones por semilla (Neto et al., 2016). AGROSAVIA recomienda la siembra de una a dos semillas por alvéolo (figura 30).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 30. Siembra de semillas de portainjertos. a. Introducción de semillas por alveolo; b. y c. Penetración de semillas en el sustrato.

Germinación de las semillas

La germinación de las semillas de los portainjertos inicia a partir de los 15 días después de siembra; sin embargo, a partir de los 20 días se observan los picos más altos de germinación; la emergencia se mantiene hasta los 50 días y finaliza por completo a los 60 días. Estos resultados pueden variar de acuerdo con el portainjerto utilizado y las condiciones ambientales de los sitios donde se establezcan los semilleros, ya que la germinación de las semillas de cítricos varía con la temperatura y la humedad relativa (Schäfer et al., 2006).

En estudios realizados por Moncaleano (2014) en AGROSAVIA, C. I. Palmira, se determinó que una variación en la temperatura de 3 °C afecta la germinación de las semillas de mandarina Cleopatra. En la figura 31, se observa la variación en el porcentaje de germinación de las semillas de mandarina Cleopatra establecidas en dos ambientes: la germinación en el ambiente 1 (23,7 °C y HR: 75,6 %) presentó valores superiores al 70 %, mientras que la germinación en el ambiente 2 (26,9 °C y HR: 67,2 %) solo llegó al 11,7 %.

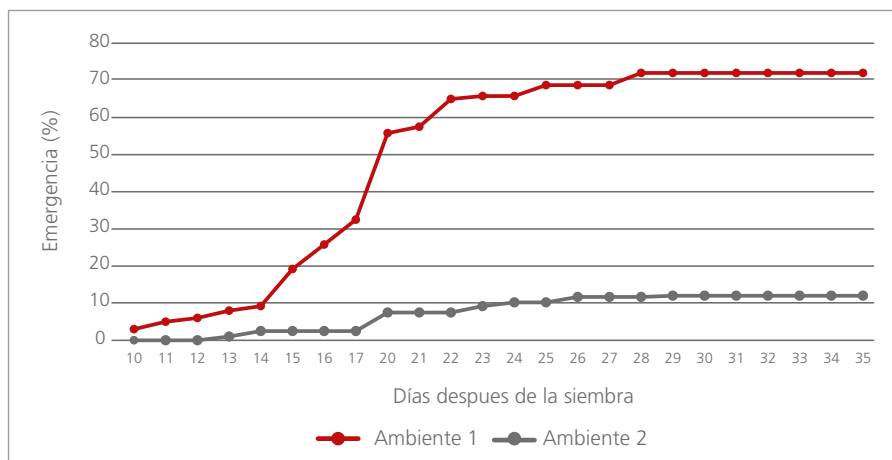


Figura 31. Emergencia de semillas de portainjerto Cleopatra en dos ambientes de germinación
Fuente: Elaboración propia

Durante la fase de germinación, se deben realizar riegos frecuentes para mantener la humedad de los sustratos. También se recomienda la fertilización con fuentes de nitrógeno para estimular el desarrollo vegetativo. Luego de 90 días después de la siembra, las plántulas presentan un desarrollo adecuado para el trasplante a la bolsa con el sustrato.

Al momento del trasplante, es importante descartar aquellas plántulas que hayan desarrollado problemas en su sistema radicular y se deben seleccionar aquellas que tengan una estructura recta y con abundantes raicillas (figura 32).



Foto: Juliene Barreto

Figura 32. Desarrollo óptimo del sistema radicular en patrones listos para trasplante a bolsa

Se deben eliminar las plantas que tengan raíces deformes, denominadas comúnmente como “cola de marrano”, o que estén bifurcadas, o plantas que presenten etiolación (figura 33).



Foto: Juliene Barreto

Figura 33. Aspecto de las plantas consideradas para descarte por problemas en la base del tallo y con raíces deformes

Referencias

- Abdallah, H. B., Elkashif, M. E., Eljack, A. A., & Dafaallah, A. B. (2021). Growth performance of two lemon [*Citrus limon* (L.) Osbeck] cultivars budded on three rootstocks, Gezira State, Sudan. *Gezira Journal of Agricultural Science*, 17(2), 230-242. <http://journals.uofg.edu.sd/index.php/gjas/article/view/1698>
- Andrade-Rodríguez, M., Villegas-Monter, A., & García-Velázquez, A. (2003). Características morfológicas del fruto y poliembrionía de tres portainjertos de cítricos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(2), 255-261. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2001.10.067>
- Arango, E., Capote, M., Morera, S., & Clemente, J. (2010). Viveros protegidos de cítricos: manejo técnico. En *Taller regional sobre viveros de cítricos*. Instituto de Investigaciones en fruticultura Tropical.
- Arango Wiesner, L. V., Orduz Rodríguez, J. O., & León Martínez, G. A. (2009). Patrones para cítricos en los Llanos Orientales de Colombia (N.º Doc. 22693). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2209>
- Burgos, J. E., Martínez, M. F., Cardozo, C., Jaramillo, A., & Gómez, C. O. (2011). Evaluación de sustratos para la producción de plántulas de limón Volkameriana (*Citrus volkameriana* Ten. y Pasq.) en dos ambientes de casas de malla antipulgón. *Revista Regional Novedades Técnicas*, 12(17), 9-17.
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2000). *Sementes, ciencia, tecnologia e produção*. Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr11110.pdf>
- Fernández-Bravo, C., Urdaneta, N., Silva, W., Poliszuk, H., & Marín, M. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv 'Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 23(2), 188-196.
- Gallego, C. J. S., Enríquez-Valencia, A. L., Caicedo-Arana, Á., Posso-Terranova, A., & Muñoz-Florez, J. E. (2017). Diversidad genética en patrones de cítricos mediante microsatélites amplificados al azar (rams). *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 85-94. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)85-94](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)85-94)
- Gallo, C., França-Neto, J. B., Arango, M., Gonzalez, S., Francomano, V., Carracedo, C., Costa, O., Alves, R., Margnano, L., & Craviotto, R. (2015). *Validación de la prueba de tetrazolio como método de vigor para semillas de Glycine max*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

- García, F. P., & Villamil, J. M. P. (2001). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaria General de Estructuras.
- Glenner, G. G. (1990). Formazans and Tetrazolium Salts. En R. D. Lillie & H. J. Conn (Ed.), *Biological Stains* (pp. 225-235). Sigma Chemical Company.
- Hong, T. D., Linington, S., & Ellis, R. H. (1996). Seed storage behavior: a compendium. IPGRI. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Seed_storage_behavior__a_compendium_1576.pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (7 de septiembre de 2015). *Resolución 3168, “Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación de fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones”*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). (1999). *Descriptors for Citrus (Citrus spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute. <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptors-for-citrus-citrus-spp/>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2004). *International Rules for Seed Testing*. ISTA.
- Jaramillo, A., Martínez, M., Cardozo, C., & Burgos, J. (2012). Determinación de condiciones controladas de almacenamiento seguro para semillas de portainjertos de lima ácida ‘Tahiti’. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 151-158. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:250
- Khan, M., Usman, M., Khan, M. M., Waseem, R., & Ali, M. A. (2002). Role of gibberellic acid (GA3) on citrus seed germination and study of some morphological characteristics. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 39(2), 113-118.
- López, J. A., & Cardona, J. H. (2007). *Evaluación de portainjertos de cítricos en la zona central cafetera de Colombia* (Doc. N.º 23749). Centro Nacional de Investigaciones de Café. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/76341>
- Moncaleano, K. (2014). *Estudio de factores de calidad fisiológica de las semillas de siete portainjertos de cítricos* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Moore, R. P. (1985). *Handbook on Tetrazolium Testing*. International Seed Testing Association.

- Muñoz, Z. P. (2007). *Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de Eucalyptus globulus (Labill)* [Tesis de pregrado]. Universidad Austral de Chile.
- Murcia-Riaño, N., Martínez, M. F., Orduz-Rodríguez, J. O., Ríos-Rojas, L., López-Galé, Y., Yacomelo-Hernández, M. J., Carabalí-Muñoz, A., Kondo, T., García-Muñoz, M. C., Mesa, N. C., López-González, J., Pérez-Artiles, L., Rodríguez-Mora, D. M., Montes-Rodríguez, J. M., Betancourt-Vásquez, M., Rodríguez-Torres, I. V., Barreto-Rojas, J. A., Tarazona-Velásquez, R., Mateus-Cagua, D. M., ... Rodríguez-Roa, A. (2020). *Modelo productivo de lima ácida Tahití (Citrus × latifolia Tanaka ex Q. Jiménez) para Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Neto, H. B., Rodrigues da Silva, S., Mourão Filho, F. de A. A., Sposito, M. B., & Caputo, M. M. (2016). *The Citrus Nursery Practices in Brazil*. Vivecitrus Organização Paulista de Viveiros de Mudas Cítrica.
- Ortega-Martínez, L.D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Effect of different substrates on tomato seedlings growth (*Lycopersicum esculentum* MILL). *Ra Ximhai*, 6(3), 365-372.
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. Hemisferios Sur Editorial.
- Puerta, G. I. (2009). Efecto de enzimas pectolíticas en la remoción del mucilago de *Coffea arabica* L., según el desarrollo del fruto. *Cenicafé*, 60(4), 291-312. <http://hdl.handle.net/10778/57>
- Ruiz, M. A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. *EEA INTA Anguil Argentina*, 77, 1-19. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-el_analisis_de_tetrazolio_en_el_control_de_calidad_de_.pdf
- Rodríguez, Q. I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2767398&orden=1&info=link>
- Sánchez, J. J., Avitia, E., Castillo, A. M., Villegas, Á., & Corona-Torres, T. (2006). Estudio anatómico de la poliembrionía en tres portainjertos de cítricos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 145-152. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912203>
- Schäfer, G., Dutra, P. V., Koller, O. C., & Schwarz, S. F. (2006). Desarrollo vegetativo de patrones cítricos cultivados en condiciones de invernadero bajo dos sistemas de riego. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28(2), 227-230. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000200016>

- Soares Filho, W. D. S., Diamantino, M. S. A. S., Moitinho, E. D. B., Cunha Sobrinho, A. P. Da, & Passos, O. S. (2002). “Tropical”: Uma nova seleção de tangerina “sunki”. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(1), 127-132. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000100028>
- Universidad de California Riverside (UCR). (2018). *Citrus variety collection*. Universidad de California Riverside. Consultada en julio de 2018 en <https://citrusvariety.ucr.edu/varieties.html>
- Vásquez Amariles, H. D. (2013). *Evaluación de Poncirus trifoliata var. monstrosa Flying Dragon como portainjerto enanizante para naranja y mandarina comparado con otros patrones*. [Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21789/7311008.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villalba, D. (2000). *Patrones y variedades de cítricos. Apuntes de Cursos de Formación de Agricultores Cualificados* (3.^a ed. corregida). Generalitat Valenciana, Servicio de Desarrollo Tecnológico Agrario.



Capítulo III

Sustratos para la producción de portainjertos en ambiente protegido

Diana Lucía Correa-Moreno
Mauricio Fernando Martínez
Gustavo Acosta

En términos prácticos, se denomina *sustrato* a los distintos medios físicos diferentes al suelo natural, en donde se desarrollan las raíces de los cultivos (Sanz et al., 2003). Estos comprenden todo material sólido, poroso, de síntesis o residual, mineral y orgánico que, usado solo o en combinación con otros en un contenedor, proporciona anclaje y suficientes niveles de agua y oxígeno para las plantas que crecen en él (Abad & Noguera, 1998; Artetxe et al., 1997; Vence, 2008).

El propósito fundamental del uso de los sustratos en la producción en vivero es propiciar un óptimo desarrollo de las plantas dentro de un recipiente o contenedor, y prepararlas para el trasplante y adaptación en terreno definitivo. La tendencia mundial en los viveros protegidos es el uso de sustratos puros, sin el empleo de suelo para la preparación de las plantas de cítricos (Arango et al., 2010).

En este sentido, los sustratos para la producción de portainjertos de cítricos deben cumplir las siguientes funciones básicas (Henao & Flórez, 2006; Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [Oirsa], 2002):

- Proporcionar un soporte físico a la planta.
- Retener agua en forma disponible.
- Disponer del espacio poroso necesario para garantizar el intercambio gaseoso entre la raíz de la planta y la atmósfera.
- Servir como un reservorio de nutrientes para las plantas.
- Permitir la actividad biológica de microorganismos que intervienen en el ciclo de nutrientes y el control de patógenos.

Por lo tanto, lo deseable de un sustrato es que sea un material que permita cumplir estas funciones básicas, teniendo como referente características físicas, químicas y biológicas similares a las de un suelo óptimo, para el desarrollo de las plantas o variedades que se espera propagar. De esta forma, cada sistema de cultivo necesita de un sustrato particular, con adecuadas condiciones físicas y químicas que dependen, principalmente, del contenedor, el ambiente, el tipo de manejo y de la planta (Bárbaro, 2017). Sin embargo, la única función garantizada por el medio, una vez se haya realizado la mezcla de componentes, es la de soporte físico, las demás deben ser controladas por el productor.

Los sustratos se caracterizan por ser mezclas de materiales orgánicos o de origen mineral que permiten obtener condiciones físicas y químicas adecuadas para el desarrollo de cultivo, de acuerdo con especificidades según la especie (Ansorena, 1994; Cadahía, 2005; Henao & Flórez, 2006; Raviv & Heinrick, 2008). Debido a que no es posible encontrar en un solo material las propiedades que se ajusten a los requerimientos de las plantas, es necesario realizar mezclas de diferentes tipos de materias primas, en proporciones que se aproximen a las condiciones requeridas. Sin embargo, la gran dificultad consiste en establecer, en el corto plazo, la mezcla adecuada y proporción en que se deben utilizar los materiales para aproximarse a lo requerido, dado que se pueden generar numerosas combinaciones que resultan en condiciones disímiles de acuerdo con el tipo, disponibilidad, cantidad y proporción de los materiales utilizados (Monsalve, 2016).

En concordancia con lo anterior, y tal como lo manifiestan Biauxuli y Aguilar (2002), para elegir el sustrato que se ajuste a las necesidades, se debe considerar en orden de prioridad aspectos como la disponibilidad de materia prima, los costos de producción, las propiedades y características finales, el objetivo de la producción, la especie de cultivo, el clima, el manejo del productor, la uniformidad y la factibilidad de uso.

Materiales utilizados para sustratos en viveros

Existen muchos materiales que se pueden utilizar como componentes de un sustrato, pero su elección se basa en la función requerida, el costo y la disponibilidad. Se pueden utilizar como sustratos subproductos de actividades industriales, ganaderas, agroindustriales, forestales y residuos domiciliarios (tabla 6), una vez hayan sido sometidos a procesos de tratamiento para su adecuación, lo que a su vez contribuye a una mejora en la calidad medioambiental (Vence, 2008).

Tabla 6. Materiales residuales y subproductos utilizados como sustratos para producción en vivero

Origen	Material
Explotación forestal	Mantillo vegetal, hojarasca, corteza de árboles, aserrín o viruta de madera.
Explotación agrícola	Pajas, compost, restos de poda y tallos, residuos de cosecha, fibra de coco.
Explotación ganadera	Estiércoles.
Industria agroalimentaria	Orujo de uva y aceitunas, palma de aceite, residuos de café, hojas de té, residuos de cacao, cascarilla de arroz, carbonos activados, restos vegetales, cascaras de frutos secos.
Yacimientos naturales, explotación minera y construcción	Turbas, tierra, arena gruesa, granito, perlita expandida, vermiculita, arcilla expandida, lana de roca, fibra de vidrio, piedras volcánicas, piedras pómez.
Policarbonatos de síntesis	Poliestireno expandido y poliuretanos.
Explotaciones marinas	Algas y plantas marinas.

Fuente: Elaboración propia con base en Quintero et al. (2011)

La mayoría de los sustratos usados en la producción de plantas en vivero consiste en una combinación de componentes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los materiales inorgánicos comunes incluyen arena, vermiculita, perlita, arcilla calcinada, piedra pómez y otros subproductos minerales; su principal función es proporcionar el soporte físico a la planta y permitir un mejor control de la nutrición por su característica como materiales inertes químicamente. Por otro lado, los componentes orgánicos más populares incluyen turba, productos de madera compostados (corteza, aserrín, virutas), compost de materia orgánica, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y fibra de coco entre otros (tabla 7).

Tabla 7. Propiedades y características deseables de componentes utilizados para sustratos de cultivos

Tipo de componente	Características deseables	Ejemplos de materiales
Inorgánicos	Alta capacidad de retención y disponibilidad de agua.	Vermiculita (tiene alta capacidad de intercambio catiónico [CIC], retención de agua, baja densidad de partículas); perlita (porosa, inerte, débil mecánicamente); arenas (alta densidad de partículas, baja CIC); arcilla calcinada (porosa, baja CIC); subproductos minerales.
	Baja densidad de partículas.	
	Adecuada distribución de tamaño de partículas.	
Orgánicos	Alta capacidad de retención de agua y disponibilidad.	Turba de pantano - <i>Sphagnum</i> peat moss (excelente retención de agua, CIC, baja densidad de partículas); materia orgánica compostada (hojas de árboles, césped, residuos de poda); productos y subproductos de madera (corteza, aserrín, virutas etc.); lodos de depuradoras (tener cuidado con textura fina y metales pesados); otros materiales (estiércol, pajas, bagazos, cascarillas, etc.).
	Bien compostado o tratado con nitrógeno.	
	Tener un bajo contenido de sales solubles (conductividad eléctrica < 4 dSm).	
	Tener buena distribución de tamaño de partículas.	
	Libre de compuestos tóxicos (toxinas vegetales o químicos, orgánicos).	
	Que no sean portadores o vectores de plagas y enfermedades.	

Fuente: Elaboración propia con base en Cabrera (1999)

Los componentes orgánicos son preferidos porque, debido a sus condiciones estructurales y constituyentes, contribuyen al mejoramiento de sus propiedades físicas y químicas, entre las que se incluyen, según Cabrera (1999), la capacidad de retención de agua, la porosidad total, el peso húmedo y la capacidad de intercambio catiónico (tabla 8). Para que estas mejoras surtan efecto, es necesario que los componentes del sustrato o mezcla tengan un tamaño deseable de partículas, que pueden estar entre 0,5 y 4 mm.

Tabla 8. Propiedades y características de componentes comúnmente utilizados para sustratos de cultivos.

Material	Fuente	Densidad aparente (g/cm³)	Porosidad (%)	Aireación (%)	Retención de agua(%)	pH	c/c meq/100 g	Estabilidad	
Turba rubia	Orgánica	0,09-0,5	Alta	Buena - baja	Buena	2,5-7	> 20	Limitada	
Turba negra									
Corteza de pino		0,2-0,4		Baja	4,9-6,1	< 20	Alta		
Fibra de coco		0,03-0,09		Alta					
Cascarilla de arroz				Baja					
Arena gruesa	Inorgánica	1,5-1,8		Buena		7-7,5	> 20	Baja	
Rocas volcánicas		0,7-1,3					< 20		
Perlita		0,08-0,7	Buena a alta	Alta	Buena		> 20	Baja	
Arcilla expandida				Buena			< 20	Alta	
Vermiculita							< 20	Baja	
Estériles de carbón		1,1-1,5	Buena	Buena	Baja	6,3-7	< 20	Alta	
Escorias de alto horno		0,07-0,8	Alta	Alta		10	> 20		
Poliuretano							< 20		

Fuente: Elaboración propia con base en Martínez y Roca (2011)

Es necesario considerar que las propiedades de un sustrato no se pueden predecir únicamente a partir de las características de sus componentes. Dado que la mezcla de dos o más materiales produce interacciones, que hacen que las características de la mezcla final no sean la media óptima de las propiedades de los componentes, es necesario determinar las propiedades de las mezclas resultantes para hacer los ajustes requeridos hasta cumplir los requisitos mínimos deseados (Bowman & Paul, 1983; Cabrera, 1999; Cabrera & Johnson, 1995).

Propiedades deseables en sustratos para producción de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos

Para la producción de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos, la elección del mejor sustrato se debe basar, de acuerdo con Burés (2002), en conocer la cantidad máxima de agua, aire y nutrientes que proporcione a las plantas, un anclaje óptimo para las raíces y la inexistencia de componentes químicos o factores físicos que limiten el desarrollo de las plantas.

La selección de un sustrato adecuado garantiza el éxito del cultivo en bandejas o germinadores, razón por la cual el conocimiento de sus fuentes, así como de las características físicas, químicas y biológicas de las mezclas, permite definir el manejo de las plantas en vivero. Bajo estas condiciones, las plantas cultivadas presentan un comportamiento diferencial con aquellas cultivadas en campo tales como altas tasas de transpiración, mayor demanda de agua y una alta predisposición a salinización del sustrato por una pérdida constante de humedad (Gayosso-Rodríguez, 2016; Mascarini et al., 2012; Urrestarazu, 2015; Valenzuela et al., 2004).

Aun cuando es imposible tener un sustrato ideal, sí puede hacerse referencia a los requerimientos que un sustrato debe tener tomando en cuenta el tipo de planta y el esquema de producción en vivero. A continuación, se relacionan características principales (Abad & Noguera, 1997; Alarcón & Ferrera-Cerrato, 2001; Ansorena, 1994):

- **Físicos.** Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible (el agua es el vehículo de los nutrimentos), baja densidad aparente, elevada porosidad que permita la difusión de gases (principalmente O_2 y CO_2) y el movimiento de agua en el sustrato y la planta, estructura adecuada y estable (buen soporte físico).
- **Químicos.** Alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) favorable en la nutrición de las plantas, pH ligeramente ácido (entre 5-6), baja salinidad, elevada capacidad tampón o amortiguadora del pH, continua disponibilidad de nutrientes, especialmente cuando la planta va a permanecer largo tiempo en vivero.
- **Biológicos.** Baja velocidad de descomposición, libre de plagas, enfermedades y semillas o propágulos de malas hierbas.
- **Operacionales.** Disponibilidad de materiales, bajo costo, fácil manejo (mezclado, desinfección y llenado de envase), uniformidad, densidad y bajo peso para que sea fácil su manejo y transporte; estabilidad de dimensiones a lo largo del periodo de cultivo; durabilidad, y capacidad de rehumedecimiento, etc.

Las propiedades de un sustrato son influenciadas directamente por las características del recipiente; por lo tanto, no es posible establecer una fórmula ideal para un sustrato que sea universal para la producción en viveros. Su dinámica no es igual a la de condiciones naturales presentadas por el suelo, requiriéndose establecer particularidades del desarrollo de la especie o variedad que se planea cultivar, para seleccionar el sustrato y manejo agronómico que más convenga a los objetivos de producción.

La mayor limitación para tener en cuenta en la producción de plantas en contenedor es el confinamiento que sufren las raíces y todas las restricciones que esto provoca para suplir las necesidades de una planta, que es relativamente grande para ese volumen. Los recipientes suelen tener un volumen reducido, en comparación con el amplio terreno que pueden explorar las raíces en pleno campo, y presentan poca altura, por lo que se ejerce poca presión para eliminar el agua de drenaje (Burés, 2002).

El adecuado crecimiento de raíces varía en función de la genética de la especie y del volumen de espacio poroso disponible para su crecimiento, tal como se presenta en plantas cultivadas en suelo. En comparación con el suelo, bajo condiciones de volumen limitado, el sistema de raíces tiende a densificarse para cubrir las demandas de la parte aérea de la planta, lo que se manifiesta en un mayor consumo de oxígeno por unidad de volumen de la rizósfera, que tiende a aumentar cuando el medio es orgánico, debido a la actividad de microorganismos aeróbicos (Kafkafi, 2008; Raviv et al., 2008).

Algunas de estas condiciones estresantes pueden considerarse una consecuencia directa del volumen restringido del sustrato en el recipiente. El problema no es que el sustrato no pueda suplir las necesidades de la planta, sino que el periodo en que deben abastecerse esas necesidades es muy corto. Cabrera (1999) reportó periodos de cambio de algunas propiedades físicas y químicas en un sustrato, que pueden variar en lapsos de tiempo entre tres y cuatro semanas, y cambios que se pueden dar entre uno y tres días, como por ejemplo en la humedad del suelo y la aireación (tabla 9).

Tabla 9. Periodos estimados de modificación de propiedades en la zona de raíces según medio de cultivo

Característica	Recipiente o maceta	Suelo
Retención de humedad	De capacidad de contenedor a marchitamiento en 1 a 3 días.	De capacidad de campo a marchitamiento en 1 a 3 semanas.
Aireación	De baja a alta en 1 día.	De adecuada a alta la mayoría del tiempo.
Nutrición	De alta a baja en 1 día.	De alta a baja a lo largo de la temporada.
pH	Cambio de 1 a 2 unidades en 1 a 3 semanas.	Relativamente constante a lo largo de la temporada.
Salinidad	Problemas crónicos en 1 a 4 semanas.	De baja a alta a lo largo de la temporada.
Temperatura	Cambios de 10 a 30 °C en un día.	Relativamente constante a lo largo de la temporada.

Fuente: Elaboración propia con base en Cabrera (1999)

Características para definir un buen sustrato

El primer paso en la valoración agronómica de un sustrato, para producción de portainjertos de cítricos en ambientes protegidos, es la determinación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El conocimiento de estas propiedades nos permitirá seleccionar el sustrato y determinar el manejo de este en cuanto al riego y la fertilización.

Características físicas

Las características físicas de los sustratos están determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría o tamaño, y el tipo de empaquetamiento o arreglo de las partículas en el recipiente. Estas características describen el comportamiento del sustrato en relación con su porosidad, y determinan las fracciones sólida, líquida y gaseosa, que influyen en la cantidad de agua y aire disponible para la planta (Martínez & Roca, 2011).

Algunas de las más importantes características para definir un buen sustrato son la densidad real y aparente, la distribución granulométrica, la porosidad y aireación, la retención de agua, la permeabilidad, la distribución de tamaño de poros y la estabilidad estructural (Abad & Noguera, 1997; Ansorena, 1994; Dalzell et al., 1991) (tabla 10).

Tabla 10. Niveles óptimos de propiedades físicas y químicas de un sustrato

Propiedades	Rango óptimo
Físicas	
Tamaño de partícula (mm)	0,25-2,5
Densidad aparente (g/cm ³)	< 0,75
Densidad Real (g/cm ³)	1,45-2,65
Densidad en húmedo (g/cm ³)	1,0-1,5
Espacio poroso total (% vol)	70-85
Capacidad de aireación (% vol)	20-30
Agua fácilmente disponible (% vol)	20-30
Agua de reserva (% vol)	4,0-10
Agua total disponible (% vol)	24-40
Contracción	< 30
Químicas	
pH	5,5-6,5
Conductividad eléctrica (dS/m)	< 0,7: sin riesgo; 0,7-2: adecuado para germinación y crecimiento; 2-3,5: riesgo de salinización; > 3,5: excesivo.
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	100-199
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	0-20
Fósforo (P) (mg/L)	6-10
Potasio (K) (mg/L)	150-249
Calcio (Ca) (mg/L)	> 200
Magnesio (Mg) (mg/L)	> 70
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	< 75 baja; 75-100 media; > 100 alta
Hierro (Fe) (mg/L)	0,3-3,0
Manganeso (Mn) (mg/L)	0,02-3,0
Molibdeno (Mb) (mg/L)	0,01-0,1
Zinc (Zn) (mg/L)	0,3-3,0
Cobre (Cu) (mg/L)	0,001-0,5
Boro (B) (mg/L)	0,05-0,5
Relación carbono/nitrógeno	20-40

Fuente: Elaboración propia con base en Martínez y Roca (2011)

Estas características se deben ver reflejadas en una densidad que permita su manejo, transporte y anclaje de la planta, así como en una buena distribución de poros con aire y agua. Una correcta aireación aportará oxígeno al sistema radicular, y una adecuada proporción de poros con capacidad para retener agua permitirá a la planta obtener agua y nutrientes (si los hubiere) necesarios para su desarrollo (Bárbaro et al., 2009). El peso húmedo o densidad aparente a capacidad de contenedor debe ser considerado cuidadosamente, ya que puede resultar en aumentos significativos en el peso de los contenedores o recipientes, y en labores de espaciamento, cargado y transporte (Cabrera, 1999).

La porosidad es la característica física de mayor interés para la producción de plantas en contenedor; tal como sucede en el suelo, de esta depende el movimiento de agua y aire y la capacidad de retención de humedad del sustrato. De acuerdo con varios autores, la porosidad depende de la densidad que se logre obtener en el sustrato con los materiales utilizados y corresponde al volumen que no está ocupado por la fase sólida. En tal sentido, se recomienda que la porosidad total supere el 85 % del volumen (Ansorena, 1994; Burés, 1997; Cabrera, 1999; Gayosso-Rodríguez et al., 2016; Mascarini et al., 2012; Morales & Casanova, 2015) (figura 34).

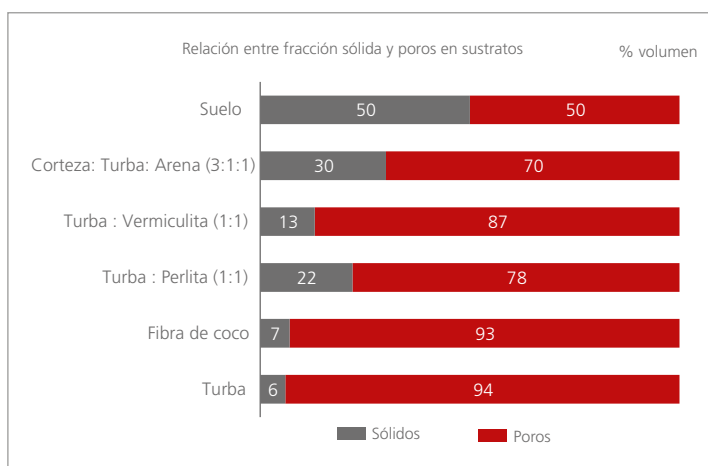


Figura 34. Relación entre fracción sólida y porosidad en mezclas de sustratos de referencia (% de volumen)
Fuente: Elaboración propia con base en Oirsa (2002)

La granulometría y el tamaño de los poros en un material son determinados por la distribución del tamaño de las partículas. De esta manera, partículas de 0,25 a 1 mm son esenciales en la relación agua-aire, mientras que la presencia de partículas menores

disminuye la porosidad total y, en consecuencia, la capacidad de almacenamiento de agua (Anicua et al., 2009; Vargas et al., 2008). Para permitir la oxigenación de las raíces y el intercambio de gases entre la atmósfera y el sustrato, es importante que, además de poros cubiertos por agua, existan al menos entre 10% y el 30% del volumen del sustrato con aire (Morales & Casanova, 2015).

Como parte de la caracterización física de sustratos, el conocimiento de las variables que relacionan el contenido hídrico y el potencial del agua permite tener un acercamiento al almacenamiento y movimiento de humedad y su relación con el desarrollo de las plantas. La relación agua-aire referida al volumen total permite definir tres conceptos de aplicación: capacidad de aireación (CA), que es el volumen de aire del sustrato sometido a una tensión de 1 kPa; agua fácilmente disponible (AFD), que es el volumen de agua liberada por el sustrato a una succión entre 1-5 kPa, y agua de reserva como el volumen de agua liberada a tensiones entre 5-10 kPa (Vence, 2008).

En este mismo sentido, Martínez-Farré (1992) agrega y define conceptos como el de capacidad de retención de agua (CRA), para hacer referencia a la máxima cantidad de agua en volumen que puede retener un sustrato bajo unas condiciones de medida normalizadas, y el de agua difícilmente disponible (ADD), para referirse al volumen de agua retenido por el sustrato a la tensión de 10 kPa, ambos también referidos al volumen total.

Características químicas

Las características químicas del sustrato están definidas por la composición elemental de los materiales o fuentes utilizadas para su elaboración. De acuerdo con esto, se pueden definir dos tipos de sustratos desde el punto de vista químico: a) sustratos químicamente inertes, que no liberan elementos solubles significativamente, ni tienen capacidad de absorber elementos añadidos a la solución del sustrato, y b) sustratos activos, que reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución o reacción de los compuestos que forman el material sólido, o adsorbiendo elementos en su superficie provenientes de la fase líquida, como sucede con los materiales orgánicos (Burés, 2002).

Las características químicas más importantes de los sustratos son la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH, la capacidad tampón o amortiguadora de pH, la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de nutrientes (Abad & Noguera, 1997; Ansorena, 1994; Dalzell et al., 1991) (tabla 10).

En este sentido, la evaluación inicial de las propiedades químicas de un sustrato se concentra principalmente en aquellos parámetros que podrían afectar significativamente el cultivo en su fase de establecimiento, en especial el pH y la CE. El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una solución, y la CE está relacionada con la presencia de sales en solución.

Un sustrato en general debería tener el pH ligeramente ácido (5,5-6,8), para permitir la disponibilidad de nutrientes, y la CE baja, para que no existan problemas de toxicidad y se puedan manipular las concentraciones de nutrientes minerales, según la especie y el momento de su ciclo (Bárbaro, 2009).

De acuerdo con lo que plantean algunos autores, las propiedades químicas de los sustratos son susceptibles de cambiar en el corto plazo y durante el ciclo de producción, y son influenciadas por la aplicación de fertirriego y uso de fertilizantes de lenta liberación (Bunt, 1988; Cabrera, 1999; García et al., 2001), situación contraria a la presentada por características físicas que cambian en el largo plazo, por manipulación inadecuada de sustratos.

Características biológicas

Las características biológicas están determinadas por la acción de microorganismos propios de la materia orgánica, que producen cambios en las relaciones agua-aire que deben permanecer estables durante el cultivo. Debido a la inestabilidad termodinámica de los materiales orgánicos, estos son susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis o por la acción de microorganismos (Burés, 2002; Vence, 2008).

Entre las características biológicas, se destacan las siguientes: contenido de materia orgánica; estado y velocidad de descomposición; supresividad; regulación de crecimiento; actividad enzimática; presencia de micorrizas, y formación de complejos metálicos (Burés, 1999, 2002). Algunas actividades biológicas en los sustratos pueden ser perjudiciales, ya que los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas, disminuyendo generalmente su capacidad de aireación y produciéndose asfixia radical. Se estima que, para permitir cambios importantes y benéficos en las propiedades físicas del sustrato, los componentes orgánicos deben usarse por lo menos en un 40 % con base en el volumen total (Bowman & Paul, 1983).

Dependiendo de la relación entre factores físicos, químicos y biológicos en los sustratos, se pueden manifestar propiedades supresoras que permiten inhibir la acción de patógenos específicos presentados en la producción de plántulas. En este sentido, características como la capacidad de aireación en el sustrato (> 25 %, como en el caso de las cortezas), el pH, la presencia de compuestos fungicidas naturales (éteres etílicos de ácidos hidroxioleicos y ácidos grasos de peso molecular bajo (acético, propiónico, butírico, etc.), y la presencia de microflora antagonista predominante en materiales orgánicos como turbas con alto nivel de celulosas y en corteza de pino favorecen esta propiedad adicional en los sustratos.

Sustrato utilizado para producción de portainjertos

Autores como Burés (2002) plantean que un buen sustrato es aquel que proporciona a las plantas un adecuado contenido de agua, un volumen de aireación alto, los nutrientes necesarios para su desarrollo, un anclaje adecuado para las raíces y que no manifieste comportamientos en su composición que limiten el crecimiento de las plántulas. Por lo tanto, para determinar el valor agronómico de un sustrato, es necesario realizar las siguientes acciones: 1) caracterizar el material, 2) estudiar sus propiedades, 3) mejorar las propiedades deficientes, y 4) realizar ensayos de crecimiento de plantas (Abad et al., 1993).

En este apartado, se presentan características de mezcla alternativa de sustrato elaborado con fuentes de interés regional para la producción de plántulas en ambientes protegidos y su efecto en el desarrollo y comportamiento de portainjertos comerciales utilizados en la producción de cítricos en Colombia.

Características de fuentes utilizadas para la elaboración de sustrato

Las fuentes utilizadas para elaboración de las mezclas de sustratos evaluadas corresponden a materiales orgánicos subproductos de actividades agrícolas disponibles en la región, como cascarilla de arroz (CA) y cachaza compostada (CC), y materiales de características minerales, como carbonilla (CAR) y limo/carbonilla.

Entre las características físicas, se destacan densidades bajas en los materiales orgánicos por debajo de 1, a diferencia de los materiales inorgánicos como la arena. Se trata de compuestos caracterizados por presentar en mayor proporción partículas menores a 1 mm como la carbonilla, lo que permite la presencia de microporos que pueden ayudar a la acumulación de agua. De las fuentes utilizadas, la cascarilla de arroz presenta una condición ideal en cuanto a granulometría, al presentar en su composición al menos un 60 % de partículas de 2 mm, considerado como tamaño referente para fuentes de sustratos por mejorar la capacidad de retención hídrica (tabla 11).

Tabla 11. Características físicas y químicas de fuentes utilizadas para elaboración de sustrato regional

Fuentes	pH	CE	CO	N	P	K	C/N
	(1:2,5)	(dS/m)	%				
Arena	6,6	3,8	0,1	0,09	0,05	0,04	1,1
Cascarilla de arroz	6,6	5,8	21,6	0,61	0,12	0,08	35,4
Carbonilla	8,6	1,3	4,4	0,14	0,11	0,32	31,4
Fibra de coco	5,7	4,4	26,1	0,75	0,04	0,87	34,8
Turba	5,6	7,5	49,1	0,79	0,13	0,28	61,9

Fuente: Elaboración propia

Químicamente, estos materiales presentan un pH adecuado, fluctuando entre 5,6-6,6, lo que permite la disponibilidad e intercambio de nutrientes en solución, sobre todo la cascarilla de arroz, como material orgánico; sin embargo, la conductividad eléctrica supera los límites permisibles con un alto riesgo de salinización y toxicidad para las plantas, por encima de 2 dS/m.

La relación carbono-nitrógeno (C/N) muestra que son materiales poco estables (> 20), susceptibles de sufrir una transformación a lo largo del tiempo, que hará variar sus propiedades químicas y físicas, reflejados en la reducción del volumen, porosidad y capacidad de aireación (Martínez & Roca, 2011). Aunque las características de las fuentes no se reflejan directamente en los sustratos, las propiedades finales de las mezclas están condicionadas por las interacciones entre tipos de materiales.

Propiedades de sustrato elaborado con fuentes regionales

El sustrato para la producción de plántulas en ambientes protegidos debe caracterizarse por presentar la mejor relación entre sus componentes, que desde el punto de vista físico permita el desarrollo de plántulas y un ambiente químicamente estable que no altere los procesos de nutrición de estas. Por lo tanto, el sustrato regional presenta una distribución de sus fuentes guardando la siguiente relación: *cascarilla de arroz* $\geq$ *arena* $\geq$ *cachaza compostada* $\geq$ *limo/carbonilla* (CA:A:CC:L/CAR).

De acuerdo con la distribución de materiales, el sustrato se caracteriza por presentar densidad aparente próximo a 0,75 g/cm³, considerado óptimo. Como consecuencia, la porosidad total se encuentra por encima de 50 %, lo que permite ver el efecto diferencial del tamaño de partículas de materiales orgánicos como la cascarilla de arroz, con partículas mayores a 2 mm sobre esta propiedad física (figura 35).

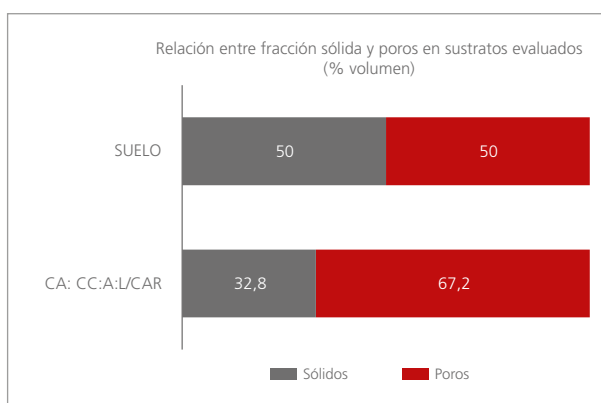


Figura 35. Relación entre fracción sólida y porosidad en sustratos elaborado con fuentes regionales (% volumen). Cascarilla de arroz (CA); cachaza compostada (CC); carbonilla (CAR); limo (L)/arena (A). Fuente: Elaboración propia

Respecto a la distribución de poros, el sustrato presenta relación estrecha entre porcentaje de macroporos y microporos, lo que se refleja en un balance entre espacios que permiten el movimiento de aire y agua, así como la acumulación de agua en el sustrato. Para ello, el volumen de macroporos no debe ser tan alto como para ocasionar pérdida de humedad y, a su vez, el volumen de microporos no debe exceder niveles que favorezcan alta retención de humedad y, en consecuencia, zonas de saturación en el sustrato (tabla 12).

Tabla 12. Propiedades físicas y químicas de sustrato elaborado con fuentes regionales para la producción de plántulas en ambientes protegidos

Propiedades físicas													
	Densidad		Distribución de poros						Característica conferida por la Porosidad				
	Aparente	Real	($\%$)										
			Macro	Meso	Micro	Porosidad Total		Proporción macro: micro					
Cascarilla de arroz + cachaza compostada + arena + limo/carbonilla	0,8	2,5	48,9	1,7	16,6	67,2	Óptima	(3:1)	Balance aire-agua (acumulación y disponibilidad).				
Sustrato óptimo*	< 0,75	1,4-2,6	20-30		4,0-10	65-85	(5:1-3:1)	Balance aire-agua (acumulación y disponibilidad).					
Cascarilla de arroz + cachaza compostada + arena + limo/carbonilla	Humedad volumétrica (HV) (%)						Agua aprovechable (%)						
	0,1	0,3	1	3	15								
	Bares												
	19,1	18,3	18,26	17,4	16,6								
Propiedades químicas													
	pH	CE	C.O	N	C/N	CIC	P	K	Ca	Mg	Na		
	(1:2.5)	(dS/m)	($\%$)			meq/100 g	($\%$)						
	6,5	5,6	5,1	0,4	14,0	78,3	0,5	0,5	1,3	0,3	0,09		
Sustrato óptimo*	5,5-6,5	0,7-2	> 42		20-40	> 75							

*Valores referentes a sustrato óptimo (Martínez & Roca, 2011).
Fuente: Elaboración propia

Martínez y Roca (2011) consideran un volumen óptimo de macroporos entre 20-30 % y entre 4-10 % para microporos, que corresponderían a una relación macro:micro entre 5:1-3:1.

Un sustrato puede presentar una pobre retención de agua fácilmente disponible cuando 1) su porosidad total es baja, 2) los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad, 3) los poros son muy pequeños y la planta no es capaz de extraer una parte importante del agua, 4) existe una elevada concentración de sales en la solución acuosa, y 5) una combinación de las situaciones anteriores (Abad et al., 1993; Ansorena, 1994).

Químicamente, el sustrato presenta un pH en rango óptimo (5,5-6,5) y conductividad eléctrica que supera los límites permisibles (> 2 dS/m). Esto presenta una tendencia a riesgo de toxicidad para las plantas, principalmente asociado a contenidos de magnesio y sodio en solución, pero que puede ser manejado siempre y cuando se establezca un plan de riego y nutrición adecuado, que permita disminuir el nivel de sales y la toxicidad de las plantas dentro de la bolsa.

A su vez, la relación carbono-nitrógeno (C/N) muestra un valor por debajo de 20, lo que lo hace un sustrato con mayor estabilidad química, a diferencia de valores registrados por las fuentes individuales que estaban por encima de 30. Es probable, entonces, que se pueda tener un medio con características químicas y físicas como volumen, porosidad y capacidad de aireación sin mayor variación durante el periodo de permanencia del material vegetal en el vivero.

Respuesta agronómica de portainjertos sobre sustratos regional

La evaluación agronómica permitió definir que en el sustrato CA:CC:A:L/CAR se obtiene un buen desarrollo de plántulas de los portainjertos Citrumelo CBP 4475 y Citrange Carrizo, reflejado en un mayor promedio de las variables morfológicas de respuesta analizadas. Para las variables alométricas, altura y diámetro, el portainjerto Citrumelo CBP 4475 alcanza valores de 28,5 y 2,8 cm, mientras que para Citrange Carrizo se pueden alcanzar valores de 42,5 y 4,1 cm. Además, este último portainjerto se considera de mayor porte y desarrollo por condiciones genéticas. La variable *número de hojas* registró para ambos portainjertos un total de 20 y 28,9 hojas, respectivamente (figura 36).

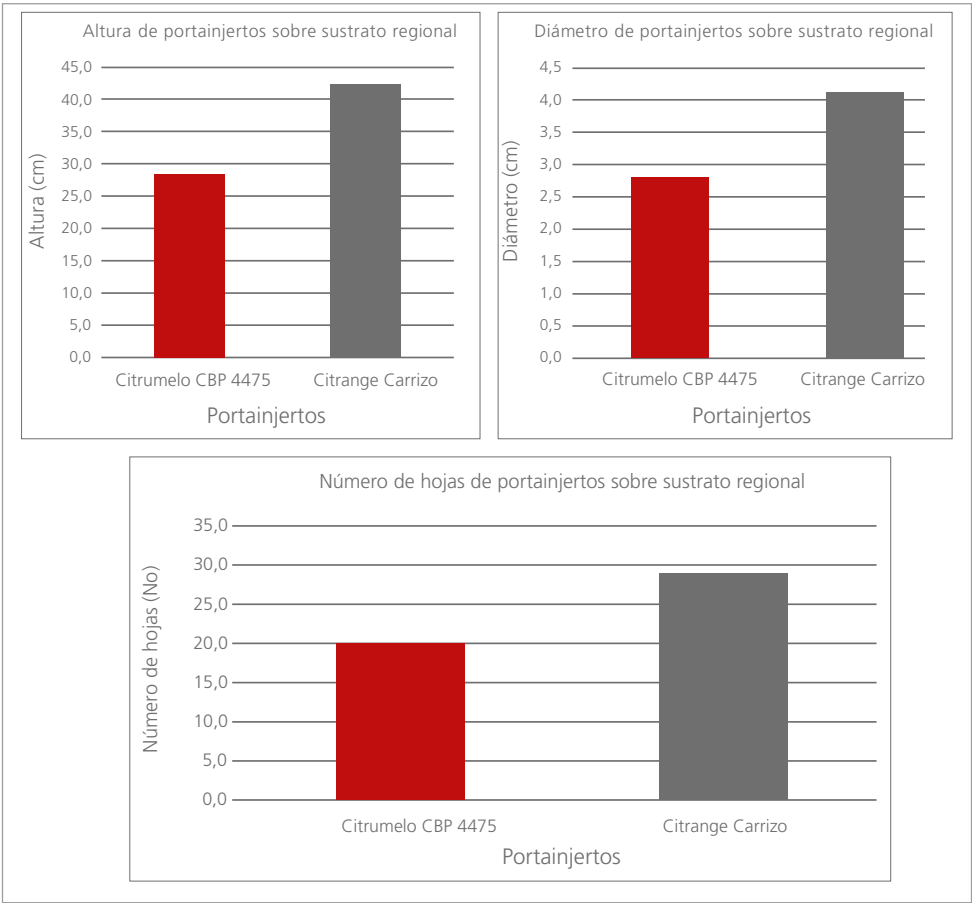


Figura 36. Variables morfológicas de respuesta agronómica de portainjertos sobre sustrato elaborado con fuentes regionales.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la respuesta de las plantas, se establece que la mezcla de fuentes regionales utilizadas para el sustrato constituye una alternativa viable frente a sustratos comerciales, ya que definen las características físicas y químicas que favorecen o alteran el desarrollo de las plantas en recipiente. En este caso, una mayor proporción de materiales como cascarilla de arroz (CA) y arena (A) permiten el mejoramiento de la porosidad del sustrato y potencializan una mayor dinámica físico-química de materiales más finos como la cachaza, que intervienen directamente en la retención de humedad y en la regulación de nutrientes en el sustrato.

Materiales y costos de producción de sustrato para producción de portainjerto

Los materiales utilizados para elaboración del sustrato CA:CC:A:L/CAR, reportado con mejor respuesta agronómica para la producción de portainjertos, corresponden a cascarilla de arroz + cachaza compostada + arena + limo/carbonilla. Sus costos de producción por bolsa, considerando materiales y mano de obra, se estima en \$2.320,8 (USD 0,73). En la tabla 13 se relacionan cantidades y costos de materiales requeridos para la elaboración de sustrato de aproximadamente 1.000 bolsas.

Tabla 13. Materiales y costos de producción de sustrato para producción de portainjerto. Valoración para 1.000 bolsas

Concepto	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor total (\$)
Insumos				
Cascarilla de arroz	Kg	350	429	149.975
Cachaza compostada	Kg	1.114		
Biocane	Kg	624	450	280.800
Micorriza	Kg	245	809	198.205
Lombricompost	Kg	245	708	173.460
Arena	Kg	2.462	194	477.628
Limo	Kg	348	194	67.512
Carbonilla	Kg	182	450	81.900
Bolsa plásticas	Bolsa	1.000	196	196.000
Palas metálicas para empaque	Pala	2	3.000	6.000
Subtotal insumos				1.631.480
Mano de obra				
Preparación de materiales	Jornal	0,5	35.000	17.500
Embolse de sustrato	Jornal	1,6	35.000	56.000
Subtotal de mano de obra				73.500
Total				1.704.980

Fuente: Elaboración propia

Agradecimientos

Los autores agradecen a la asistente de investigación Luz Marina Acosta, por su apoyo permanente en el registro de información.

Referencias

- Abad, M., Martínez-Herrero, M. D., Martínez-García, P. F., & Martínez-Cortes, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11, 141-154.
- Abad, M., & Noguera, P. (1997). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En M. Urrestarazu (Ed.), *Manual de cultivo sin suelo* (pp. 101-150). Universidad de Almería.
- Abad, M., & Noguera, M. (1998). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En L. Cadahía (Ed.), *Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales*, 2ª Ed (pp. 299-355). Ediciones Mundi Prensa.
- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2001). Aplicación de fósforo e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y el estado nutricional de *Citrus volkameriana* Tand & Pasq. *Terra*, 21, 503-511. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321111.pdf>
- Anicua, R., Gutiérrez, M., Sánchez, P., Ortiz, C., Volke, V., & Rubiños, J. (2009). Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura. Técnica en México*, 35(2), 147-156. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n2/v35n2a2.pdf>
- Ansorena, J. (1994). *Sustratos, propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Arango, E., Capote, M., Morera, S., & Clemente, J. (2010). *Viveros protegidos de cítricos. Manejo Técnico*. Taller Regional sobre viveros de cítricos, La Habana, Cuba. <http://riacnet.net/wp-content/uploads/2014/11/Conf-4-Viveros-protegidos.pdf>
- Artetxe, A., Beunza, A. I., & Terés, V. T. (1997). Caracterización física de los sustratos de cultivo. *Horticultura*, 125, 38-41. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1997_125_38_41.pdf
- Bárbaro, L., Soto, M., Sisaro, D., Karlanian, M., & Stancanelli, S. (2017). *Sustratos para techos verdes sustentables (extensivos)*. Ediciones INTA. Instituto de Floricultura.

- Bárbaro, L., Morisigue, D., Karlanian, M., & Buyatti, M. (2009). Producción de Plantas de Coral (*Salvia Splendens* L.) en Sustratos Realizados a Base de Composts de Restos de Poda y Suelo con Diferentes Dosis de Fertilización. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 8(2), 7-18. <https://doi.org/10.14409/fa.v8i2.1344>.
- Biauxuli, C., & Aguilar, J. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias*. Generalitat Valenciana.
- Bowman, D. C., & Paul, J. L. (1983). Understanding of container media vital knowledge for growing successful plants. *Pacific Coast Nurseryman and Garden Supply Dealer, March Issue*, 48-50.
- Bunt, A. C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin Hyman Ltd.
- Burés, S. (1997). *Sustratos*. Agrotécnicas S. L.
- Burés, S. (1999). Introducción a los sustratos: aspectos generales. En N. Pastor (Ed.), *Tecnología de sustratos: aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal* (pp. 19-46). Universidad de Lleida.
- Burés, S. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura*, 1, 70-79. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_hortint/hortint_2002_E_70_79BIS.pdf
- Cabrera, R. I. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en macetas. *Revista Chapingo Serie Hortícola*, 5(1), 5-11. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.1998.03.025>
- Cabrera, R. I., & Johnson, J. (1995). *Fundamentals of container media management, Part. 1*. Rutgers Cooperative Extension Factsheet N.º 950.
- Cadahía, L. (2005). *Fertirrigación. Aspectos básicos – Fertirrigación de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*, 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa.
- Dalzell, H., Biddlestone J., Gray, R., & Thurairajan, K. (1991). *Manejo del suelo, producción y uso de compost en ambientes tropicales y subtropicales*. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas.
- García, O., Alcántar, G., Cabrera, R., Gavi, F., & Volke, V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoam*, 19, 249-258. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319306.pdf>
- Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M., & Garruña-Hernández, R. (2016). Sustratos para producción de flores. *Agrociencia*, 50(5), 617-631. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n5/1405-3195-agro-50-05-617.pdf>

- Henao, M., & Flórez, V. (2006). Relación entre la composición química de los lixiviados y el tipo de sustrato en un sistema de producción de rosa y clavel sin suelo. En V. Flórez (Ed.), *Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana* (pp. 265-281). Unibiblos.
- Kafkafi, U. (2008). Functions of the root system. En M. Raviv, & J. Leith (Eds.), *Soilless culture: theory and practice* (pp. 13-40). Elsevier.
- Martínez-Farré, F. X. (1992). Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de las I Jornadas de Sustratos, SECH*, 55-66.
- Martínez, P., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo, propiedades y manejo. En V. Flórez (Ed.), *Sustratos, manejo de clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 37-78). Unibiblos.
- Mascarini, L., Lorenzo G., Svartz, H., Pesenti, S., & Amado S. (2012). Tamaño de contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, 18, 71-77.
- Monsalve, O. (2016). *Caracterización química de mezclas de materiales orgánicos y minerales con potencial de uso en cultivos sin suelo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia]. Repositorio UNAL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57943>
- Morales M., E., & Casanova L., F. (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 365-372. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19331>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (Oirsa). (2002). *Producción de sustratos para viveros*. Vifinex.
- Quintero, M., González, C. A., & Guzmán, J. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En V. J. Flórez R. (Ed.), *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (pp. 79-108). Universidad Nacional de Colombia.
- Raviv, M., Lieth, J., Bar-Tal, A., & Silber, A. (2008). Growing plants in soilless culture operational conclusions. En M. Raviv & J.H. Leith (Eds.), *Soilless culture: Theory and practice* (pp. 545-567). Elsevier.
- Sanz, J., Uribarri, A., Sadaba, S., Aguado, G., & Castillo, J. (2003). Hidroponía en Navarra. En R. Biurrun (Ed.), *Navarra Agraria*, 136, 37-48.
- Urrestarazu, M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Mundi-Prensa.

- Valenzuela, O. R., Gallardo, C. S., & Rode, M. I. (2004). *Caracterización de algunos materiales clásicos utilizados en la formulación de sustratos*. En II Congreso Argentino de Floricultura y Plantas Ornamentales (pp. 200-202). INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Vargas-Tapia, P., Castellanos-Ramos, J. Z., Muñoz-Ramos, J. D. J., Sánchez-García, P., Tijerina-Chávez, L., López-Romero, R. M., & Ojodeagua-Arredondo, J. L. (2008). Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*, 34(3), 323-331. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n3/v34n3a7.pdf>
- Vence, L. B. (2008). Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del Suelo*, 26(2), 105-114. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v26n2/v26n2a01.pdf>

AGROSAVIA

Área de producción
de portainjertos
de cítricos



Capítulo IV

Desarrollo y multiplicación de variedades comerciales de cítricos

Mauricio Fernando Martínez

Julienne Barreto

Nubia Murcia

La producción de plantas de cítricos tiene como objetivo garantizar la obtención de árboles sanos, bien desarrollados, con autenticidad varietal y calidad agronómica. Su proceso de producción es similar al de otros frutales; sin embargo, para cumplir con la producción de plantas de cítricos de calidad se requiere un manejo tecnificado, detallado y sistemático (Barahona & Sancho, 2000).

Los cítricos se reproducen de forma asexual. El método más común es la injertación, que se realiza luego de que el patrón se desarrolla y ha alcanzado un diámetro adecuado. La injertación es la técnica que permite unir partes de dos plantas, de forma que al final del proceso se obtiene una única planta. A pesar de que se realiza la unión a través de esta técnica, se mantiene las cualidades propias de la variedad

injertada y del portainjerto elegido, con el fin de producir una planta con mejor adaptación, mayor rendimiento, alta calidad de frutos y sanidad (Collado, 2014; Sequeira et al., 2014).

Dentro de las ventajas del uso de esta técnica, se pueden destacar las siguientes:

- Facilita la multiplicación de variedades en diversas zonas por medio del uso de patrones adaptados.
- Acorta el periodo juvenil de las plantas, lo que permite mayor precocidad en el inicio de la producción comparada con las plantas no injertadas.
- Perpetúa variedades que no producen semilla.
- Mantiene los caracteres agronómicos, genéticos y demás características potenciales de interés.

A pesar de las ventajas comparativas de esta técnica, es necesario considerar la afinidad entre la copa y el patrón que se utiliza para injertar, debido a que una combinación inadecuada tiene un efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo del injerto y su posterior establecimiento en campo (Sequeira et al., 2014).

Proceso de injertación

Luego de que el patrón se ha desarrollado y obtiene diámetros cercanos a los 0,8 mm, se dice que ha alcanzado un diámetro adecuado para la injertación (figura 37a). Antes de realizar el proceso de injertación, se recomienda aplicar una lámina de riego a los patrones, con el fin de facilitar el corte. Además, se debe realizar una eliminación por debajo de los 20 cm de las hojas y espinas presentes en el tallo, empleando herramientas limpias y desinfectadas (figura 37b).



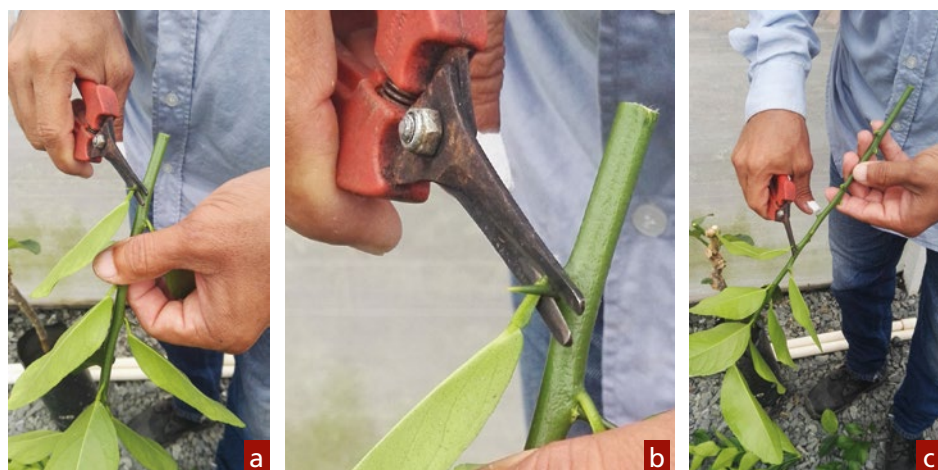
Fotos: Juliene Barreto.

Figura 37. Preparación del portainjerto y cosecha de varetas. a. Diámetro adecuado para la injertación, portainjerto Sunki $\times$ English; b. Eliminación de hojas y espinas; c. Cosecha de yemas de plantas donadoras de yemas.

La altura de injertación recomendada es 20-25 cm, ya que los injertos que se realicen por debajo de esta altura pueden desarrollar malformaciones en la zona de la unión del injerto y se pueden ver afectados por patógenos presentes en el suelo (Morin et al., 1980).

Para la multiplicación de las variedades, es necesario seleccionar plantas maduras, sanas y con características agronómicas típicas de la variedad. La selección de yemas se debe realizar a partir de ramas cuya madera este endurecida, pero que aún tenga la corteza verde, lo que garantiza disponibilidad de yemas bien conformadas (Barahona & Sancho, 2000). Una vez se realice la selección de las varetas, se procede a realizar el corte utilizando herramientas previamente desinfectadas (figura 37c).

Para evitar la deshidratación de las yemas recién cosechadas, se recomienda una eliminación de las hojas (conservando el peciolo) y espinas (figura 38). Las varetas deshojadas deben ser envueltas en un papel o tela humedecida y almacenadas en una bolsa plástica perforada debidamente marcada hasta su uso. Es importante no realizar mezclas de yemas de diferentes variedades al momento de la cosecha.



Fotos: Juliene Barreto

Figura 38. Preparación del portainjerto y cosecha de varetas. a. Diámetro adecuado para la injertación, portainjerto Sunki $\times$ English; b. Eliminación de hojas y espinas; c. Cosecha de yemas de plantas donadoras de yemas.

Existen diferentes maneras de realizar la injertación, que reciben nombre por su forma o por el modo en que acomodan la yema en el patrón. Barahona y Sancho (2000) afirmaron que el método universal recomendado para cítricos es el injerto en “T” o “T” invertida. Sequeira et al. (2014) lo recomienda por su facilidad en la ejecución y porque evita la penetración de agua al injerto. Sin embargo, comercialmente se utilizan otros métodos, como el injerto en parche.

El injerto en “T” se lleva a cabo realizando dos incisiones sobre el patrón una de forma vertical (figura 39a) y otra de forma horizontal (figura 39b); a continuación, se inserta la yema recién extraída de la vareta (figura 39c), procurando que haya buen contacto entre la yema y el patrón (figura 39d) y se recubre la zona con un plástico transparente que ayuda a mantener la unión entre las dos partes (figura 39e); recubrir la zona con el plástico genera un aumento en la temperatura, lo que favorece la formación del callo y protege la unión de factores externos (figura 39f).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 39. Injertación en “T” invertida. a. y b. Corte vertical y horizontal en corteza; c. Cosecha de yema; d. Inserción de yema; e. y f. Cubrimiento de la zona de injertación con plástico.

Para el injerto en parche, se realiza un corte superficial en la corteza del patrón, en una parte lisa del tallo a una altura de 20-25 cm, donde no haya crecimientos de yemas (figura 40a). A continuación, se cosecha la yema de la varetta, teniendo en cuenta el tamaño del corte realizado en la corteza (figura 40b), con el fin de que ambas partes tengan un tamaño similar, lo que facilita el prendimiento (figura 40c). Para finalizar, al igual que en la técnica anterior, ambas partes se aseguran utilizando una cinta plástica (figura 40e, f).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 40. Injertación en parche. a. Corte; b. Altura del corte en la corteza del portainjerto; c. Cosecha de yema; d. Inserción de yema; e. y f. Cubrimiento de la zona de injertación con plástico.

Para favorecer el crecimiento del injerto, 15 días después de injertación se realiza el descope, práctica que consiste en eliminar la porción del tallo que se encuentre por encima del injerto, con el fin de romper la dominancia apical, así como favorecer una mayor afluencia de savia hacia la zona de la unión y, por su efecto, sobre el vigor y precocidad en las yemas (Morin et al., 1980).

Se debe retirar la cinta plástica con la cual se realizó el amarre entre la yema y el patrón, para evitar estrangulamientos en el brote. Estas labores se deben realizar sin importar qué método de injertación se haya elegido.

Cuando el injerto es viable, las yemas presentan una coloración verde claro y se observa una hinchazón propia del prendimiento (figura 41a, b); por el contrario, cuando el injerto no es viable, se observa un cambio de coloración en la yema de verde a café, deshidratación e independencia entre el patrón y la yema (figura 41c).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 41. Crecimiento y desarrollo de la yema después de injertación. a. Yema viable; b. Yema iniciando brotación; c. Yema muerta.

El desarrollo de copas inicia con el crecimiento de la yema, estado en el que las características propias de la variedad y el patrón sobre el cual se realizó la injertación determinan el tiempo que se requiere para que la planta esté lista para llevar a

campo. En estudios realizados por AGROSAVIA en el 2017, se evaluó el crecimiento de la variedad lima ácida Tahití y la naranja Frost Valencia, injertadas sobre los portainjertos limón Volkameriana y Citrumelo CPB 4475. Los resultados obtenidos muestran el efecto del patrón sobre el crecimiento del injerto, ya que las yemas de ambas variedades injertadas sobre el portainjerto Volkameriana mostraron un crecimiento más acelerado que las yemas injertadas sobre el patrón CPB 4475 en el mismo periodo de tiempo (figuras 42 y 43).

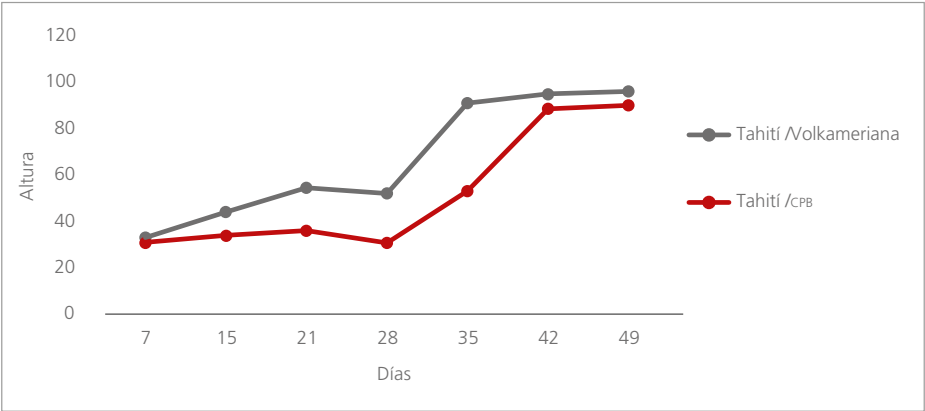


Figura 42. Crecimiento de lima ácida Tahití, injertada sobre los portainjertos limón Volkameriana y Citrumelo CPB 4475.
Fuente: Elaboración propia

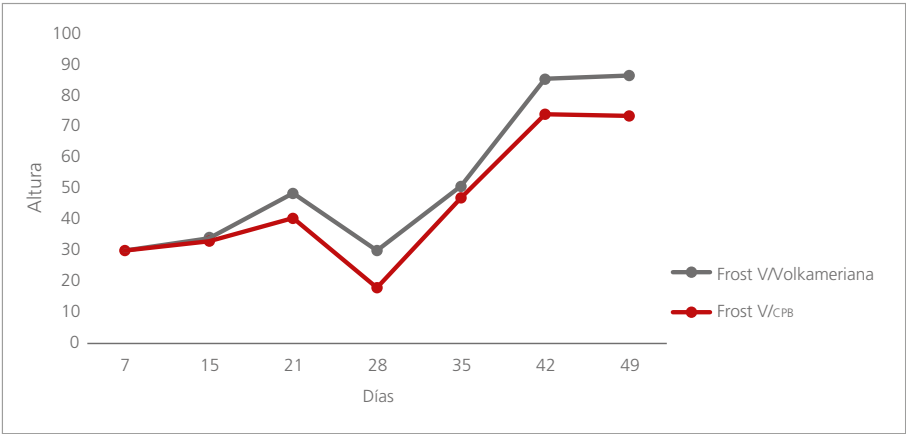


Figura 43. Crecimiento de naranja Frost Valencia injertada sobre los portainjertos limón Volkameriana y Citrumelo CPB 4475.
Fuente: Elaboración propia

Luego de que la yema inicia su crecimiento, es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones para un buen desarrollo de la planta que se planea establecer en campo:

- Realizar un control manual continuo para retirar los chupones o brotes laterales que pueden competir por los nutrientes y afectar el desarrollo del injerto.
- Colocar un tutorado al momento del desarrollo del injerto para lograr un mayor paralelismo entre el eje del patrón y el nuevo injerto, ya que a mayor paralelismo mayor eficiencia entre la unión y el movimiento de savia (Morin et al., 1980).
- Monitorear constantemente para realizar un manejo fitosanitario adecuado que reduzca al mínimo el riego de pérdidas por daños directos o indirectos, entre otros.

Fertilización y riego

Con el fin de evitar deficiencias nutricionales, se recomiendan fertilizaciones en *drench* cada 20 días, utilizando fuentes compatibles que compensen las necesidades de elementos mayores y menores de las plantas. Para satisfacer los requerimientos hídricos, es necesario realizar dos o tres riegos semanales, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona de producción. Para el Valle del Cauca, con una temperatura ambiente + 28 °C, es necesario regar tres veces por semana.

Control de malezas y deschuponado

Durante el desarrollo del injerto, es importante realizar el control manual de aquellas malezas que se presenten dentro de la bolsa de vivero, para evitar competencia por nutrientes; además, se requiere la eliminación de brotes o chupones que crezcan por debajo de la zona de injertación, ya que restan vigor y retardan el desarrollo del injerto. Al iniciar la brotación de la yema, es común que se presente el desarrollo de dos crecimientos; se recomienda eliminar el menos vigoroso. A partir de crecimientos del brote cercanos a 5 cm, se debe colocar un tutor o guía, con el fin de garantizar un crecimiento vertical del injerto.

Referencias

- Barahona, M., & Sancho, E. (2000). Cítricos. En *Fruticultura especial II* (pp. 65-66). Universidad Estatal a Distancia.
- Collado, J. (2014, febrero 11). *El injerto de cítricos en campo*. <http://www.tecnicoagricola.es/el-injerto-de-citricos-en-campo/>
- Morín, L. (1980). *Cultivo de Cítricos* (N.º IICA-LME 39). IICA.
- Sequeira, A., Pavón, J., López, H., Fuentes, C., Guido, A., & López, O. (2014). *Técnicas de Injertación*. INTA Guía Tecnológica, 25(36). <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA INJERTO 2014.pdf>





Capítulo V

Prevención y manejo de plagas en ambiente protegido

Yeison López-Galé

Mauricio Fernando Martínez

Takumasa Kondo

La propagación de plántulas de cítricos bajo condiciones protegidas es una medida que se viene adoptando en Colombia en los últimos años, debido en gran parte a la llegada de nuevas limitantes fitosanitarias como el Huanglongbing (HLB), el virus de la leprosis, entre otros, que pueden atentar contra la citricultura nacional. Sin embargo, bajo condiciones protegidas, el control de plagas representa uno de los mayores desafíos, en parte porque las condiciones microclimáticas son más estables y propicias para la proliferación e incrementos poblacionales de artrópodos dañinos, sumado a la falta de rotación del sistema de producción y a la escasez de enemigos naturales que regulen sus poblaciones (Larrain et al., 2012).

En viveros comerciales, la prevención y manejo de plagas son actividades esenciales para la producción de material sano e indispensables para el crecimiento y desarrollo de la citricultura del país, debido a que estos sitios de propagación constituyen la principal fuente de material de siembra para los agricultores.

Dentro de las principales plagas asociadas a sistemas de producción de cítricos en viveros protegidos en Colombia, se encuentran los ácaros Tetranychidae y Tarsonemidae, moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), escamas blandas (Hemiptera: Coccidae), escamas de armadura (Hemiptera: Diaspididae), cochinillas harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae) y minadores de hoja (Lepidoptera: Gracillariidae) (Bermúdez & Acosta, 2007; León & Kondo, 2017).

Plagas frecuentes en invernaderos de cítricos en el Valle del Cauca, Colombia

Es importante hacer énfasis en que los artrópodos plaga registrados como vectores de enfermedades por ningún motivo deben estar presentes en viveros protegidos de cítricos y, para evitarlo, se deben tomar todas las medidas necesarias. Entre estas plagas, sobresalen las de cítricos, como el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus*, que causa la enfermedad de HLB o dragón amarillo; el áfido negro de los cítricos *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae), vector del virus de la tristeza de los cítricos (CTV) y el ácaro de la leprosis *Brevipalpus yothersi* Baker (antes, *B. Phoenixis*) (Tenuipalpidae).

Ácaros (Acari)

Los ácaros son un grupo de artrópodos muy diversificado que han colonizado una gran variabilidad de hábitat naturales y antrópicos; pertenecen a la subclase Acari (clase Arachnida) y están estrechamente relacionados taxonómicamente con arañas, opiliones y escorpiones (Norton, 1998).

Los ácaros se caracterizan por ser organismos muy pequeños (< 1 mm), generalmente de cuerpo ovalado; poseen cuatro pares de patas, a excepción de los miembros de la familia Eriophyidae (dos pares), un exoesqueleto quitinoso y el tórax se encuentra fusionado con el abdomen formando el idiosoma (Evans, 1992; Mesa, 1999, 2000;

Norton, 1998). Además, de acuerdo con sus hábitos alimenticios, los ácaros pueden ser clasificados como fitófagos, saprófagos, micófagos, hematófagos y depredadores (Krantz, 2009).

Los ácaros de hábitos fitófagos, pertenecientes a las familias Tarsonemidae, Tetranychidae, Tenuipalpidae y Eriophyidae, son los de mayor importancia agrícola, debido a que muchas de sus especies se pueden encontrar asociadas a cultivos agrícolas como plagas primarias o secundarias, lo que en muchas ocasiones genera daños ligeros o severos (Mesa & Rodríguez, 2012).

Cada grupo de ácaros ocasiona un daño característico que puede afectar el desarrollo y sanidad de las plantas atacadas; sin embargo, en general, estos poseen quelíceros modificados que utilizan como estiletos para penetrar y extraer los contenidos celulares de las hojas y tallos tiernos, lo que trae como resultado la clorosis y despigmentación, que puede estar acompañada de encrespamiento, deformación, inducción de agallas y proliferación anormal de tricomas (Moraes & Flechmann, 2008).

Las especies de ácaros registradas para la región suroccidental de Colombia, que afectan la producción de cítricos en ambientes protegidos o invernaderos, corresponden a *Panonychus citri* (McGregor), *Tetranychus urticae* Koch (Tetranychidae) y *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Tarsonemidae), mientras que en etapa de establecimiento y productiva del cultivo las de mayor importancia, por generar daños directos y por ser vectores de algunos patógenos, son *Brevipalpus yothersi* Baker (Tenuipalpidae) y *Phyllocoptruta oleivora* (Eriophyidae). En invernaderos de cítricos, *P. citri* y *T. urticae* son ácaros muy frecuentes. Comúnmente son conocidos como ácaros rojos, y se caracterizan por ser polífagos, debido a que atacan una amplia variedad de especies de cítricos y otros frutales perennes (Mesa, 1999).

El daño generado por *P. citri* y *T. urticae* en plantas de cítricos bajo condiciones protegidas es muy similar en ambas especies. Los daños se identifican por la decoloración difusa de color blanquecino en hojas y tallos jóvenes, como consecuencia de las múltiples picaduras que estos realizan para extraer la sabia y contenidos celulares (Mesa, 2000; Mesa et al., 2011) (figura 44). También se puede observar reducción y deformación de la lámina foliar, al igual que la pérdida de la longevidad de la planta afectada. En infestaciones severas, estos ácaros generan deformación de tallos apicales y caída de hojas, así como también pueden formar una entramada red de telarañas entre hojas y tallos (figura 44).



Fotos: Yeison López-Galé

Figura 44. Daños producidos por ácaros Tetranychidae en plantas de cítricos bajo ambientes protegidos. a. Adulto y huevos de *Tetranychus urticae*; b. Decoloración blanquecina en envés de hoja; c. Deformación de tallos apicales y aparición de telaraña.

Por otro lado, *P. latus*, también conocido como ácaro blanco de los cítricos, es un ácaro que se asocia principalmente a tallos tiernos en invernaderos de cítricos; el daño que causa este ácaro se reconoce cuando aparece un bronceado color pardo de baja intensidad en hojas, que puede estar acompañado de un leve doblaje del borde en la lámina foliar (Castaño, 2000; Mesa, 1999; Mesa et al., 2011). Según Mesa et al. (2011), el daño producido por *P. latus* en plantas de cítricos es apreciable después de siete días de la infestación inicial.

Moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae)

Las moscas blancas son insectos chupadores diminutos del orden Hemiptera, de metamorfosis incompleta; las ninfas y adultos causan daño a las plantas al extraer la savia de las hojas (León & Kondo, 2017). La fauna de moscas blancas descritas a nivel mundial está compuesta actualmente por alrededor de 1.560 especies que pertenecen a unos 160 géneros (Martin & Mound, 2007). Actualmente, se reportan tres subfamilias de moscas blancas: Aleurodicinae, Aleyrodinae y Udamoselinae, y un pequeño número de taxones de moscas blancas conocidos del registro fósil. La subfamilia Udamoselinae solo contiene dos especies sudamericanas en un género. La subfamilia Aleurodicinae es principalmente del Nuevo Mundo (región neotropical) en distribución e incluye 133 especies en 19 géneros, y la subfamilia Aleyrodinae tiene distribución mundial e incluye todas las otras moscas blancas descritas (1.424 especies en 148 géneros) (Kondo & Evans, 2012).

Según León y Kondo (2017), las especies de moscas blancas registradas como plagas en cítricos en Colombia incluyen *Aleurocanthus woglumi* Ashby, *Aleuronudus* sp., *Aleurothrixus floccosus* (Maskell), *Dialeurodes citri* (Ashmead), *Parabemisia* sp. y *Paraleyrodes citri* Bondar.

En condiciones de vivero y en invernaderos de cítricos, las moscas blancas son el grupo de insectos de mayor frecuencia y severidad para la región suroccidental colombiana. En el presente estudio, se encontraron tres especies que afectan los cítricos en condiciones de invernadero en el Valle del Cauca, identificadas como *Parabemisia myricae* (Kuwana), *Paraleyrodes* sp. y *Dialeurodes* sp. *P. myricae* ha sido reportada en 17 departamentos de Colombia (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2013).

Estos insectos pueden colonizar de forma masiva los brotes tiernos y hojas apicales por el haz y por envés con registros de hasta 27 individuos adultos por hoja, según monitoreos realizados en AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Palmira, durante el 2017. Los ataques de mosca blanca logran producir el debilitamiento, clorosis y deformación progresiva en plántulas de cítricos, que pueden estar acompañados de la secreción de sustancias azucaradas que favorecen el desarrollo de fumagina (por ejemplo, *Capnodium* spp.) y, por tanto, causar la disminución de los procesos fotosintéticos y fisiológicos en hojas (Byrne et al., 1990; León & Kondo, 2017) (figura 45).



Fotos: Yeison López-Galé

Figura 45. Daño causado por mosca blanca en plantas de cítricos en condiciones de ambientes protegidos. a. Mosca blanca en hojas; b. Hojas con síntomas de fumagina.

Insectos escama (Hemiptera: Coccoomorpha)

Los insectos escama, también conocidos como cocoideos o simplemente escamas, son insectos chupadores que pertenecen al orden Hemiptera (León & Kondo, 2017). En su mayoría, las escamas miden menos de un centímetro de longitud y poseen un aparato bucal chupador en forma de estilete que está adaptado para alimentarse de la savia de las plantas. Frecuentemente, se encuentran aglomerados en hojas, ramas, troncos y frutos.

Las escamas (Cocomorpha) son insectos relacionados con moscas blancas (Aleyrodoidea), áfidos (Aphidoidae) y psílidos (Psylloidea), y junto con estos insectos conforman el suborden Sternorrhyncha (Gullan & Martin, 2009). A nivel mundial, se conocen unas 32 familias de insectos escama (Kondo et al., 2008); morfológicamente, se dividen en dos grupos informales: los arqueococoideos y los neococoideos (Gullan & Cook, 2007).

De acuerdo con León y Kondo (2017), en Colombia existen 36 especies que se consideran plagas de cítricos, pertenecientes a seis familias (Coccidae, Diaspididae, Margarodidae, Monophlebidae, Ortheziidae y Pseudococcidae).

En el presente estudio realizado en el Valle del Cauca, en condiciones de invernadero, se identificaron dos especies de escamas blandas: *Coccus hesperidum* L. (Hemiptera: Coccidae) (figura 46a) y *Coccus viridis* (Green) (figura 46b), una especie de escama de armadura, el piojo blanco de los cítricos *Unaspis citri* (Comstock) (Hemiptera: Diaspididae) (figura 46c), y dos especies de cochinillas harinosas: la cochinilla harinosa de los cítricos *Planococcus citri* (Risso) (figura 46d) y la cochinilla harinosa de cola larga *Pseudococcus longispinus* Targioni Tozzetti (Hemiptera: Pseudococcidae).



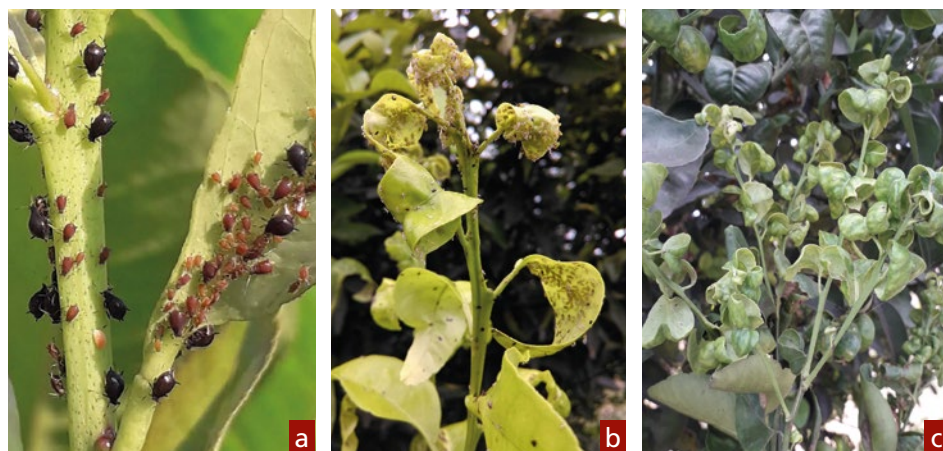
Fotos: Yeison López-Galé

Figura 46. Insectos escamas registrados en viveros protegidos. a. *Coccus hesperidum*; b. *Coccus viridis*; c. *Unaspis citri*; d. *Planococcus citri*.

Pulgones o áfidos (Hemiptera: Aphididae)

Los insectos del orden Hemiptera, familia Aphididae, se conocen como áfidos o pulgones. En general, los áfidos tienen un cuerpo blando, con antenas hasta de seis segmentos; tienen un aparato bucal picador-chupador compuesto por dos pares de estiletes flexibles y esclerosados utilizados para atravesar la epidermis de las plantas y llegar al floema en el que se alimentan; asimismo, tienen patas largas y delgadas, tarsos de dos segmentos y dos uñas, y un par de tubos ubicados en la parte posterior del abdomen, conocidos como sifones o cornículos, por el que secretan un líquido defensivo. En condiciones adversas, algunas especies producen progenie de insectos “alados” para dispersarse a otras fuentes de alimento (Kondo, 2010).

Según León y Kondo (2017), estos insectos suelen considerarse como plagas secundarias, esporádicas, debido a que muchas especies tienen una reproducción partenogenética, es decir, las hembras vírgenes pueden reproducirse sin necesidad de apareamiento. Típicamente los áfidos conviven en colonias grandes en brotes jóvenes que producen retraso en el crecimiento de las plantas, así como amarillamiento y distorsión en hojas apicales (figura 47).



Fotos: Yeison López-Galé

Figura 47. Daños por áfidos en plantas de cítricos. a. Áfido negro de los cítricos *Toxoptera* sp.; b. Amarillamiento de brotes apicales; c. Encrespamiento de hojas.

Aparte del daño directo, el mayor problema que presentan los áfidos es su capacidad de actuar como vectores de virus. Para el Valle del Cauca, se registran tres especies de áfidos que afectan plantaciones de cítricos: *Aphis gossypii* Glover, *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) y *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), todos capaces de transmitir el virus de la tristeza de los cítricos (Komazaki, 1993).

Minador de hoja (Lepidoptera: Gracillariidae)

El minador de los cítricos o minador de la hoja de los cítricos, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), es una especie originaria del sudeste de Asia, considerada una de las plagas más importantes de la citricultura en el mundo (Neale et al., 1995). En Colombia, el minador de los cítricos fue registrado por primera vez en 1995 en la zona cafetera de Colombia (Castaño, 1996), y en la actualidad está reportado en todas las áreas productoras de cítricos del país (León & Campos, 1999).

Las larvas del *P. citrella* causan daños al alimentarse entre la epidermis y el mesófilo de las hojas, así como en las ramas pequeñas de los árboles, lo que forma galerías (León & Kondo, 2017). El *P. citrella* se alimenta de toda variedad de cítricos, incluyendo limas, limones, naranjos, mandarinos, pomelos, tangelos y toronjas (Castaño, 1996). Puede ser un problema grave en plántulas de invernadero, ya que prefiere atacar hojas tiernas en las que, por lo general, forman encrespamiento y rusticidad que afecta su adecuado desarrollo (figura 48).



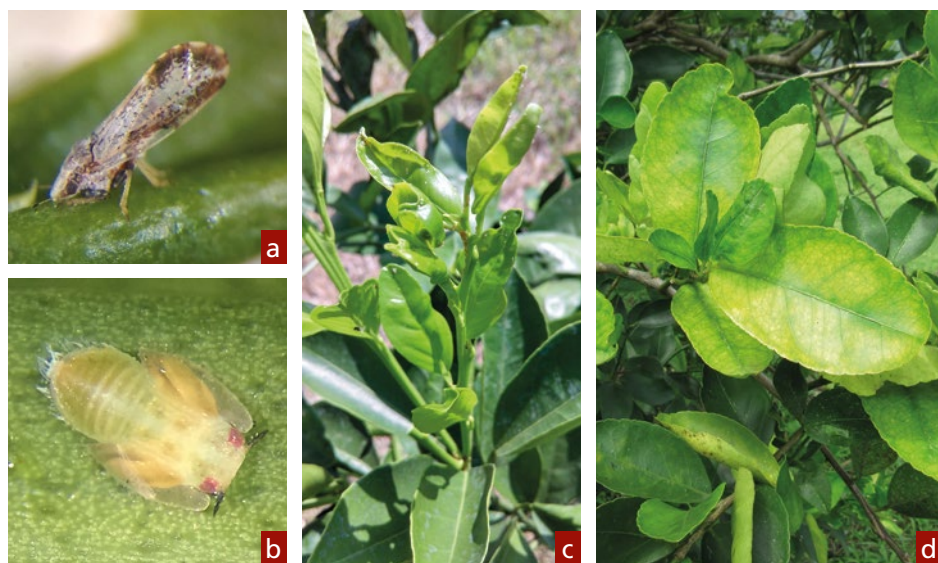
Fotos: Yeison. López-Galé

Figura 48. Daños en plantas de cítricos producidos por *P. citrella* en condiciones de invernadero. a. Minas en hojas; b. Deformación, encrespamiento y rusticidad de hojas apicales.

Psílido asiático de los cítricos (Hemiptera: Liviidae)

El psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), como su nombre lo indica, es una especie ampliamente distribuida en áreas tropicales y subtropicales de Asia, y una especie introducida en el Caribe y las Américas (Mead & Fasulo, s. f.).

En Colombia, el psílido asiático de los cítricos ha sido registrado desde el 2007 y actualmente se encuentra en 26 departamentos del país (Kondo et al., 2017). Halbert y Keremane (2004) reportan como hospedantes de *D. citri* plantas en 25 géneros de la familia Rutaceae. Según León y Kondo (2017), las principales plantas hospederas de *D. citri* en Colombia, además de los cítricos, son el mirto *Murraya paniculata* (L.) y la swingle *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr., utilizadas ampliamente en el país como plantas ornamentales y cercos vivos, lo que favorece la dispersión y establecimiento de las poblaciones de la plaga. *Diaphorina citri* ocasiona daños directos mediante la deformación y remoción de la savia de las hojas (figura 49).



Fotos: Yeison López-Galé, Takumasa Kondo

Figura 49. *Diaphorina citri*. a. Adulto; b. Ninfa del quinto instar; c. Daño en brotes tiernos; d. Planta de lima ácida Tahití con síntomas de HLB.

Sin embargo, el mayor problema radica en que *D. citri* es el vector de la bacteria causante del Huanglongbing (HLB), enfermedad catastrófica de los cítricos (Mead & Fasulo, s. f.).

Manejo integrado de plagas

Debido a la creciente necesidad de un entorno sano y a la tendencia del mercado a ser más exigente en la adquisición de productos libres de problemas sanitarios, el manejo integrado de plagas (MIP) en ambientes protegidos para la producción de cítricos en Colombia se constituye en una de las tareas básicas y de prioridad que debe ser realizada de forma oportuna. El MIP se refiere al manejo de insectos, otros animales y plantas (por ejemplo, malezas), mediante la integración de diferentes tácticas de manejo, tales como control biológico, control cultural, control químico y resistencia de las plantas, para mantener las poblaciones bajo niveles de daño económico, utilizando las tácticas más económicas y compatibles con el medio ambiente (Ferro, 1994).

La implementación de estos programas exige reconocer las plagas y sus posibles enemigos naturales; entender sus biología y comportamientos; desarrollar técnicas de monitoreo adecuadas de fácil aplicabilidad, e incorporar el concepto de umbral de acción en las decisiones de manejo (Ripa & Larral, 2008). A continuación, se lista una serie de recomendaciones para evitar los daños causados por plagas en condiciones de invernadero.

Prevención

La implementación de un programa de MIP para la producción de plántulas de cítricos en ambientes protegidos debe considerar, en primera instancia, evitar la entrada y establecimiento de artrópodos que causan daños directos y, principalmente, aquellos que son vectores de enfermedades. Para este fin, es necesario contar con instalaciones adecuadas que garanticen hermeticidad de los sistemas de producción, y deben ser construidas con soportes metálicos que avalen resistencia de la estructura ante fenómenos climáticos adversos, así como disponer de malla antiáfidos con abertura adecuada (0,3-0,87 mm) y cubierta de plástico o vidrio de buena calidad, entrada con doble puerta y un sistema de ventilación que mantenga la temperatura óptima para el desarrollo de las plántulas de cítricos (Resolución ICA 12816 de 2019).

Es importante señalar que los viveros o invernaderos protegidos no están completamente libres de la ocurrencia indeseada de artrópodos plaga, sobre todo si las medidas de confinamiento antes mencionadas no son asumidas a cabalidad (González et al., 2010). Por ejemplo, la ruptura de mallas o cubiertas plásticas puede favorecer la entrada de algunos estados inmaduros o adultos de algunos insectos o ácaros, si no se realizan reparaciones de forma oportuna. Asimismo, personas que laboran en las instalaciones pueden convertirse en agentes dispersores de plagas de forma inconsciente, lo que ocurre por lo general cuando se ingresa al vivero proveniente del campo sin hacer la correcta limpieza de su indumentaria, y al ingresar material vegetal sin el control sanitario respectivo (Rojas et al., 2013).

Por consiguiente, los viveros protegidos o invernaderos deben mantener un programa de vigilancia y control permanente, con el fin de efectuar detecciones tempranas de artrópodos plaga.

Monitoreo

La relación entre las densidades poblacionales de la plaga y los daños que causan son la base del MIP. Este proceso comienza con la identificación correcta de la plaga muestreada. Las densidades de las plagas se determinan mediante muestreos (Ferro, 1994). El monitoreo es una actividad fundamental para determinar la abundancia y distribución de las plagas, pero también estima sus daños a través de evaluaciones periódicas, con el objetivo de conocer su fluctuación poblacional y desarrollar las bases para determinar umbrales de acción (Ripa & Larral, 2008).

Por lo general, se deben considerar métodos de monitoreo adecuados que estimen con la mayor precisión el comportamiento de las plagas. La frecuencia de muestreo dependerá de la plaga registrada; sin embargo, en condiciones de invernadero es apropiado realizar monitoreos semanales, ya que con frecuencia ácaros, moscas blancas y pulgones acortan sus ciclos biológicos bajo estas condiciones, hasta llegar a crecimientos poblacionales exponenciales en corto tiempo (Parrella & Nicholls, 1997; Ripa & Rodríguez, 1999).

Es necesario que los monitoreos se realicen bajo el mismo criterio de evaluación y que el personal que realiza esta actividad tenga conocimientos previos sobre la biología y ecología de las plagas priorizadas, siendo importante no realizar cambios frecuentes del personal que realiza los monitoreos, debido a que los criterios de evaluación pueden variar y generar inconsistencias a la hora de tomar decisiones.

Inspección visual

Este es un método de monitoreo directo, que se caracteriza por realizar la inspección activa de plántulas seleccionadas al azar, a las que se les hace revisión minuciosa de hojas, tallos, ramas y tronco, en búsqueda de artrópodos o daños ocasionados por estos (figura 50).



Foto: Diana Rodríguez-Mora

Figura 50. Inspección visual activa con un optivisor para el monitoreo de plagas en ambientes protegidos de cítricos

Para este tipo de inspección, se aconseja utilizar lupas de mano u optivisores con lente de aumento entre 10 y 15 X, que faciliten la revisión e identificación de las plagas en vivero. El éxito de encuentro o registro de los artrópodos plaga dependerá de la idoneidad del muestreo, al igual que los criterios de evaluación.

Instalación de trampas cromáticas

Las trampas cromáticas son utilizadas como un método de monitoreo indirecto, que comúnmente pueden detectar la presencia temprana de algunas plagas de hábitos voladores. Este método consiste en la instalación de láminas de plástico o papel de diferentes colores, impregnadas con una sustancia pegajosa por una u ambas caras,

como pegamentos industriales, fabricados para este fin, o aceites de origen natural, mineral o sintético. Entre las trampas más utilizadas, se encuentran las de color amarillo, por ser de amplio espectro, y las de color azul, que se utilizan especialmente para la captura de trips (Brosdsgaard, 1993).

Las trampas pueden ser instaladas en senderos o corredores dentro del vivero, aunque su mayor éxito de captura se obtiene cuando se instalan a la misma altura del follaje en desarrollo (Webb et al., 1985) (figura 51).



Fuente: Yeison López-Galé

Figura 51. Instalación de trampas amarillas en viveros protegidos.

El número de trampas que se instalarán depende del área del invernadero y de la plaga que se desea monitorear, aunque se recomienda que en las áreas de acceso el número de trampas sea mayor para contrarrestar la posible entrada de moscas blancas y pulgones (Stack et al., 2017-2018).

Colecta y preservación de muestras

La mayoría de los insectos se preservan clavados con alfileres, montados en láminas o en seco, aunque los estados adultos de algunos órdenes de insectos y todos los insectos inmaduros de cuerpo blando (huevos, larvas, ninfas, pupas y puparios) se preservan en viales con etanol (alcohol etílico) al 70-80 % o en montajes en láminas (Gullan & Cranston, 2014).

Las características necesarias para la identificación de las especies de insectos muy pequeños y sus estados inmaduros frecuentemente se pueden observar de manera satisfactoria a gran magnificación bajo un microscopio de luz. Para esto, se requiere el montaje de los insectos o partes importantes de estos en láminas. En algunos casos, también se requiere de la tinción de los tejidos de los especímenes para poder diferenciar las diferentes estructuras que se requiere observar para la identificación de la especie (Gullan & Cranston, 2014).

En cualquier caso, es imprescindible realizar la consulta con un especialista que pueda identificar con certeza la especie plaga que afecta el sistema de producción para tomar la mejor decisión de manejo. La colecta y preservación correcta de los artrópodos plaga y benéficos asociados a los sistemas de producción de cítricos es importante, porque permite tener de primera mano material biológico de referencia para su reconocimiento e identificación.

Registro y procesamiento de la información

Definidos los métodos de monitoreo que utilizarán para la evaluación de plagas, es muy importante consignar la información en planillas de registro de forma ordenada y sistemática para facilitar su procesamiento y presentación. Una vez procesados con base en varias fechas sucesivas de monitoreo, los datos indicarán la fluctuación poblacional de la plaga, la incidencia de daño y los posibles enemigos naturales presentes en el sitio de monitoreo (Larral & Ripa, 2008).

Los estudios de fluctuación poblacional permiten estimar los niveles poblacionales de los organismos durante un determinado periodo y ayudan a comprender cuáles factores del ambiente influyen en el comportamiento y densidades de las poblaciones (Norris et al., 2003).

En ambientes protegidos, las fluctuaciones poblacionales se pueden conocer a partir de los datos obtenidos en campañas periódicas de monitoreo sobre las especies plaga más frecuentes o de interés y, por lo general, estos datos provienen de los registros de número de individuos capturados por trampa, del número de registros por estructura vegetal atacada (hojas, ramas, tronco, planta) o por frecuencia de aparición (presencia o ausencia; porcentaje de aparición en 10 hojas/planta) (Ripa & Larral, 2008).

En la figura 52 se presenta el comportamiento poblacional de la mosca blanca *P. myricae* y del ácaro rojo *T. urticae* bajo condiciones protegidas de casa de malla antipulgón en el C. I. Palmira de AGROSAVIA. Los monitoreos de estas dos especies fueron realizados una vez por semana, a través de la evaluación de diez hojas apicales completamente desarrolladas sobre plantas seleccionadas al azar durante el periodo de febrero a septiembre del 2017.

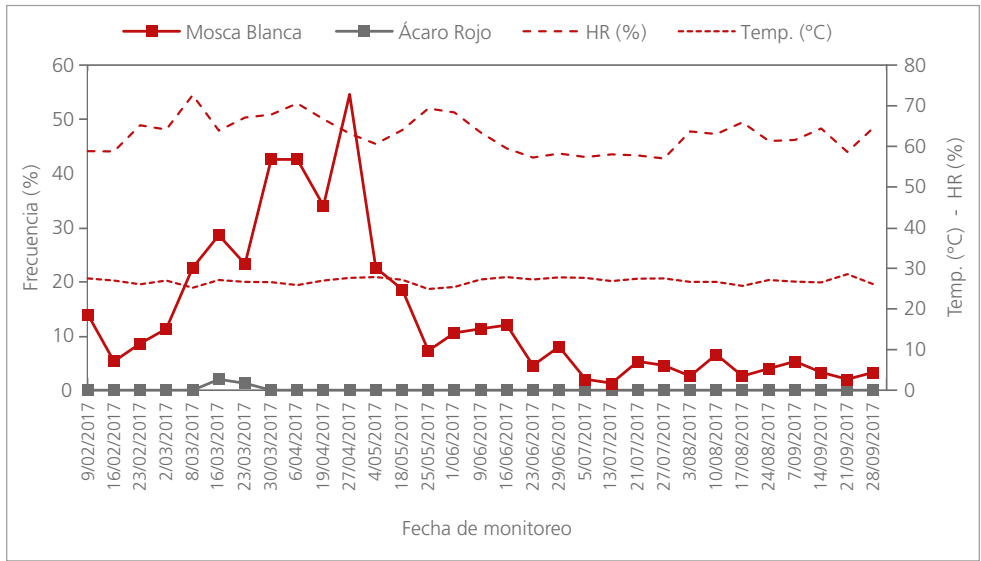


Figura 52. Gráfico de fluctuación poblacional de adultos de mosca blanca y ácaro rojo construido a partir de monitoreos de frecuencia de aparición (10 hojas/planta) en invernaderos de cítricos de AGROSAVIA, C. I. Palmira, durante el periodo de febrero a septiembre del 2017.
Fuente: Elaboración propia

Se encontró que la mosca blanca *P. myricae* fue muy frecuente durante todo el monitoreo. Las mayores poblaciones para esta especie fueron registradas en la última semana del mes de abril, con incidencias en hoja superiores al 50 % y niveles de infestación promedio de 27 individuos por hoja. Con la implementación u adopción de tácticas de MIP, se logró reducir de forma significativa los niveles de infestación, llegando a registrar incidencias en hoja menores al 10 % y registros promedio de dos individuos por hoja hasta finalizar el estudio. Por otro lado, el ácaro *T. urticae* fue poco frecuente: solo se identificaron poblaciones (incidencias < 3 %) en la segunda y tercera semana del mes de marzo del 2017.

Durante el desarrollo de los monitoreos, es muy importante la instalación de estaciones climáticas que permitan el registro de datos de temperatura, humedad relativa y brillo solar, debido a que estos son factores que afectan las tasas reproductivas de muchos artrópodos (Triplehorn & Johnson, 2005). Además, el análisis en tiempo real de la información genera los criterios válidos para la toma oportuna de decisiones (Ripa & Larral, 2008).

Acciones de control de plagas

El control de plagas en ambiente protegido se realiza bajo un esquema de manejo integrado, que debe incluir diferentes estrategias de control.

Control cultural

Las prácticas de control cultural se refieren a una amplia gama de tácticas u opciones de manejo que pueden ser utilizadas por los agricultores para alcanzar metas de producción de productos agrícolas, o la manipulación del medio ambiente para mejorar la producción de los cultivos.

El control cultural es la manipulación deliberada de sistemas de producción de cultivos o prácticas de producción específicas para reducir las poblaciones de plagas o para evitar daños causados por plagas en los cultivos. Estas prácticas pueden incluir impedimentos para que las plagas colonicen los cultivos, la creación de condiciones bióticas adversas para reducir la sobrevivencia de individuos o poblaciones de la plaga, o modificaciones del cultivo que resultan en la reducción de las infestaciones (Romoser & Ferro, 1994).

El control cultural es una alternativa incorporada al MIP con el objeto de generar condiciones adversas para el establecimiento de plagas. En ambientes protegidos, esta alternativa contempla principalmente el continuo saneamiento de áreas donde se realizan los diferentes procesos de propagación.

Dentro de esta alternativa de manejo, se incluyen la recolección de hojas secas y la poda de ramas bajas que tocan el suelo, así como la conservación de distancias adecuadas entre plantas que faciliten la entrada de luz y ventilación, pero también las labores de manejo (Ripa & Larral, 2008). Es importante la erradicación de malezas o arvenses, puesto que pueden actuar como hospederos alternos de plagas

y patógenos (Escobar & Lee, 2009; Ripa & Larral, 2008), y también es aconsejable limitar continuas aplicaciones con insumos nitrogenados, dado que altas dosis pueden favorecer el ataque e incidencia de muchos artrópodos plaga (Jeppson, 1965; Stack et al., 2017-2018).

Control biológico

Bajo condiciones naturales, las poblaciones de insectos se mantienen bajo control debido a la influencia de una multitud de factores ambientales. Estos factores naturales son responsables de mantener las poblaciones bajo un “control natural” (Romoser & Ferro, 1994). El control biológico se fundamenta en la capacidad que tienen algunos seres vivos (parasitoides, depredadores y entomopatógenos) utilizados o manipulados por el hombre para mantener las poblaciones de otros organismos dañinos a niveles tolerables sin que ocasione pérdidas económicas (León & Kondo, 2017).

Usar agentes de control biológico conlleva varias ventajas. Si un agente de control biológico se aclimata a un área donde está la plaga que se planea controlar y los plaguicidas se usan de manera prudente, estos enemigos naturales se pueden convertir en parte del agroecosistema.

A diferencia de los plaguicidas, los agentes de control son seguros y no causan daño al medio ambiente; además, el desarrollo de un agente de control biológico es más económico que el desarrollo de un plaguicida de síntesis química (Romoser & Ferro, 1994). Dentro del MIP, el control biológico es uno de los componentes más importantes, debido a que es un método económico, efectivo y amigable con el medio ambiente, pero muy sensible a la acción de productos químicos (Stehr, 1990).

En condiciones de ambientes protegidos, los enemigos naturales de muchas plagas pueden ser inexistentes, probablemente debido a las barreras estructurales de las edificaciones que impiden el ingreso a los invernaderos y a las altas temperaturas que con frecuencia prevalecen al interior de estos sitios durante el día, que impiden su establecimiento. Sin embargo, los depredadores y parasitoides que ocurren naturalmente en áreas perimetrales de los invernaderos pueden ingresar en respuesta a la plaga, pero por lo general esto ocurre demasiado tarde para tener valor como estrategia de control, por lo que la única estrategia viable es mediante liberaciones inundativas o inoculativas de agentes de control biológico (Parrella & Nicholls, 1997).

La falta de fuentes alternas de alimentación como polen, néctar y agua representa una gran limitante para aquellas especies depredadoras o parasitoides que logran aclimatarse o adaptarse a los invernaderos. Esto trae con frecuencia la inestabilidad del sistema cuando las poblaciones de individuos presa u hospedante son bajas, viéndose afectadas las tasas reproductivas y de longevidad de los agentes controladores (Parrella & Nicholls, 1997). Por lo tanto, es necesario realizar liberaciones inundativas periódicas de controladores biológicos, con el fin de mantener niveles poblacionales estables para el control de plagas durante todo el periodo de producción.

Otra alternativa de control biológico viable para el manejo de plagas en ambientes protegidos es el uso de bioplaguicidas. Estos, también llamados bioinsecticidas o biopesticidas, son agentes de control derivados de animales, plantas, microorganismos o minerales (Unite State Environmental Protection Agency [Usepa], 2011).

Entre los bioplaguicidas más comúnmente utilizados, se encuentran los microbiológicos como hongos, bacterias, virus y nemátodos entomopatógenos, así como los bioquímicos, que incluyen el uso de metabolitos secundarios, atrayentes, feromonas, sustancias de señalización química, reductores de crecimiento y genes de resistencia incorporados a plantas para reducir la herbivoría por artrópodos plaga (Mishra et al., 2015; Sporleder & Lacey, 2013).

El interés en el uso de estos agentes de control se fundamenta principalmente en que son altamente específicos contra las plagas objetivo y generalmente representan poco o ningún riesgo para las personas o el medio ambiente, ya que sus respuestas de control no generan residuos tóxicos y son seguros todo el tiempo (Koul, 2011; Mishra et al., 2015; Nava-Pérez et al., 2012).

Además, los agentes de control se pueden usar en muchos hábitats donde los pesticidas químicos han sido prohibidos, incluyendo áreas recreativas y urbanas, bordes de lagos y arroyos de cuencas hidrográficas, así como cerca de hogares y escuelas en entornos agrícolas (Koul, 2011). En la mayoría de los casos, los hospederos o especies plaga atacadas no generan resistencia, contrario a lo que ocurre con los plaguicidas de origen sintético (Koul, 2011; Mishra et al., 2015). En la tabla 14 se enlistan agentes de control biológico de uso potencial en ambientes protegidos en Colombia.

Tabla 14. Controladores biológicos (artrópodos y entomopatógenos) potenciales para el control de algunas plagas de cítricos en invernadero

Plaga	Tipo de organismo	Controlador
Áfidos	Parasitoides	<i>Aphelinus</i> sp. <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Cresson, 1880)
	Depredadores	<i>Cheilomenes sexmaculata</i> (Fabricius, 1781) <i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836) <i>Cycloneda sanguinea</i> (Linnaeus, 1763) <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773) <i>Hippodamia convergens</i> Guérin-Meneville, 1842 <i>Metasyrphus</i> sp. <i>Syrphus</i> sp.
	Entomopatógenos	<i>Cladosporium</i> sp. <i>Entomophthora</i> sp.
Cochinillas harinosas	Parasitoides	<i>Achrysophagus</i> sp. <i>Anagyrus</i> sp. <i>Homalotylus</i> sp. <i>Metaphycus</i> sp.
	Depredadores	<i>Azya</i> sp. <i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836) <i>Cycloneda sanguinea</i> (Linnaeus, 1763) <i>Cryptolaemus</i> sp.
Escamas blandas	Parasitoides	<i>Aprostocetus</i> sp. <i>Closteroserus</i> sp. <i>Coccophagus</i> spp. <i>Gahaniella saissetiae</i> Timberlake, 1926 <i>Metaphycus</i> spp. <i>Microterys</i> spp. <i>Scutellista</i> sp.
	Depredadores	<i>Azya</i> sp. <i>Chilocorus cacti</i> (Linnaeus, 1767) <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant, 1853
	Entomopatógenos	<i>Cladosporium</i> sp.
Minador	Parasitoides	<i>Ageniaspis citricola</i> Logvinovskaya, 1983 <i>Allobracon</i> sp. <i>Cirrospilus</i> spp. <i>Closterocerus</i> spp. <i>Galeopsomyia fausta</i> LaSalle, 1997 <i>Horismenus</i> sp. <i>Zagrammosoma</i> sp.
	Depredadores	<i>Ectatomma</i> sp. <i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836) <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)

(Continúa)

(Continuación tabla 14)

Plaga	Tipo de organismo	Controlador
Mosca blanca	Parasitoides	<i>Aleuroctonus vittatus</i> (Dozier, 1933) <i>Encarsia formosa</i> Gahan, 1924
	Depredadores	<i>Delphastus</i> spp. <i>Hyperaspis</i> sp. <i>Cryptolaemus</i> sp. <i>Olla</i> spp. <i>Pentilia castanea</i> Mulsant, 1850 <i>Zagreus</i> sp.
	Entomopatógenos	<i>Aschersonia</i> spp. <i>Isaria</i> sp.
Piojo blanco	Parasitoides	<i>Arrhenophagus chionaspidis</i> Aurivillius, 1888 <i>Encarsia lounsburyi</i> (Berlese & Paoli, 1916)
	Depredadores	<i>Cryptognatha</i> spp. <i>Diomus</i> sp.
Psílido asiático de los cítricos	Parasitoides	<i>Diaphorencyrtus</i> sp. <i>Tamarixia radiata</i> (Waterston, 1922)
	Depredadores	<i>Allograpta</i> sp. <i>Chilocorus</i> sp. <i>Curinus colombianus</i> Chapin, 1965 <i>Cycloneda sanguinea</i> (Linnaeus, 1763) <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773) <i>Hippodamia convergens</i> Guérin-Meneville, 1842 <i>Leucopodella</i> sp. <i>Olla v-nigrum</i> (Mulsant, 1866) <i>Scymnus rubicundus</i> Erichson, 1847 <i>Zelus</i> sp.
	Entomopatógenos	<i>Acrostalagmus aphidum</i> Oudem, 1902 <i>Beauveria bassiana</i> (Bals.-Criv.) Vuill. 1912 <i>Hirsutella citriformis</i> Speare, 1920 <i>Isaria javanicus</i> Samson & Hywel-Jones, 2005 <i>Isaria fumosorosea</i> Wize, 1904 <i>Lecanicillium lecanii</i> (Zimm.) Zare & W. Gams, 2001

Fuente: Elaboración propia con base en Kondo (2017) y León y Kondo (2017).

Control químico

Un insecticida se puede definir como un químico o una mezcla de químicos que se utilizan para matar insectos y otros artrópodos. La palabra *pesticida* es más inclusiva, y se refiere a insecticidas, herbicidas, rodenticidas, y otras sustancias que se utilizan para controlar plagas en general (Romoser & Ferro, 1994). El control químico es la alternativa de manejo más utilizada en ambientes protegidos para el control de insectos y ácaros plaga, debido a su rápida acción letal. Sin embargo, en el MIP esta alternativa solo es una opción dentro de las medidas factibles de control (Ripa & Larral, 2008). Por lo tanto, su implementación puede estar condicionada al desarrollo de otras alternativas de manejo. Además, se ha documentado que en muchas especies de artrópodos el uso intensivo de plaguicidas de síntesis químicas ha conducido a situaciones de alta presión de selección, cuyo resultado ha sido el desarrollo de resistencia en muchas plagas, al igual que daños al medio ambiente después de continuas aplicaciones.

En casas de mallas o invernaderos, es recomendable realizar la rotación de productos químicos de última generación y con registro ante el ICA (tabla 15). Para determinar la dosis efectiva de control o manejo, es importante tener en cuenta las recomendaciones presentadas en la etiqueta de cada producto.

Tabla 15. Ingredientes activos de agroquímicos utilizados con frecuencia en invernaderos de cítricos C. I. Palmira (AGROSAVIA) para el manejo de insectos y ácaros plaga

Ingrediente activo	Grupo	Plaga objetivo
Tiametoxam	Neonicotinoides	Mosca blanca, áfidos, escamas
Lambdacihalotrina	Piretroide	Amplio espectro (chupadores, masticadores, raspadores)
Clorpirifos	Organofosforado	Larvas de cuerpo blando (lepidópteros)
Malathion	Organofosforado	Amplio espectro (chupadores, raspadores)
Spiromesifen	Ketoenoles	Ácaros fitófagos, mosca blanca,
Diafentiuron	Thioureas	Mosca blanca, áfidos, ácaros, larvas de lepidópteros
Clorfenapir	Pirrol	Ácaros fitófagos, larvas de lepidópteros, trips
Abamectina	Avermectina	Minador de la hoja, trips, ácaros fitófagos, <i>Diaphorina citri</i>
Sulfoxaflor	Sulfoxaminas	Mosca blanca, áfidos, chinches, <i>Diaphorina citri</i>

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Bermúdez, C., & Acosta, L. (2007). Incidencia de insectos plaga en plantas de cítricos en casa de malla. *Revista Regional Novedades Técnicas Corpoica*, 9, 22-32. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19522>
- Brødsgaard, H. (1993). Monitoring thrips glasshouse pot plant crops by means of blue sticky traps. *IOBC/WPRS Bulletin*, 16(8), 29-32.
- Byrne, N., Bellows, T., & Parrella, M. (1990). Whiteflies in agricultural systems. En D. Gerling (Ed.), *Whiteflies: Their binomics, pest status and management* (pp. 227-262). Athenaeum.
- Castaño, O. (1996). El minador de las hojas de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stainton). En Universidad Nacional de Colombia, *Memorias del III Foro de Sanidad Vegetal Nuevos problemas fitosanitarios en Colombia* (pp. 75-103). Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño, O. (2000). *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) ácaro blanco o ácaro tropical. En Corrales, A., & Sierra, C. (Presidencia). *Seminario nacional sobre ácaros asociados al cultivo de cítricos* (pp. 51-52). Asocítricos, Pereira, Colombia.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Evans, G. (1992). *Principles of acarology*. CAB International.
- Ferro, D. (1994). Integrated pest management in agroecosystems. En W. S. Romoser & J. G. Stofolano (Eds.), *The Science of Entomology* (Chap. 16, pp. 429-441). Wm. C. Brown.
- González, C., Pérez, P., Beltrán, A., Cabrera, R., Borges, M., Montes, M., Hernández D., & Rodríguez, J. (2010). *Insectos, ácaros y nematodos plagas asociados a las plantas cítricas de los viveros y su control*. Taller regional sobre viveros de los cítricos.
- Gullan, P. J., & Cook, L. G. (2007). Phylogeny and higher classification of the scale insects (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea). *Zootaxa*, 1668(1), 413-425. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1668.1.22>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The insects: an outline of entomology*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/The+Insects%3A+An+Outline+of+Entomology%2C+5th+Edition-p-9781118846155>
- Gullan, P. J., & Martin, J. H. (2009). Sternorrhyncha (jumping plant-lice, whiteflies, aphids and scale insects). En V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (pp. 957-967). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.X0001-X>

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2013). Resultados de vigilancia de la mosca blanca oriental de los cítricos *Parabemisia myricae* (Kuwana). Segundo trimestre de 2013. *Boletín informativo*. https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Epidemiologia-Agricola/BOLETINES/Nacionales/2013/BOL_Parabemisia_myricae_2013_2.aspx
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). *Resolución 0012816 de agosto de 2019, Por medio de la cual se establece los requisitos para el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional*.
- Jeppson, L. (1965). Principles of chemical control of phytophagous mites. *Advances in Acaralogy*, 2, 31-51.
- Komazaki, S. (1993). Biology and virus transmission of citrus aphids. *Technical Bulletin 136*. ASPAC Food & Fertilizer Technology Center. https://www.ffc.org.tw/htmlarea_file/library/20110712190621/tb136.pdf
- Kondo-R., D. T. (2010). III. Insectos. En J. A. Bernal & C. A. Díaz (Eds.), *Tecnología para el cultivo de mango* (pp. 105-140), Manual Técnico. Produmedios.
- Kondo, T., & Evans, G. (2012). *Singhiella simplex* (Singh) (Hemiptera: Aleyrodidae), a new aleyrodid invasive species for Colombia. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle*, 13(2), 31-33. <http://entomologia.univalle.edu.co/boletin/7KondoEvans.pdf>
- Kondo, T., García Córdoba, C. Y., Sotelo Cardona, P. A., & Ramos Villafañe, Y. P. (2017). *Diaphorina citri* Kuwayama, hospedante de *Tamarixia radiata* (Waterston). En T. Kondo (Ed.), *Protocolo de cría y liberación de Tamarixia radiata Waterston (Hymenoptera: Eulophidae)* (Cap. VI, pp. 67-78). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13147>
- Kondo, T., Gullan, P. J., & Williams, D. J. (2008). Coccidology. The study of scale insects (Hemiptera: Sternorrhyncha: Coccoidea). *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 55-61. https://doi.org/10.21930/rcta.vol9_num2_art:118
- Koul, O. (2011). Microbial pesticides: opportunities and challenges. *Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 6(56), 1-26. <http://dx.doi.org/10.1079/PAVSNNR20116056>
- Krantz, G. (2009). Habits and habitats. En G. Krantz & D. Walter (Eds.), *A manual of acarology* (pp. 64-82). Texas Tech University Press.

- Larraín, P., Alcaino, E., Salas, C., Contreras, C., & Graña, F. (2012). Exitosa experiencia de manejo de plagas en invernaderos de tomate con métodos de exclusión. *Tierra Adentro*, 99, 29-36. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/5317>
- León M., G., & Campos, J. C. (1999). Fluctuación poblacional del minador de los cítricos *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) en el piedemonte del departamento del Meta. *Revista Colombiana de Entomología*, 25(2), 147-150. <https://doi.org/10.25100/socolen.v25i2.9764>
- León, M., & Kondo, T. (2017). *Insectos y ácaros de los cítricos. Compendio ilustrado de especies dañinas y benéficas, con técnicas para el manejo integrado de plagas* (2.^a edición). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13148>
- Martin, J. H., & Mound, L. A. (2007). An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). *Zootaxa*, 1492, 1-84. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1492.1.1>
- Mead, F. W., & Fasulo, T. R. (s. f.). *Asian citrus psyllid, Diaphorina citri* Kuwayama (Insecta: Hemiptera: Psyllidae). eeny-033. IFAS Extension University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN16000.pdf>
- Mesa, N. (1999). Ácaros de importancia agrícola en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 52(1), 321-363. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23730>
- Mesa, N. (2000). Aspectos generales sobre ácaros de interés agrícola. En A. Corrales & C. Sierra (Pres.), *Seminario nacional sobre ácaros asociados al cultivo de cítricos* (pp. 53-62). Asocítricos.
- Mesa, N., García, M., Rodríguez, I., Valencia, M., Ossa, J., Imbachi, K., Osorio, I., Lozano, H., Gómez, I., Cuchimba, M., Guerra, W., Matabanchoy, J., Carabalí, C., & Guarín, J. (2011). *Dinámica de población y fenología del daño causado por Polyphagotarsonemus latus y Phyllocoptruta oleivora en naranja Valencia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Mesa, N., & Rodríguez, I. (2012). Ácaros que afectan la calidad del fruto de los cítricos en Colombia. En P. Aguilar, M. Escobar, C. Pássaro, J. Orduz, D. Mateus, A. Rebolledo et al. (Eds.), *Cítricos: cultivo, postcosecha e industrialización* (Cap. 6, pp. 163-171). Corporación Universitaria Lasallista.
- Mishra, J., Tewari, S., Singh, S., & Kumar, N. (2015). Biopesticides: ¿Where we stand? En N. Arora (Ed.), *Plant microbes symbiosis: Applied facet* (pp. 37-75). Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2068-8_2
- Moraes, G., & Flechtmann, C. (2008). *Manual de Ácarología básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil*. Holos Editora.

- Nava-Pérez, E., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J., & Vásquez-Montoya, E. (2012). Bioplaguicida: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.
- Neale, C., Smith, D., Beattie, G. A. C., & Miles, M. (1995). Importation, host specificity testing, rearing and release of three parasitoids of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae) in Eastern Australia. *Journal of the Australian Entomological Society*, 34(4), 343-348. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1995.tb01352.x>
- Norris, R., Caswell-Chen, E., & Kogan, M. (2003). *Concepts in integrated pest management*. Prentice Hall.
- Norton, R. (1998). Morphological evidence for the evolutionary origin of Astigmata (Acari: Acariformes). *Experimental and Applied Acarology*, 22, 559-594. <https://doi.org/10.1023/A:1006135509248>
- Parrella, M., & Nicholls, C. (1997). El control biológico de las plagas de invernadero en Colombia: avances y perspectivas. En M. Pizan (Ed.), *Floricultura y medio ambiente: la experiencia colombiana* (Cap. XI, pp. 221-254). Hortitecnia.
- Ripa, R., & Rodríguez, F. (1999). *Plagas de cítricos, sus enemigos naturales y manejo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Ripa, R., & Larral, P. (2008). *Manejo de plagas en paltos y cítricos*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/3509>
- Rojas, M., González, V., Sepúlveda, R., & Ardiles, S. (2013). *Sistema de exclusión en producción de tomates bajo malla anti vectores*. Informativo INIA-URURI.
- Romoser, W. S., & Ferro, D. (1994). Insect control arsenal. En W.S. Romoser, & J.G. Stofolano (Eds.), *The Science of Entomology* (Chap. 15, pp. 401-428). C. Brown.
- Sporleder, M., & Lacey, L. (2013). Biopesticides. En A. Alyokhin, C. Vincent, & P. Giordanengo (Eds.), *Insect pests of potato* (Chap. 16, pp. 463-497). Academic Press Elsevier Inc.
- Stack, L., Dill, J., Pundt, L., Raudales, R., Smith, C., & Smith, T. (2017-2018). *New England greenhouse floriculture guide; a management guide for insects, diseases, weeds and growth regulators*. Northeast Greenhouse Conference and Expo. https://www.plantgrower.org/uploads/6/5/5/4/65545169/17section_b_2017-18_floriculture_guide.pdf
- Stehr, F. (1990). Parásitos y depredadores en el manejo de plagas. En R. Metcalf & W. Luckman (Eds.), *Introducción al Manejo de Plagas de Insectos* (pp. 173-221). Limusa.

- Triplehorn, C., & Johnson, N. (2005). *Borror and De Long's introduction to the study of insects*, 7^a Ed. Thomson Books/Cole.
- Unite State Environmental Protection Agency (Usepa). (2008). *What are biopesticides?* <http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/whatarebiopesticides.htm>
- Webb, R., Smith, F., Affeidt, H., Thimillan, R., Dudley, R., & Webb, H. (1985). Trapping greenhouse whitefly with coloured surfaces: variables affecting efficacy. *Crop Protection*, 4(3), 381-303. <https://doi.org/10.1016/0261-2194%2885%2990042-0>



Capítulo VI

Manejo de enfermedades de cítricos en ambiente protegido

Diana Rodríguez-Mora

Lizeth Palacios Joya

Mauricio Fernando Martínez

Nubia Murcia

La producción de plántulas de cítricos dentro de casa de malla es una de las estrategias de manejo preventivo para reducir la aparición de algunas plagas y enfermedades. No obstante, la propagación vegetativa de cítricos se hace a través de injerto; esta forma de multiplicación favorece la diseminación de diferentes tipos de virus, viroides y bacterias, que producen enfermedades como la tristeza de los cítricos, la exocortis y el Huanglongbing (HLB), entre otras. Estas enfermedades afectan los cítricos por su condición sistémica (su movimiento dentro de la planta), y son transmitidas de forma mecánica por herramientas o insectos vectores; además, los síntomas se observan en un periodo posterior a la infección o simplemente no se observan síntomas (asintomáticas).

Al estar presentes en las plantas de vivero, estas enfermedades pasan a los nuevos huertos por el uso del mismo material de siembra contaminado. La multiplicación de plantas de cítricos en casa de malla también se puede ver afectada por diferentes patógenos que causan enfermedades como la gomosis, antracnosis y fumagina, que se diferencian de las otras enfermedades por la forma de diseminación y las condiciones de manejo dentro de las casas de malla.

En este capítulo se presentan algunas generalidades del modelo de certificación de cítricos y se describen las principales enfermedades que se pueden encontrar en ambiente protegido de casa de malla, así como algunas recomendaciones de manejo para asegurar que las plantas se multipliquen y comercialicen libres de patógenos, con base en las directrices reglamentadas en la Resolución 12816 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2019).

Modelo de certificación de cítricos

La mejor alternativa para garantizar la sanidad del material de siembra es la certificación sanitaria del material de propagación básico: semillas y yemas, así como la tecnología usada para la producción de plantas de vivero bajo ambiente protegido, pues ambas garantizarían la vida útil y la producción de los nuevos huertos por establecer. El sistema de producción de material de propagación certificado de cítricos requiere la conectividad entre el programa de saneamiento, el programa de cuarentena y el programa de certificación.

El programa de saneamiento permite la obtención de plantas sanas de variedades establecidas en el país y diagnóstico de patógenos, y debe cumplir varios requisitos: 1) selección de los árboles madres a partir de cultivares locales, 2) pruebas de diagnóstico de patógenos reglamentados a los árboles madres seleccionados, 3) saneamiento del material de propagación para la obtención de plantas libres de patógenos por el método de microinjerto de ápices caulinares *in vitro* o termoterapia, 4) pruebas de diagnóstico de plantas obtenidas por microinjertación, y 5) conservación y mantenimiento de plantas sanas bajo condiciones protegidas (Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical [IIFT], 2010).

El programa de cuarentena contiene las regulaciones y procedimientos para introducir de manera segura recursos genéticos de cítricos (yemas y semillas) y evitar la introducción de plagas y enfermedades exóticas o cuarentenarias que representen

un riesgo para la citricultura del país; asimismo, el programa de certificación garantiza el estatus fisiológico, genético y sanitario del material que se va a propagar y distribuir a través de los viveros (IIFT, 2010; Murcia et al., 2012).

En el mundo, los programas de certificación de cítricos se iniciaron cuando se comprobó que las enfermedades eran transmisibles por injerto. La presencia de tristeza de los cítricos, exocortis, caquexia, psorosis, clorosis variegada de los cítricos (CVC) y HLB han ejercido fuerte presión para desarrollar estrategias para mantener la producción a pesar de la presencia de estas enfermedades, para lo cual se ha establecido la multiplicación de material propagativo y semillas de cítricos en cuatro categorías:

1. Genética (manejado en banco de germoplasma por el genetista).
2. Fundación (manejado en bloque de reserva).
3. Registrada (manejado en bloque de multiplicación).
4. Certificada (manejado en bloque de multiplicación masal).

Según el glosario de términos fitosanitarios de la NIMF N.º 5 de la FAO, la categoría *genética* es el material propagativo original resultante del proceso de mejoramiento genético, capaz de reproducir la identidad de un cultivador o variedad, producida y mantenida bajo el control directo de su obtentor, o bajo su dirección o supervisión por otro fitomejorador.

La categoría *fundación* es el material propagativo obtenido a partir de semilla genética, sometida al proceso de certificación, que cumple con los requisitos establecidos para la categoría, en el reglamento específico de la especie o grupo de especies correspondiente.

La categoría *registrada* es el material propagativo obtenido a partir de la semilla genética, sometida al proceso de certificación, que cumple con los requisitos mínimos establecidos para dicha categoría en el reglamento específico de la especie o grupo de especies correspondientes.

La categoría *certificada* es el material propagativo obtenido a partir de la semilla genética o de semilla registrada, que cumple con los requisitos mínimos establecidos en el reglamento específico de la especie o grupo de especies, y que ha sido sometida al proceso de certificación.

El manejo de las plantas de cítricos de las categorías *genética* y *fundación* deberá ser responsabilidad del Ministerio de Agricultura de cada país, mientras que las categorías *registrada* y *certificada* pueden ser manejadas por los viveristas.

De acuerdo con los programas de certificación, la producción de plantas de cítricos en cualquiera de estas categorías debe realizarse bajo ambientes protegidos, además de ser inspeccionadas periódicamente y evaluadas por indexación; es decir, se debe comprobar el estado fitosanitario de las plantas respecto a las enfermedades priorizadas en la norma de certificación de cada país, mediante métodos biológicos con plantas indicadoras y análisis de laboratorio con métodos serológicos y moleculares, con el fin de asegurar la sanidad del material de siembra.

En Colombia, la producción de plantas de cítricos se reglamentó a través de la Resolución 3180 (ICA, 2009), donde se establecen los requisitos y procedimientos para la producción y distribución de material de propagación de frutales en el territorio nacional. Actualmente, la producción de material vegetal de cítricos en ambientes protegidos está regulada por la Resolución 12816 de agosto del 2019, donde se establecen los requisitos para el registro de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos.

Desde 1967 se identificó la necesidad de disponer en el país de un programa de certificación de cítricos para producir material de propagación sano con características agronómicas deseadas por el productor, con el fin de garantizar la ausencia de enfermedades causadas por virus y otras enfermedades transmitidas por injerto (Giacometti & Ríos, 1967).

Orientados hacia este objetivo, inicialmente el ICA y, posteriormente, Corpoica —ahora AGROSAVIA— a mediados de la década del 80 establecieron un programa de saneamiento de materiales utilizando la técnica de microinjerto *in vitro* de ápices caulinares. Así, se realizó la limpieza de una colección de variedades comerciales a partir del banco de germoplasma de cítricos ubicado en AGROSAVIA, C. I. Palmira (Caicedo et al., 2006; Murcia et al., 2012). Esta técnica se ha aplicado rápidamente al germoplasma presente en los programas de certificación y se ha convertido en el método más valioso para liberar de patógenos transmisibles por injerto a selecciones clonales (Roistacher, 1991).

La colección de variedades de cítricos obtenidas por microinjerto se conservan en ambiente protegido, ubicadas dentro de casa de malla antipulgón, que incluye variedades de tangelos, mandarinas, naranjas, limas ácidas y pomelos, y se ha logrado comprobar su sanidad frente a tristeza de los cítricos, exocortis y HLB (Rodríguez-Mora et al., 2017).

Esta colección de variedades de cítricos se utilizará en el futuro como plantas madre para el programa de certificación de cítricos en Colombia, con el fin de conformar la categoría de semilla (bloque de fundación) en los viveros de cítricos y que este procedimiento inicial permita garantizar el uso de material sano para establecer plantaciones nuevas.

Enfermedades de los cítricos

A continuación, se describen las enfermedades más comunes presentes en el sistema productivo de los cítricos, causadas por diferentes patógenos, entre los que se encuentran virus, viroides, bacterias y hongos, así como las medidas para su manejo preventivo.

Tristeza de los cítricos

La tristeza de los cítricos es una enfermedad de importancia económica a nivel mundial, que afecta a todos los cultivares de cítricos, especialmente limas ácidas, naranjas y toronjas (Mateus et al., 2010; Naranjo, 1997). En Colombia, esta enfermedad es endémica (Chaparro-Zambrano et al., 2013; Murcia et al., 2005) y ha sido detectada en cultivos comerciales de cítricos en los departamentos del Valle del Cauca, en la Zona Central Cafetera, Tolima, Costa Atlántica, Cundinamarca y Llanos Orientales (Murcia et al., 2002), así como en viveros productores de material vegetal de cítricos a libre exposición (Lozano et al., 2009; Mosquera et al., 2015).

Agente causal

La tristeza de los cítricos es causada por el virus la tristeza de los cítricos (CTV) (Closterovirus: Closteroviridae). Se trata de una partícula flexuosa de 2.000 nm de longitud por 11 nm de diámetro, constituida por ARN de cadena sencilla, con sentido positivo, de un tamaño calculado de 20 kilobase (kb), organizado en 12 marcos abiertos de lectura (ORF, por sus siglas en inglés) (Dawson et al., 2015).

El virus es limitado al floema, se transmite de forma mecánica y mediante propagación vegetativa cuando se injerta una yema infectada en un portainjerto (Lee & Bar-Joseph, 2000), y por varias especies de áfidos de forma semipersistente, entre los que se encuentran *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae), *Aphis spiraecola* Patch, 1914 (Hemiptera: Aphididae), y el más eficiente para la transmisión,

Toxoptera citricida Stoetzel, 1994 (Cambra & Moreno, 2000; Rocha-Peña et al., 1995). No hay evidencias que CTV se transmite por semilla sexual (Roistacher, 1991).

Síntomas

CTV puede afectar las plantas de cítricos en cualquier estadio de desarrollo. Sin embargo, en la fase de vivero las plántulas de cítricos pueden ser asintomáticas a la infección del virus. La lima mexicana o limón pajarito (*Citrus × aurantiifolia* (Christm.) Swingle), como comúnmente se conoce, es muy susceptible al virus, razón por la cual se usa como planta indicadora para su diagnóstico. Bajo estas condiciones, puede expresar síntomas de clorosis en hojas, aclaramiento de las nervaduras y crecimiento retardado.

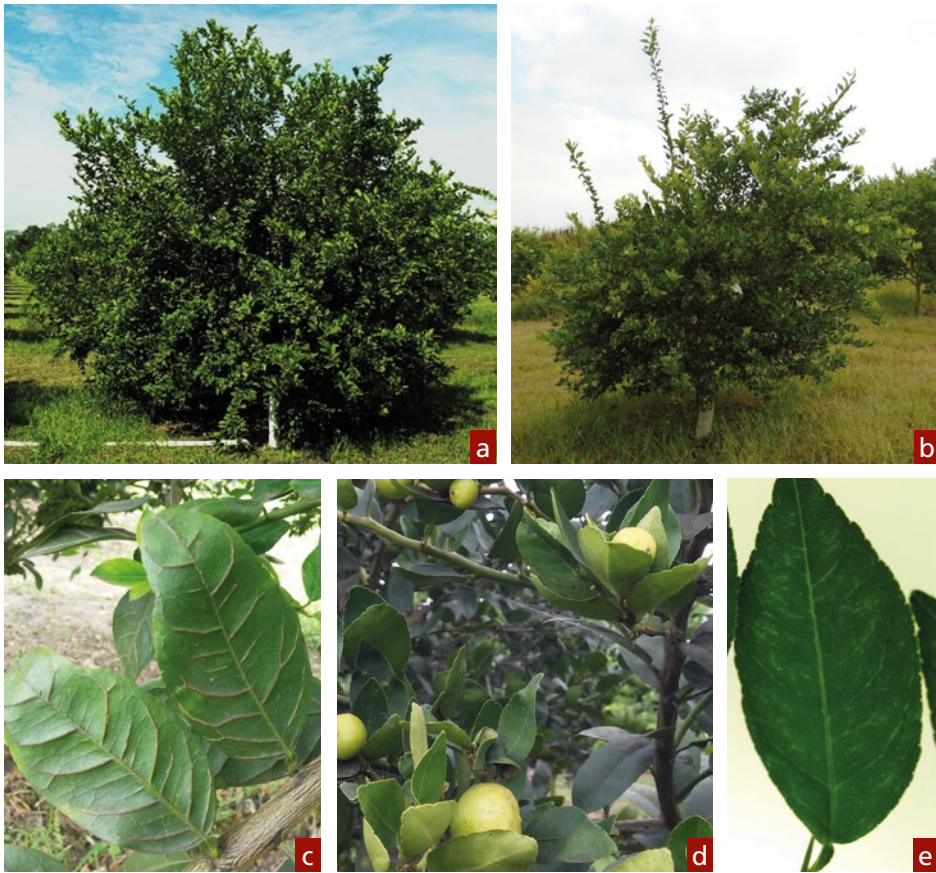
Los principales síntomas que se observan en los árboles en campo afectados por CTV son el declinamiento rápido de árboles, que ocurre cuando se usan portainjertos sensibles, principalmente en naranjo agrio; las acanaladuras o picado del tallo denominado “*stem pitting*”, que conduce a una reducción del crecimiento, rendimiento reducido y producción de frutos pequeños no comercializables, y el retraso del crecimiento de la planta, conocido como “*stunting*” (figura 53).



Fotos: Lizeth Palacios y Diana Rodríguez

Figura 53. Síntomas causados por CTV en limas ácidas en campo. a. Acanaladuras o picado del tallo (*stem pitting*) en limón pajarito; b. Retraso del crecimiento de la planta (*stunting*) en lima ácida Tahiti; c. Fruto de limón pajarito sano; d. Frutos de limón pajarito deformes y pequeños.

Otros síntomas de plantas infectadas con el virus son clorosis generalizada del árbol, suberización de venas, deformación de hojas, aclaramiento de nervaduras, acucharamiento de hojas y epinastia en brotes jóvenes. Estos síntomas se pueden presentar especialmente en árboles de lima ácida Tahití —*Citrus × latifolia* (Tanaka ex Yu. Tanaka) Tanaka— y limón pajarito, que son los hospederos más susceptibles al virus (Cambra & Moreno, 2000; Dawson et al., 2015; Orduz-Rodríguez & Mateus, 2012; Quiroga-Cardona et al., 2010) (figura 54).



Fotos: Lizeth Palacios y Diana Rodríguez

Figura 54. Síntomas de CTV en hojas de limas ácidas. a. Árbol de limón pajarito sano; b. Árbol de limón pajarito con clorosis generalizada; c. Hojas de lima ácida Tahití con nervaduras suberizadas; d. Hojas de limón pajarito acucharadas; e. Aclaramiento de nervaduras en hoja de limón pajarito.

Diagnóstico

Para garantizar la sanidad del material de siembra en los viveros de cítricos bajo ambiente protegido, se requieren métodos de diagnóstico de patógenos sensibles, fiables y reproducibles, ya que el diagnóstico erróneo de una sola planta madre donadora de yemas conlleva la distribución de miles de plantas infectadas a los agricultores.

El diagnóstico de CTV se realiza mediante a) indexación biológica, b) métodos serológicos y c) moleculares, aprobados por la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (Nappo, 2013a) e incluidos en la convención internacional de protección fitosanitaria (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria [CIPF], 2016), sugeridos en programas de cuarentena, saneamiento y certificación de cítricos en varios países.

- *Indexación biológica.* Esta técnica de diagnóstico consiste en la utilización de plantas indicadoras de especies de cítricos libres del patógeno, que reaccionan ante la infección del virus, al expresar diversos síntomas diferenciales según el patógeno y el aislamiento (Roistacher, 1991).

Para el análisis de CTV se usa limón pajarito, que se inocula mediante injerto con corteza de la planta que se va a analizar (Wallace & Drake, 1951). En cada ensayo se deben inocular varias repeticiones e incluir un control negativo (planta sana) y un control positivo (planta inoculada con CTV), para hacer la comparación de síntomas y garantizar la fiabilidad del diagnóstico. Las plantas se deben ubicar en invernadero bajo condiciones controladas de temperatura, con fluctuaciones entre 24°C a 28°C en el día y de 17°C a 21°C en la noche, durante aproximadamente un año (Roistacher, 1991).

Los síntomas dependen de la cepa del virus (suave o severa). Los más característicos son las acanaladuras en el tallo, enanismo (acortamiento de entrenudos), aclaramiento de nervaduras, engrosamiento de nervaduras y acucharamiento de hojas (Figuroa et al., 2009; Murcia et al., 2002) (figura 55).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 55. Diagnóstico biológico de CTV en limón pajarito. a. Enanismo (izquierda), planta sana (derecha); b. Acucharamiento de hojas; c. Aclaramiento de nervaduras (izquierda), Hoja sana (derecha); d. Acanaladuras en el tallo (izquierda) y tallo sano (derecha).

- *Serología, mediante prueba de Elisa.* El ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas (Elisa, por sus siglas en inglés) fue publicado por Bar-Joseph et al. (1979), y por Cambra et al. (1979), quienes demostraron su utilidad para un diagnóstico rápido, efectivo y fiable en tan solo 24 horas; además, puede analizar muestras en grandes volúmenes, con una eficiencia del 98 % (Cambra, 1983; Cambra et al., 2002).

El protocolo más usado para el diagnóstico de CTV es la inmunoabsorción enzimática en fase doble de anticuerpo (Das-Elisa) (Cambra et al., 2002). El método consiste en recolectar brotes tiernos de forma uniforme en la periferia del dosel de la planta que se desea evaluar. De cada planta, se requiere 0,5 g de tejido vegetal finamente picado (corteza y nervadura central de las hojas). Cada muestra procesada debe analizarse por duplicado, además de incluir un control positivo de infección de CTV y un control negativo (planta sana). Las pruebas serológicas se realizan con kits comerciales, siguiendo las metodologías del fabricante y, en general, se cumplen los siguientes pasos.

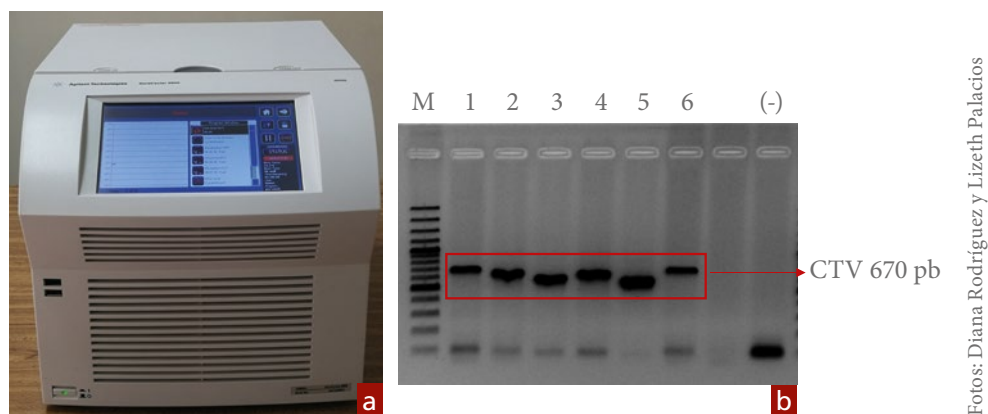
Figure 1 consists of two panels. Panel (a) shows a white Beckman DU 680 spectrophotometer with a digital display and control buttons. Panel (b) shows a 96-well microplate with a grid of wells. The wells in the last column on the right are colored yellow, while the others are colorless. A red '+' sign is visible in the top right corner of the plate.

Fotos: Lizeth Palacios

- *Técnicas moleculares.* Estas técnicas se usan como complemento al diagnóstico biológico y serológico. Las técnicas más utilizadas para la detección de CTV son la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR) y la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa en tiempo real o PCR cuantitativa (qRT-PCR).

La RT-PCR es altamente sensible y permite la detección e identificación de cepas de CTV suaves y severas por medio de secuenciación (Hilf et al., 2013). La qRT-PCR ha sido ampliamente utilizada en estudios de la expresión de genes, detección de ácidos nucleicos específicos presentes en diversos tipos de muestras y la cuantificación específica de la cepa (Freeman et al., 1999; Heid et al., 1996; Solano et al., 2018); además, presenta una alta sensibilidad y reproducibilidad, lo que la hace útil como herramienta de diagnóstico de virus. También permite cuantificar de forma exacta del número de copias de ARN molde presente en una muestra (Morales et al., 2013; Oliveros et al., 2009; Ruiz et al., 2007; Solano et al., 2018).

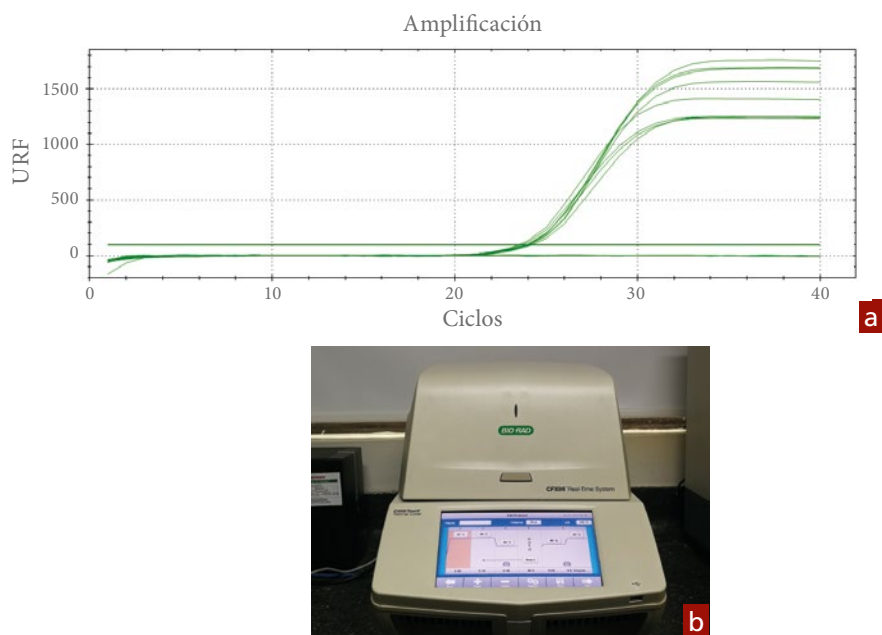
Para el diagnóstico por RT-PCR y qRT-PCR se deben recolectar brotes tiernos de forma uniforme en la periferia de la planta de cítricos que se quiere evaluar, a partir del cual se realiza la extracción del ácido ribonucleico (ARN) y posterior síntesis de ADN complementario (ADNC), para usarlo como molde para las amplificaciones. Tanto para la RT-PCR como para la qRT-PCR se han diseñado cebadores específicos que permiten la amplificación de regiones conservadas del genoma de CTV que codifican para el gen de la proteína de la cápside (Catara et al., 2010; Hilf et al., 2005; Morales et al., 2013; Solano-Luna et al., 2018). Los productos amplificados por RT-PCR se pueden visualizar en geles de electroforesis mediante un fotodocumentador (figura 57).



Fotos: Diana Rodríguez y Lizeth Palacios

Figura 57. Diagnóstico molecular de CTV por RT-PCR. a. Termociclador; b. Electroforesis en gel de agarosa de productos de RT-PCR con cebadores específicos para identificar CTV (CN 150/CN 151). M: Marcador de peso molecular 100 pb. Carril 1, 2, 3, 4, 5 y 6 corresponden a plantas de lima ácida Tahití infectadas con CTV donde se amplificó un fragmento de la proteína de la cápside del virus de aproximadamente 670 pb; - corresponde al control negativo del coctel de PCR.

La técnica qRT-PCR emplea un fluoróforo y combina la amplificación y la detección en un mismo paso, al correlacionar el producto de la PCR de cada uno de los ciclos con una señal de intensidad de fluorescencia, que se visualiza en un sistema óptico acoplado al termociclador (figura 58).



Fotos: Diana Rodríguez y Lizeth Palacios

Figura 58. Diagnóstico de CTV por qRT-PCR. a. Curvas de amplificación para la detección de CTV. En el eje de las ordenadas, se observa la fluorescencia relativa y, en las abscisas, el número de ciclos de la PCR. Las líneas verdes representan la fluorescencia emitida por el compuesto SYBR Green, usado para detectar la amplificación. La línea paralela verde representa el valor del umbral de fluorescencia para la reacción; b. Termociclador para PCR cuantitativa.

Exocortis de los cítricos

La exocortis es una enfermedad que está presente en casi todas las regiones cítricas del mundo y afecta la mayoría de las especies de cítricos, especialmente las naranjas y limas ácidas (Durán-Vila, 1989). La exocortis disminuye la productividad, pero no causa la muerte de los árboles. En Colombia, esta enfermedad se ha reportado en viveros productores de plántulas de cítricos y huertos comerciales de lima ácida Tahití en Santander, Tolima, Cundinamarca, Eje Cafetero (Quindío, Caldas y Risaralda) y Valle del Cauca (Murcia et al., 2010; Rodríguez-Mora et al., 2015).

Agente causal

El agente causal de la exocortis de los cítricos es el *viroide de la exocortis de los cítricos* (CEVd) (Pospiviroid: Pospiviridae) (Semancik & Weathers, 1972). El genoma del viroide es más pequeño que los virus que afectan las plantas; está constituido por un ARN monocatenario circular de aproximadamente 370-375 nucleótidos (Gross et al., 1992). Este viroide se transmite por injerto al usar yemas infectadas y de forma mecánica cuando se utilizan herramientas de poda contaminada; no se transmite por semilla sexual y, hasta el momento, se desconocen vectores asociados (Durán-Vila, 2004).

Síntomas

La exocortis puede infectar las plantas de cítricos desde la etapa de vivero hasta el establecimiento en campo. En etapa de vivero, las plantas son asintomáticas. Los síntomas suelen aparecer a partir del cuarto o quinto año de su establecimiento en campo (Durán-Vila, 2004), por lo que se requiere de técnicas de diagnóstico biológico y molecular para su detección oportuna y garantizar que el material que se lleva a campo está libre de la enfermedad. En campo, la exocortis presenta síntomas asociados a la aparición de escamas en la corteza del portainjerto, grietas en tallos y ramas, y enanismo (Bernad et al., 2009; Durán-Vila, 2004) (figura 59).



Fotos: Nubia Murcia

Figura 59. Síntomas asociados con exocortis en cítricos. a. Árbol con síntomas de descamaciones en la corteza del portainjerto; b. Agrietamiento en ramas.

Diagnóstico

El diagnóstico de la exocortis de los cítricos se hace a partir de la detección del CEVd mediante pruebas de diagnóstico biológico y molecular, aceptadas por la Nappo (2013a).

- *Indexación biológica.* Para el diagnóstico, se usa cidro etrog clon Arizona 861-S1 (*Citrus medica* L.), una planta altamente susceptible que se seleccionó como indicadora general para los viroides, y expresa los síntomas propios de la infección por estos patógenos: epinastia, enanismo, necrosis de peciolo, nervaduras y tallo (Durán-Vila et al., 1988) (figura 60).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 60. Síntomas de exocortis en cidro etrog clon Arizona 861-S1. a. Planta sana (derecha) vs. planta con enanismo (izquierda); b. Hoja sana (izquierda) vs. necrosis de peciolo y nervadura de hoja: basal, media y apical (derecha); c. Hoja sana (izquierda) vs. epinastia (derecha); d. Tallo sano (izquierda) vs. necrosis de tallo (derecha).

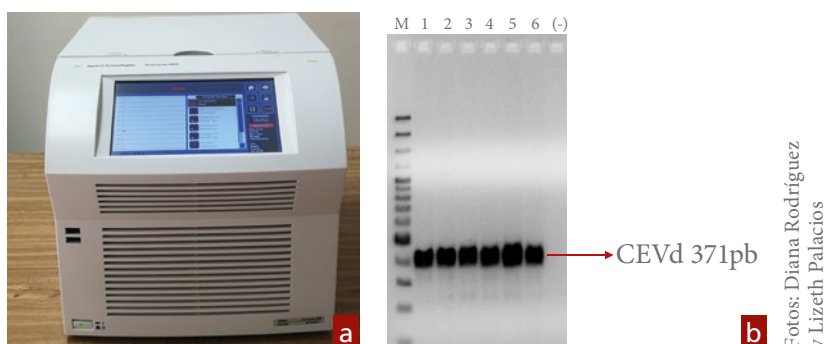
La inoculación en cidro etrog se realiza mediante injerto con tejido de corteza de la planta que se va a analizar; además, se debe incluir un control negativo (planta sana) y un control positivo (planta inoculada con CEVd) para asegurar el rigor y confianza del diagnóstico. Las plantas inoculadas se deben ubicar en condiciones controladas de temperatura entre 28 °C y 32 °C, para asegurar la expresión de

los síntomas, que generalmente se presentan de tres a seis meses después de la inoculación (Durán-Vila, 1989).

Cuando se realizan los ensayos biológicos en la especie indicadora cidro etrog, se pueden replicar varias especies de viroides. Cuando se inocula tejido de plantas afectadas de campo, en las que generalmente se presentan mezclas de viroides, es necesario utilizar controles positivos inoculados con la especie de viroide que se evaluará de forma independiente y acompañar la detección del agente causal con las técnicas moleculares como complemento del diagnóstico biológico.

- *Técnicas moleculares.* Dentro de estas técnicas se encuentran el análisis de ácidos nucleicos por electroforesis secuencial en geles de poliacrilamida (SPAGE) (Durán-Vila et al., 1993), la hibridación de ácidos nucleicos (Murcia et al., 2009, 2010) y la RT-PCR (Bernad & Duran-Vila, 2006). La RT-PCR se basa en el uso de cebadores que amplifican secuencias completas o parciales del genoma de CEVd; se trata de una de las pruebas más utilizadas para el diagnóstico de viroides por su alto grado de sensibilidad, reproducibilidad y capacidad para discriminar entre variantes suaves y agresivas de CEVd (Bernad & Durán-Vila, 2006).

Para el diagnóstico por RT-PCR, se debe colectar tejido vegetal de cidro etrog (seis meses después de la inoculación con el tejido que se desea evaluar) o directamente de tejido vegetal de cítricos, a partir del cual se realiza la extracción del ácido ribonucleico (ARN) y posterior síntesis de ADN complementario (ADNC), como molde para la amplificación. Los productos amplificados por PCR se visualizan en geles de electroforesis mediante un fotodocumentador (figura 61).



Fotos: Diana Rodríguez
y Lizeth Palacios

Figura 61. Diagnóstico molecular de CEVd por RT-PCR. a) Termociclador; b) Electroforesis en gel de agarosa de productos de RT-PCR con cebadores específicos para la amplificación del genoma completo de CEVd (CEVd - F1/R1). M: Marcador de peso molecular 100 pb. 1, 2, 3, 4, 5 y 6: muestras de cidro etrog infectadas con CEVd (tamaño aproximado de 371 pb); - control negativo (planta sana).

Huanglongbing de los cítricos

El HLB es una enfermedad catastrófica para la citricultura, que afecta plantas de la familia Rutaceae y a todos los cultivares de cítricos (Halbert, 1998). También el mirto (*Murraya paniculata* (L.) Jacq.) se ha citado como hospedante secundario (Hung et al., 2000; Walter et al., 2012). La enfermedad está ampliamente distribuida en países productores de cítricos y fue reportada por primera vez en 1919 en China (Lin, 1956); posteriormente, en África (Garnier et al., 2000) y, a partir del 2004, se ha diseminado en países citrícolas del continente americano como Brasil, Cuba, Estados Unidos y México (Nappo, 2012). En Colombia, se detectó en cultivos de limas ácidas en el 2016, y se encuentra reportada en los departamentos de La Guajira, Atlántico, Bolívar, Cesar, Magdalena, Norte de Santander, Córdoba y Sucre (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017, 2018).

Agente causal

Los agentes causales del HLB son tres bacterias fastidiosas del género *Candidatus Liberibacter*, familia Rhizobiaceae, *Candidatus Liberibacter asiaticus* (Bové, 2006), *Candidatus Liberibacter africanus* (Garnier et al., 2000) y *Candidatus Liberibacter americanus* (Texeira et al., 2008). Estas bacterias son gramnegativas, vasculares, limitadas al floema y no se pueden aislar en medio de cultivo artificial (Camacho-Tapia et al., 2016). *Candidatus Liberibacter asiaticus* es la especie reportada en Colombia (ICA, 2015a).

La transmisión del HLB se presenta principalmente por material vegetal contaminado (plantas y yemas) a través de la injertación y por insectos vectores. *C. L. africanus* es transmitida por el psílido *Trioza erytrea* (Del Guercio), mientras que *C. L. asiaticus* y *C. L. americanus* son transmitidas por *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) (Halbert & Manjunath, 2004) de forma persistente circulativa (Ammar et al., 2016). la transmisión por semilla sexual aún no se ha demostrado (Hartung et al., 2010).

Síntomas

El HLB afecta todos los cultivares cítricos; no obstante, la manifestación y severidad de los síntomas son distintos en las diferentes especies. Incluso se puede presentar una distribución desigual de la infección por la bacteria en los árboles afectados, y se pueden encontrar plantas asintomáticas (Folimonova et al., 2009; Paredes-Tomás et al., 2015).

Los síntomas iniciales de la enfermedad se comienzan a manifestar en la planta después de un periodo de latencia que varía entre seis meses y un año (Hung et al., 2000), y se presentan en una o varias ramas de un lado del árbol, con una clorosis intensa que claramente es diferencial con el color verde del resto de la planta. Hacia la base de las ramas afectadas aparecen hojas maduras con el síntoma típico del HLB, un moteado asimétrico que se manifiesta por manchas de color verde y amarillo en forma de parches con bordes difusos, que se distribuyen de forma irregular en ambos lados de la nervadura central de la hoja; además, las nervaduras se tornan amarillas, gruesas y corchosas (Bové, 2006; Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y Semillas [Senave], 2013)

Las hojas de las nuevas brotaciones disminuyen progresivamente de tamaño y puede presentarse una clorosis intensa que puede confundirse con deficiencias nutricionales con zinc, manganeso, hierro y magnesio (figura 62).

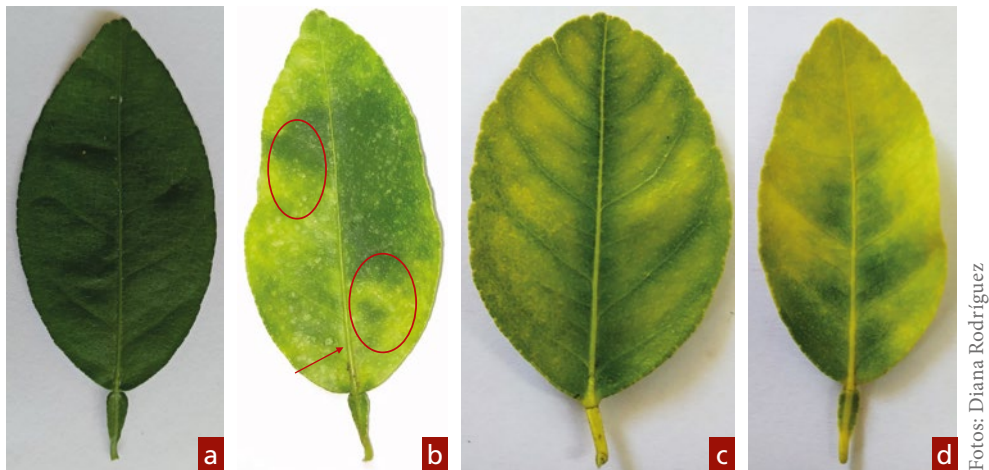


Figura 62. Síntomas de HLB en hoja de limón pajarito. a. Hoja sana; b. Moteado asimétrico y nervadura central corchosa; c. Deficiencia de magnesio; d. Deficiencia de zinc.

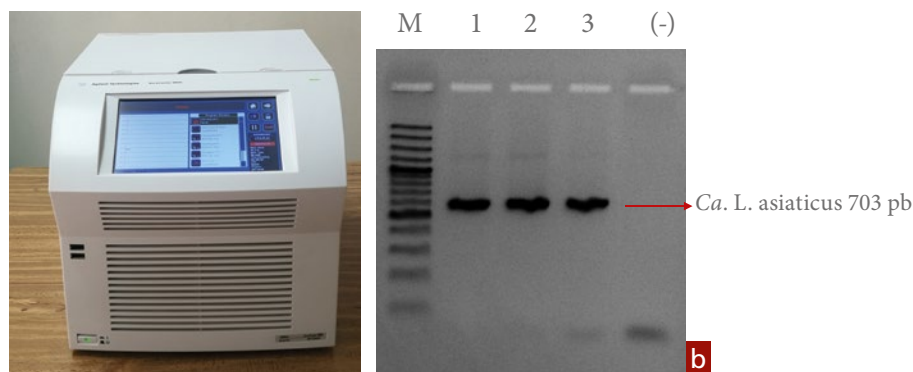
A medida que avanza la enfermedad, se produce defoliación, seguida de brotaciones irregulares y floración fuera de época, así como formación de frutos pequeños y deformes que se desprenden fácilmente del árbol con semillas vanas de color amarillo oscuro a marrón; además, los árboles se vuelven improductivos hasta que, finalmente, ocurre la muerte de la planta (Bové, 2006; Senave, 2013).

Diagnóstico

De acuerdo con la Nappo (2013a), las pruebas avaladas para hacer el diagnóstico de HLB en el material de propagación de cítricos son la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la PCR en tiempo real (qPCR) o PCR cuantitativa. Estas técnicas se basan en el uso de cebadores que amplifican las secuencias de ADN de *Candidatus Liberibacter* spp. Las secuencias del genoma de la bacteria causante del HLB en Colombia, *C. L. asiaticus*, extraídas de *D. citri*, fueron recientemente reportadas por Wang et al. (2020).

Para el diagnóstico por PCR y qPCR, se deben coleccionar brotes tiernos de forma uniforme en la periferia de la planta de cítricos que se quiere evaluar, a partir de los cuales se realiza la extracción del ácido desoxirribonucleico (ADN), con el fin de usarlo como molde para las ampliaciones.

La PCR utiliza cebadores que amplifican las secuencias de los genes 16s rDNA y genes proteínicos (operon-B). Los cebadores Ol1-Ol2c (Jagoueix et al., 1996) y A2-J5 (Hocquellet et al., 1999) se usan para el diagnóstico de *C. L. africanus* y *C. L. asiaticus*, y los cebadores GB1-GB3 (Teixeira et al., 2005) para *C. L. americanus*. Los productos amplificados por la PCR se visualizan en geles de electroforesis mediante un fotodocumentador, mientras que los productos amplificados por la qPCR se visualizan en un sistema óptico acoplado al termociclador (figura 63).



Fotos: Diana Rodríguez y Lizeth Palacios

Figura 63. Diagnóstico molecular de HLB por PCR. a. Termociclador; b. Electroforesis en gel de agarosa de productos de PCR con cebadores específicos para identificar *C. L. asiaticus* (A2-J5). M: Marcador de peso molecular 100 pb. Carril 1, 2 y 3 corresponden a muestras de limón pajarito infectadas con HLB (tamaño aproximado de 703 pb); - corresponde al control negativo (planta sana).

La baja concentración y la distribución irregular del patógeno en las plantas huésped, junto con los inhibidores de la PCR presentes en los extractos de cítricos, han dificultado la detección del patógeno. Aunque la PCR y la qPCR son técnicas aceptadas para la confirmación de árboles sintomáticos para HLB, la qPCR es mucho más sensible y robusta que la PCR, y permite detección y cuantificación de la bacteria incluso en plantas asintomáticas. Sin embargo, las dos técnicas están avaladas para hacer el diagnóstico de HLB (Nappo, 2012).

Manejo preventivo de enfermedades de origen viral, viroidal y bacteriano

Las estrategias de manejo para el control de enfermedades como la tristeza de los cítricos, exocortis y HLB son preventivas, no tienen cura, y por eso se deben atender las siguientes recomendaciones:

- Utilizar yemas de cítricos provenientes de plantas sanas, obtenidas de programas de saneamiento, a partir de la técnica de microinjertación de ápices caulinares, conservadas bajo ambiente protegido en casa de malla antipulgón.
- Realizar un estricto control fitosanitario de las plantas utilizadas para producir portainjertos que son cultivadas en campo para obtener semillas, debido a que estas enfermedades no se transmiten por semilla sexual. No obstante, las plantas madre que son portadoras sospechosas o diagnosticadas como portadoras de estas enfermedades no se deben usar para este propósito.
- Usar portainjertos que están indicados como tolerantes al virus de la tristeza y la exocortis (tabla 16).
- Producir plantas de cítricos bajo ambiente protegido. Las casas de malla o invernaderos deben disponer de infraestructura con doble puerta, con marco cerrado y cubierta con malla antipulgón, diseñada para evitar entrada de posibles vectores.
- Realizar una inspección periódica de las plantas.
- Disponer de herramientas de uso exclusivo para actividades de vivero como tijeras podadoras y navajas para injertación.
- Tener vestuario de uso exclusivo para las actividades al interior de casas de malla.
- Desinfectar las herramientas mediante inmersión con hipoclorito de sodio al 3 %, durante las labores de injertación y poda (cuchillas, tijeras, serruchos etc.). Los viroides son muy estables y pueden transmitirse con facilidad con las herramientas en el momento que se hace contacto con el árbol, inclusive después de varias semanas (Durán-Vila, 2004).

- Realizar labores de inspección y vigilancia del estado de la infraestructura del invernadero, especialmente de la malla antipulgón, con el fin de realizar las reparaciones oportunas y evitar la entrada de los vectores del virus o bacterias.

Tabla 16. Comportamiento de portainjertos usados en Colombia frente a las enfermedades causadas por hongos, virus y viroides

Portainjerto	Nombre científico	Gomosis	Tristeza	Exocortis
Naranja agrio	<i>Citrus aurantium</i> L.	Tolerante	Susceptible	Tolerante
Naranja dulce	<i>Citrus sinensis</i> (L.)	Susceptible	Tolerante	Tolerante
Kryder 15-3	<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	Tolerante	Medianamente tolerante	Susceptible
Citrumelo CPB 4475 o citrumelo swingle	<i>Citrus paradisi</i> Macf. × <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	Resistente	Tolerante	Tolerante
Citrango Carrizo	(<i>Citrus sinensis</i> ‘Washington’ sweet orange × <i>Poncirus trifoliata</i>).	Medianamente Tolerante	Tolerante	Susceptible
Citrango Troyer	<i>Citrus sinensis</i> ‘Washington’ sweet orange × <i>Poncirus trifoliata</i>)	Tolerante	Tolerante	Susceptible
Mandarina Cleopatra	<i>Citrus reshni</i> Horth. Ex Tan.	Susceptible	Susceptible	Tolerante
Limón Volkameriana	<i>Citrus volkameriana</i> Ten. y Pasq.	Susceptible	Tolerante	Tolerante
Limón rugoso	<i>Citrus jambhiri</i> Lush.	Susceptible	Tolerante	Tolerante
Sunki × English	<i>Citrus sunki</i> Hort. ex Tan. × <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.	Resistente	Tolerante	Susceptible
Sunki × Jacobson	<i>Citrus sunki</i> Hort. ex Tan. × <i>Poncirus trifoliata</i> [L.] Raf.)	Resistente	Medianamente tolerante	Susceptible
Lima Rangpur	<i>Citrus limonia</i> Osbeck	Susceptible	Tolerante	Susceptible

Fuente: López y Cardona (2007), Orduz-Rodríguez et al. (2009), Orduz-Rodríguez y Mateus (2012), Chaparro-Zambrano et al. (2013)

Mancha marrón

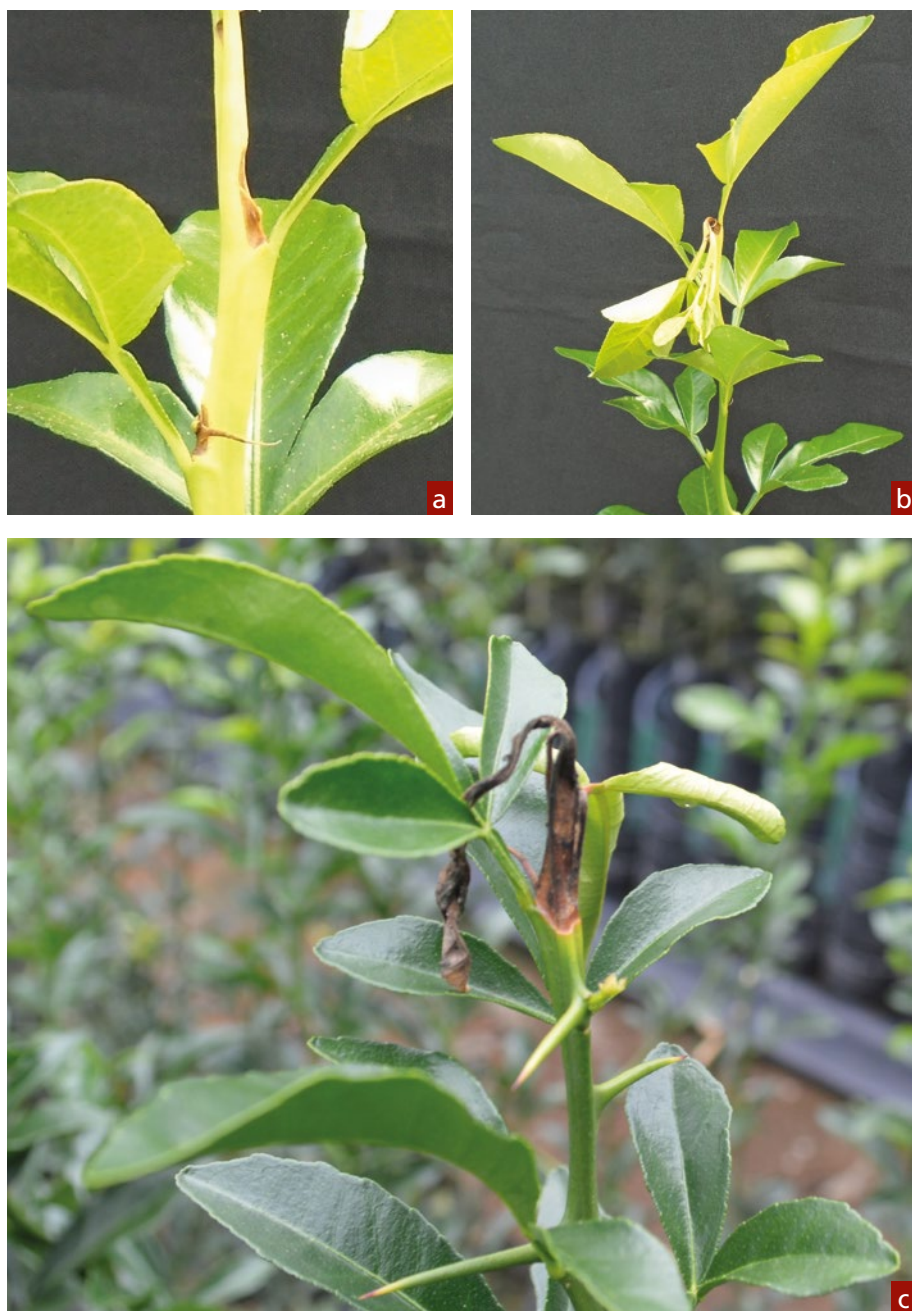
La mancha marrón es una enfermedad que afecta todos los estadios de desarrollo de los cítricos desde la etapa de vivero hasta su establecimiento en campo. Se ha identificado mayor susceptibilidad a la enfermedad en tangelos (Castro-Caicedo et al., 1994), mandarinas (Dalkilic et al., 2005) y pomelos (Timmer et al., 2003). La enfermedad se ha reportado en países subtropicales y tropicales como Sudáfrica, Israel, Turquía, México, Estados Unidos (Florida) y Colombia (Castro et al., 2000).

Agente causal

El agente causal asociado a la mancha marrón es un patotipo del género *Alternaria*, perteneciente a la familia Pleosporaceae (Mycobank, 2015). *Alternaria* ha sido ampliamente descrito como causante de enfermedades en cítricos. Actualmente, se conocen cuatro enfermedades causadas por este patógeno: 1) la mancha marrón de las mandarinas causada por un patotipo de *A. alternata*, que afecta selectivamente a un grupo de variedades; 2) la mancha foliar del limón rugoso (*C. jambhiri* Lush) y la lima Rangpur (*C. limonia* Osbeck) causada por otro patotipo de *A. alternata*; 3) la mancha foliar del limón pajarito causada por la especie *A. limicola* Simmons y Palm (Simmons, 1990) y 4) la podredumbre negra de los frutos de cítricos causada por *A. alternata* (Bliss & Fawcett, 1944; Peever et al., 2004; Simmons, 1990; Timmer et al., 2003). Otras especies de *Alternaria* como *A. limicola* y *A. tenuissima* han sido identificadas afectando mandarinas, limones y tangelo Minneola.

Síntomas

La infección por *Alternaria* spp. puede causar manchas alargadas, necrosis y marchitez del tallo, así como secamiento apical de brotes (Valkonen & Koponen, 1990) (figura 64).



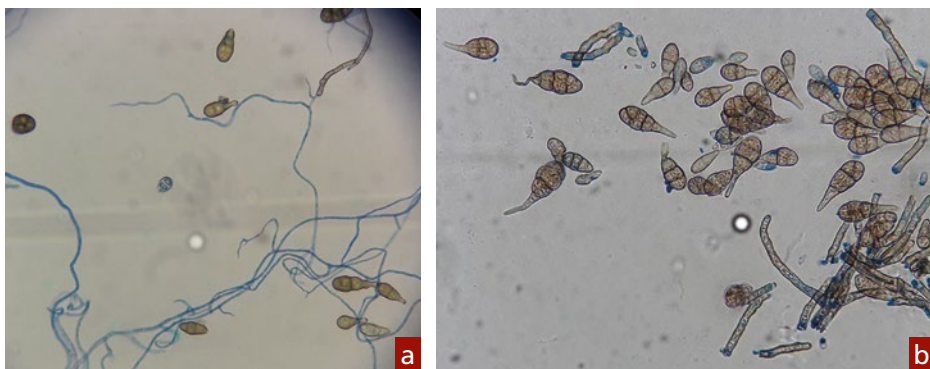
Fotos: Lizeth Palacios

Figura 64. Síntomas ocasionados por *Alternaria* sp. en el portainjerto Sunki × English. a. Manchas alargadas en tallo; b. Necrosis y marchitez del tallo; c. y d. Secamiento apical de brotes.

Las hojas afectadas desarrollan manchas de color marrón a negro o manchas que pueden variar considerablemente en tamaño, color y forma. Estas hojas pueden caer prematuramente. Algunas especies de *Alternaria*, particularmente *A. alternata*, dependen de la producción de toxinas para la colonización de su hospedero. La toxina se transloca a través del sistema vascular produciendo clorosis a lo largo de las venas desde la lesión de la hoja, causando la muerte del tejido foliar adyacente (Pegg et al., 2014).

Diagnóstico

Los síntomas producidos por *Alternaria* spp. son similares a los ocasionados por otros microorganismos fungosos; por eso, un diagnóstico visual no es suficiente para la identificación del agente causal de la enfermedad, sino que se requiere del montaje de cámaras húmedas y el aislamiento del patógeno en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA) y posterior observación de caracteres morfológicos del hongo mediante el uso de claves taxonómicas. El micelio de *Alternaria* spp. se caracteriza por tener hifas septadas dematiáceas (figura 65a); las conidias tienen características muy particulares que las hacen fáciles de reconocer, son anchas cerca de la base y se van estrechando gradualmente hacia un pico alargado, con una pigmentación oscura, y presentan tabiques transversales y longitudinales (figura 65b). Estas se agrupan en cadenas o en forma ramificada en el ápice de los conidióforos. Las colonias fúngicas de *Alternaria* spp. presentan tonalidades negras, grises o verdes (Pegg et al., 2014).



Fotos: Lizeth Palacios

Figura 65. Morfología microscópica a partir de cultivo de *Alternaria* spp., 40X. a. Hifas septadas dematiáceas; b. Conidias con septos transversales y longitudinales, catenuladas, redondas en un extremo y estrechas en el otro.

Manejo de la enfermedad

El manejo de la enfermedad en vivero se basa en prácticas preventivas. Es recomendable el uso de yemas sanas para realizar la injertación, instalar pediluvios en la entrada de los viveros, evitar realizar riego por aspersión, procurar mayor espacio entre las plantas para mejorar la ventilación y realizar monitoreos periódicos de las plantas, con el fin de detectar los daños ocasionados por el patógeno y tomar medidas de control (Pegg et al., 2014).

Una vez se presente la enfermedad en el vivero, es recomendable llevar a cabo prácticas como podar y desechar las ramas, brotes y hojas enfermas; eliminar cualquier acumulación de hojarasca en la base de las plantas, para minimizar la acumulación de esporas y eliminar plantas afectadas; evitar el exceso de riego y la fertilización nitrogenada durante algún tiempo para no promover el crecimiento vegetativo excesivo, debido a que este es tejido susceptible (Dewdney, 2021; Whiteside, 1976).

Como fungicidas efectivos para el control de *Alternaria* spp. se han reportado los ditiocarbamatos, aplicados una semana después de la emergencia del brote y, de nuevo, dos semanas después (Timmer et al., 2000). También se ha sugerido la aplicación de triazoles y famoxadon (Sadovsky et al., 2002) y la estrobilurina, probada y determinada como efectiva (Dewdney, 2021; Mondal et al., 2005; Sadovsky et al., 2002).

Gomosis

La gomosis de los cítricos, denominada también *podrición del pie*, es una enfermedad muy común en los cítricos. La infección se puede presentar tanto en vivero como en campo. El patógeno afecta el cuello de la raíz, los tallos y las ramas primarias de las plantas de cítricos. También puede colonizar raíces, causando la pudrición de las plantas, cuando se presenta una alta humedad en el suelo (Luis et al., 2010). Estos daños reducen los rendimientos del cultivo entre 10 % y 30 % cuando se siembran sobre portainjertos susceptibles (Mounde et al., 2009) (tabla 16).

Agente causal

La gomosis está asociada con más de 10 especies de oomicetes del género *Phytophthora* (Peronosporaceae). Entre las especies más frecuentes se registran *P. parasitica* Dastur, 1913, *P. citrophthora* (R. E. Sm. & E. H. Sm.) Leonian, 1925, *P. citricola* Sawada 1927,

P. palmivora E. J. Butler, 1919, *P. cryptogea* Pethybr. & Laff., 1919 (Feichtenberger et al., 2005). Las diferencias morfológicas entre algunas de las especies son pocas y variables, lo que dificulta la clasificación precisa de la especie y conduce a diferentes respuestas ante las estrategias de control (Klotz, 1978), lo que le da mayor ventaja a *Phytophthora*. Varios estudios han identificado a *P. citrophthora* y *P. parasitica* como las especies más destructivas causantes de podredumbre del pie en cítricos (Klotz, 1973; Vernière et al., 2004).

Phytophthora es un habitante natural del suelo, que sobrevive sobre suelos con alta humedad, capaz de dispersarse por el movimiento de suelo y uso de sustratos contaminados, contacto entre raíces, aguas superficiales, salpicaduras desde el suelo a los tejidos de la planta o movimiento de propágulos por humanos o invertebrados (Ristaino & Gumpertz, 2000).

Síntomas

La infección de *Phytophthora* spp. en cítricos puede ocurrir en las semillas antes de la germinación o en la etapa de germinación, infectando los tejidos de la base del hipocótilo con lesiones deprimidas de color oscuro que aumentan de tamaño y, finalmente, causan la muerte de las plántulas (Neto et al., 2016).

Cuando el patógeno afecta las raíces, estas se ablandan. La corteza se puede levantar de forma fácil y se produce un síntoma de necrosis en el leño. Cuando las lesiones avanzan hacia el tallo, se produce un crecimiento retardado de la planta, marchitez prematura y muerte de la planta. Cuando la enfermedad afecta el tallo, aparecen lesiones con manchas oscuras e irregulares que avanzan hacia la yema injertada. También se pueden presentar grietas en la corteza, lesiones de color oscuro en el leño y pueden aparecer exudaciones de goma. Las hojas de las plantas se tornan de color verde pálido y las nervaduras amarillas, con brotes escasos y decaimiento de la planta. En ocasiones, se pueden presentar lesiones directamente en el follaje, donde se producen manchas concéntricas irregulares o redondeadas de color pardo oscuro (Luis et al., 2010).

La gomosis también se puede presentar de forma asintomática. El patógeno puede permanecer en las raíces de las plantas infectadas, así como en el sustrato hasta su establecimiento en el campo (Neto et al., 2016), donde puede desarrollar síntomas de podredumbre de la raíz o podredumbre de la corona. La corteza infectada se mantiene firme con pequeñas grietas a través de las cuales se produce abundante exudación de goma (Savita & Avinash, 2012) (figura 66).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 66. Síntoma asociado a gomosis en naranja Valle Washington injertada sobre CPB 4475. a. Exudación de goma; b. Necrosis interna en tallos principal.

Un síntoma de infección grave es el cambio en la coloración de las hojas a verde pálido con venas amarillas, manchas irregulares de color oscuro en la base del tallo cerca del suelo, flacidez generalizada de hojas y presencia de cancro bien definido (Álvarez et al., 2006; Jagtap et al., 2012).

Diagnóstico

Para el diagnóstico de la gomosis, se han desarrollado medios selectivos para el aislamiento de *Phytophthora* spp. a partir del suelo, raíces o de la corteza en la base del tallo de árboles enfermos (Tsao, 1960, 1970, 1983). Los medios más utilizados para aislamiento de *Phytophthora* en cítricos son los siguientes: medio de Kerr's modificado, (Hendrix & Kuhlman, 1965), medio MacCain (McCain et al., 1967), medio Masago (Masago et al., 1977), medio PVPH (Tsao & Guy, 1977), medio PARPH (Mitchell et al., 1986) y medio BHMPVR (Bist & Nene, 1988). Los más exitosos son aquellos que contienen antibióticos antibacterianos y agentes fúngicos (Eckert & Tsao, 1960; Kueh & Khew, 1982; Naqvi, 1990; Tsao & Guy, 1977; Tsao & Ocana, 1969).

El muestreo se realiza seleccionando tejido vegetal con lesiones como exudaciones de goma, agrietamiento visible con exposición de leña, presencia de cancro y destrucción de leña (Orozco, 1995), o plantas de vivero que presenten marchitez o muerte súbita. Una vez recolectadas las muestras, se procede a la desinfección del tejido y posterior siembra en la caja de Petri con medio selectivo, para la obtención del aislamiento de *Phytophthora* spp.

En medio de cultivo, las cepas de *Phytophthora* spp. se caracterizan por presentar un patrón de crecimiento de tipo petaloide o en forma arrosetada. Microscópicamente, muestra hifas coraloideas, torulosas, clamidosporas de pared gruesa intercalares (formadas entre hifas) o terminales (en los extremos de las hifas) y esporangios que pueden ser papilados o semipapilados con una a dos papilas, o caducos. Los esporangios pueden presentar forma obpiriforme o limoniforme (Drenth & Sendall, 2001).

Manejo de la enfermedad

El manejo de la enfermedad en vivero se fundamenta en prácticas preventivas, para lo cual es recomendable realizar las siguientes acciones:

- Utilizar un sustrato con una mezcla de insumos o materiales que eviten la compactación excesiva, que permitan el crecimiento de raíces y el buen drenaje el agua.
- Desinfectar las semillas antes de la siembra.
- Desinfectar los sustratos con fungicidas sistémicos específicos para los protozoos del tipo oomicetos, como son las fenilamidas y los etilfosfonatos. Dentro de las fenilamidas se encuentra el metalaxyl, que tiene acción preventiva y curativa. Los etilfosfonatos son las sales o ésteres del ácido fosfónico, cuyo principal compuesto es el fosetilaluminio y su acción es sistémica. Estos fungicidas se aplican en el momento del trasplante de semillero a bolsa, en una dosis de 1 cc/L y 3 g/L en *drench*, respectivamente. Para evitar problemas de toxicidad del operario y de las plantas del vivero, es necesario que el viverista conozca la toxicidad del producto y el tiempo de espera de la aplicación a la siembra. Por ello, se debe leer cuidadosamente la etiqueta del producto y consultar a un ingeniero agrónomo sobre los pasos para el tratamiento.
- Utilizar portainjertos tolerantes a gomosis (tabla 16).
- Realizar monitoreos o inspecciones periódicas de las plantas para detectar los daños ocasionados por el patógeno y tomar medidas de control.

- Evitar el exceso de riego y realizar una fertilización de acuerdo con los requerimientos de las plantas.
- Eliminar plantas enfermas.

Adicionalmente, se requiere de forma obligatoria las siguientes disposiciones de la Resolución 12816 de 2019 del ICA:

- Disponer de un sistema de riego y drenaje, para evitar encharcamientos que causen pudrición de las semillas, presencia de enfermedades fungosas en la plántula u otros problemas.
- Tener camas o estibas elevadas del suelo, mínimo 15 cm, para aislar efectivamente el material de propagación contra patógenos del suelo (figura 67).



Foto: Yeison López-Galé

Figura 67. Plantas de cítricos dispuestas sobre estibas de concreto elevadas a 15 cm del suelo.

- Tener un cobertizo que aisle los sustratos del agua lluvia, viento y luz solar directa, y disponer de un área de almacenamiento, un área de mezclas sobre piso de cemento u otro material que no permita que estos estén en contacto directo con el suelo, y un área de desinfección de sustratos.

- El acceso a la casa de malla debe tener una antecámara de desinfección con piso de cemento, con doble puerta con marco cerrado y cubierta con malla antiáfidos, diseñada para evitar entrada de posibles vectores o patógenos, donde se debe tener una zona de desinfección de zapatos con cal viva (figura 68), para evitar la contaminación del vivero con patógenos del suelo (pediluvio).
- Llevar un registro de las labores fitosanitarias que se realicen en el vivero y los insumos de los agroquímicos y orgánicos utilizados (nombre comercial, ingrediente activo, dosis/litro, frecuencia) para el manejo de los problemas fitosanitarios.



Fotos: Nubia Murcia

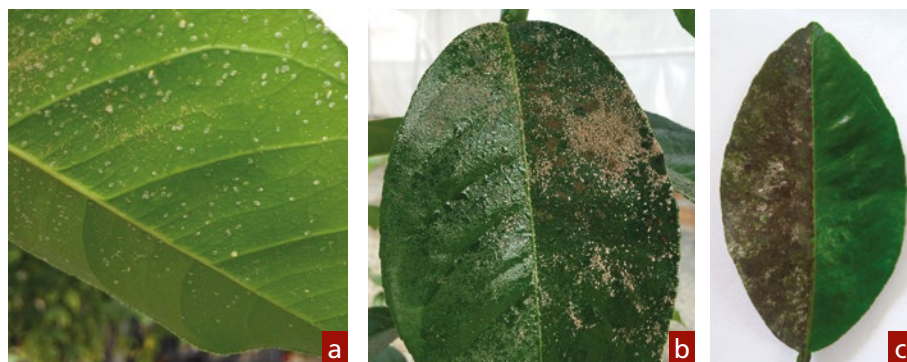
Figura 68. Casa de malla de cítricos. a. Antecámara de desinfección con piso de cemento; b. Zona de desinfección de calzado.

Fumagina

La fumagina no es una enfermedad exclusiva de los cítricos; también se presenta en otros hospederos (Barahona & Barrantes, 1991). Afecta todas las especies de cítricos y se presenta en hojas, tallos y frutos, principalmente cuando las plantas son afectadas por insectos que excretan melaza (Castillo, 2001; Orozco, 1999). En ataques fuertes de fumagina, la planta se debilita, lo que provoca una intensa defoliación; se disminuye sustancialmente el vigor vegetativo y puede incluso llegar a causar la muerte de la planta (Castaño & Del Río, 1994; Loussert, 1992).

Agente causal

Los hongos que causan la fumagina pertenecen al género *Capnodium*, familia Capnodiaceae. El daño que causa *Capnodium* spp. es indirecto; el hongo no parasita directamente al tejido vegetal, sino que se desarrolla utilizando la melaza de los insectos chupadores como áfidos, mosca blanca, escamas y el piojo harinoso (Pastrana et al., 1998). Al limpiar la superficie de la hoja que presenta fumagina, la capa negra sale fácilmente y se ve el verde brillante de la hoja sin presentar algún tipo de daño. El hongo crece sobre la superficie de las hojas y, por lo tanto, dificulta la actividad fotosintética (Barahona & Barrantes, 1991) (figura 69).



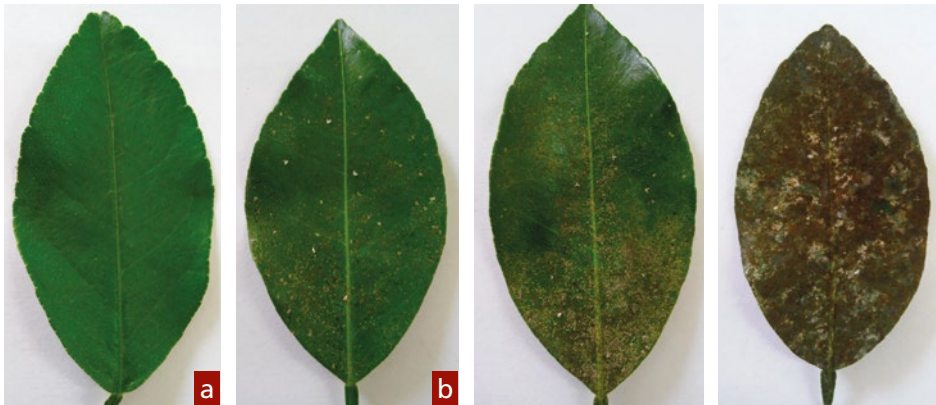
Fotos: Diana Rodríguez

Figura 69. Tipo de daño ocasionado por fumagina en cítricos. a. Insectos chupadores (mosca blanca) en el envés de la hoja de cítricos; b. Sustancias azucaradas en el haz de la hoja con presencia de fumagina; c. Lado izquierdo de la hoja: infección superficial por fumagina, lado derecho de la hoja: color verde brillante sin presentar ningún tipo de daño después de limpiar la superficie de la hoja con infección de fumagina.

Las conidias del hongo son las que diseminan la enfermedad de una hoja a otra y, si al germinar encuentran nutrientes suficientes (sustancias azucaradas), comienza el desarrollo micelio característico de la enfermedad.

Síntomas

El síntoma característico de la fumagina es una mancha formada por un polvo negro muy fino que se fija generalmente en el haz de las hojas. El polvo poco a poco invade todo el limbo, formando una película delgada, suave al tacto y fácilmente desprendible al raspar la hoja, ya que el hongo no penetra los tejidos vegetales (figura 70).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 70. Hojas de cítricos con diferente grado de infección de fumagina. a. Hoja sana; b. Invasión de la fumagina con diferentes grados de infección hasta cubrir el 100 % del limbo de la hoja.

La presencia de esta enfermedad depende de las poblaciones de insectos chupadores que se presentan en las brotaciones vegetativas de las plantas. Cuanto mayor sean las infestaciones de insectos chupadores, mayor será la secreción de las sustancias azucaradas y, por ende, mayor será la incidencia del hongo (Pastrana et al., 1998). Las condiciones atmosféricas también tienen un papel muy importante en la incidencia de la enfermedad: la elevada humedad relativa y la poca iluminación son condiciones favorables para su desarrollo (Barahona & Barrantes, 1991).

Diagnóstico

El diagnóstico de la fumagina se puede realizar fácilmente de forma visual, ya que la sintomatología es muy similar al tizne. El hongo se desarrolla de forma superficial sobre las hojas, formando una especie de película de color negro muy distinguible a simple vista, por lo que se requieren de monitoreos frecuentes para la detección oportuna de insectos chupadores y síntomas de la enfermedad, para hacer un manejo adecuado de la fumagina y garantizar la sanidad de las plantas de cítricos.

Manejo de la enfermedad

Dado que la fumagina es siempre consecuencia de los ataques de insectos chupadores, su principal método de manejo es la prevención a través de un adecuado control de las poblaciones de insectos (ICA, 2012) con insecticidas convencionales solos o en combinación con aceites minerales que han resultado ser muy útiles para el control

de plagas en cítricos (Larral & Ripa, 2009). También es recomendable realizar las siguientes labores:

- Evitar la alta densidad de plantas por área para mejorar la aireación y disminuir las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad: alta humedad relativa y poca iluminación de las plantas.
- Cuando la enfermedad se establece en las plantas de cítricos, se debe hacer control de la población de insectos chupadores; sin embargo, como la fumagina queda en las hojas, se debe utilizar detergentes agrícolas para así limpiar el tejido de la planta (figura 71).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 71. Control de fumagina en cítricos. a. Control de insectos chupadores (mosca blanca); b. Desprendimiento de la fumagina de las hojas de cítricos después de realizado el control.

- En caso de que se presenten daños severos por la fumagina, se debe realizar aspersiones de fungicidas cúpricos o carbamatos (Barahona & Barrantes, 1991).
- Todas las labores fitosanitarias que se realicen en el vivero se deben registrar en un libro de campo.

Referencias

- Álvarez, L. A., Vicente, A., García, R. D., Martínez, C. P., De la Rosa, E., Bascon, J., Armengol, J., Abad, C. P., Alfaro, L. A., & García, J. J. (2006). Muerte de árboles cítricos causada por ataques de *Phytophthora citrophthora* a ramas principales. Boletín de sanidad vegetal. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 32(2), 241-258. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Plagas/BSVP_32_02_241_258.pdf
- Ammar, E. Ramos, J., Hall, D., Dawson, W., & Shatters, R. (2016). Acquisition, replication and inoculation of *Candidatus Liberibacter asiaticus* following various acquisition periods on Huanglongbing-infected Citrus by nymphs and adults of the Asian Citrus Psyllid. *PLoS One*, 11(7), e0159594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159594>
- Bar-Joseph, M., Garnsey, S. M., Gonsalves, D., Moscovitz, M., Porcifull, D. E., Clark, M. F., & Loebenstein, G. (1979). The use of enzyme-linked immunosorbent assay for detection of citrus tristeza virus. *Phytopathology*, 69, 190-194. https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1979Articles/Phyto69n02_190.pdf
- Barahona, M., & Barrantes, S. (1991). *Fruticultura especial: Fascículo 1. cítricos*. Fruticultura II. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Bernad, L., & Duran-Vila N. (2006). A novel RT-PCR approach for detection and characterization of citrus viroids. *Molecular & Cellular Probes*, 20(2), 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2005.11.001>
- Bernad, L., Duran-Vila, N., & Elena, S. F. (2009). Effect of citrus hosts on the generation, maintenance and evolutionary fate of genetic variability of citrus exocortis viroid. *Journal of General Virology*, 90(8), 2040-2049. <http://doi.org/10.1099/vir.0.010769-0>
- Bliss, D. E., & Fawcett, H. S. (1944). The morphology and taxonomy of *Alternaria citri*. *Mycologia*, 36(5), 469-502. <https://doi.org/10.2307/3754954>
- Bist, V. S., & Nene, Y. L. (1988). A selective medium for *Phytophthora* causing pigeon pea blight. *Pigeon Pea Newsletter*, 8, 12-13.
- Bové, J. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Plant Pathology*, 88(1), 7-37. <https://www.jstor.org/stable/41998278>
- Caicedo, A., Ramírez, R., Bermúdez, C., Gómez, H., Rivera, J., Muñoz, R., & Gómez, C. (2006). *Fortalecimiento del proceso de certificación de cítricos para Colombia*. Boletín divulgativo N.º 7. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19194>

- Camacho-Tapia, M., Rojas-Martínez, R., Rebollar-Alviter, A., Aranda-Ocampo, S., Suárez-Espinosa, J. (2016). Biological, ecological, epidemiological and management aspects of *Candidatus Liberibacter*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(1), 5-16. <http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.09.021>
- Cambra, M. (1983). Diagnóstico del virus de la tristeza (CTV) mediante la técnica ELISA: Interés y aplicaciones. *Levante Agrícola*, 245, 11-17. https://digital.csic.es/bitstream/10261/128680/1/CambraM_LevAgric_1983.pdf
- Cambra, M., Gorris M. T., Olmos, A., Martínez, M. C., Román, M. P., Bertolini, E., ... López, A., Carbonell, E. A. (2002). European Diagnostic Protocols (Diagpro) for Citrus tristeza virus in adult trees. En J. da Graça, R. Milne & L. W. Timmer (Eds.), *Proceedings of the 15th Conference of the International Organization of Citrus Virologists (IOCv)* (pp. 69-77). https://escholarship.org/content/qt4ph9b2xr/qt4ph9b2xr_noSplash_0faa4b1b0c5d8758b00194e62f8d7bd7.pdf?t=p0w8pa
- Cambra, M., & Moreno, P. (2000). Tristeza. En P. Moreno, & N. Durán-Vila (Eds.), *Enfermedades de los cítricos. Monografía de la Sociedad Española de Fitopatología*, N.º 2 (pp. 77-81). Ediciones Mundi-Prensa.
- Cambra, M., Moreno, P., & Navarro, L. (1979). Detección rápida del virus de la tristeza de los cítricos mediante técnica inmunoenzimática Elisa “sándwich”. *Anales, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Serie Protección Vegetal*, 12, 115-125.
- Castaño, J., & Del Río, M. L. (1994). *Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica*. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras.
- Castillo L. J. (2001). *Manual técnico de cítricos (Citrus spp. Rutaceae)*. Dirección Regional Central Occidental.
- Castro, B., Timmer, L., Leguizamón, J., & Müller, G. (2000). *Enfermedades de los cítricos en Colombia*. Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola. http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_56_Enfermedades%20citricos.pdf
- Castro-Caicedo, B., Leguizamón-Caycedo, J., & López-Ríos, J. (1994). La mancha foliar de los cítricos en la zona cafetera. *Avances Técnicos*, 198. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avance_tecnico_0198
- Catara, A., Lombardo, A., Nobile, G., & Rizza, S. (2010). Characterization of additional Citrus tristeza virus isolates in a highly infected Citrus area of Sicily. *Proceedings, 17th Conference, IOCv, 2010 – Citrus Tristeza Virus*, 17(17), 80-83.

- Chaparro, Z., Velásquez, H., & Orduz-Rodríguez, J. (2013). Influencia del virus de la tristeza de los cítricos (CTV) en el comportamiento de la lima acida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) injertada sobre seis patrones en el pie de monte llanero de Colombia (1997-2008). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 33-38. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:268
- Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF). (2016). *PD 15: Virus de la tristeza de los cítricos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2017/02/DP_15_2016_Es_2017-01-31.pdf
- Dalkilic, Z., Timmer, L. W., & Gmitter, F. G. (2005). Linkage of an Alternaria disease resistance gene in mandarin hybrids with RAPD fragments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(2), 191-195. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.2.191>
- Dawson, W. O., Bar-Joseph, M., Garnsey, S. M., & Moreno, P. (2015). Citrus tristeza virus: Making an-Ally from an Enemy. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 137-155. <http://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120012>
- Dewdney, M. M. (2021). 2020–2021 Florida Citrus Production Guide: Citrus Scab, *EDIS: 2020–2021*. <http://doi.org/10.32473/edis-cg021-2021>
- Drenth, A., & Sendall, B. (2001). *Practical guide to detection and identification of Phytophthora*. CRC for Tropical Plant Protection.
- Durán-Vila, N. (2004). Enfermedades de cítricos causadas por viroides: exocortis y caquexia. *Vida Rural*, 188, 52-56. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_2004_188_52_56.pdf
- Durán-Vila, N., Pina, J., Ballester, J., Juárez, J., Roistacher, C., Rivera- Bustamante, R., & Semancik, S. (1988). The citrus exocortis disease: A complex of viroid-RNAs. *Proc 10th Conf. Int. Org. Citrus Virol. (IOCV)*, Riverside CA. EE. UU., pp. 152-164. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/7714>
- Durán-Vila, N., Pina, J., & Navarro, L. (1993). Improved indexing of citrus viroids. *Proc. 12th Conf. Int. Organ. Citrus Virol (iocv)* (pp. 202-211). Riverside, CA, EE.UU.
- Eckert, J. W., & Tsao, P. H. (1960). A preliminary report on the use of pimaricin to the isolation of *Phytophthora* spp. from root tissues. *Plant Disease Reports*, 44(8), 660-661.
- Figueroa, J., Foguet, L., Figueroa-Castellanos, A., & Stein, B. (2009). Biological characterization of Citrus tristeza virus strains in lemon in Tucumán, Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 86(1), 37-41. <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v86n1/v86n1a05.pdf>

- Feichtenberger, E., Bassanezi, R. B., Spósito, M. B., & Belasque, Jr. J. (2005). Doenças dos citros. En H. Kimati L. Amorim, J. A. M., Rezende, A. Bergamin Filho & L. E. A. Camargo (Eds.), *Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas* (v.2, cap. 28, pp. 239-269). Agronômica Ceres.
- Folimonova, S., Robertson, C., Garnsey, S., Gowda, S., & Dawson, W. (2009). Examination of the responses of different genotypes of citrus to Huanglongbing (Citrus Greening) under different conditions. *Phytopathology*, 99(12), 1346-1354. <https://doi.org/10.1094/phyto-99-12-1346>
- Freeman, W. M., Walker, S. J., & Vrana, K. E. (1999). Quantitative RT-PCR: pit-falls and potential. *Biotechniques*, 26(1), 112-125. <https://doi.org/10.2144/99261rv01>
- Garnier, M., Bové, J. J., Cronje, C., Sanders, G., Korsten, L., & Le Roux, H. (2000). Presence of “*Candidatus Liberibacter africanus*” in the Western Cape Province of South Africa. *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings*, 14(14), 369-372. <https://doi.org/10.5070/C52sz5q3w7>
- Giacometti, D., & Ríos, D. (1967). Programa de certificación de yemas para la propagación de cítricos en Colombia. *Separata de la Revista Agricultura Tropical*, 23(5), 277-287.
- Gross, H. Krupp, G., Domdey, H., Raba, M., Jank, P., Lossow, C., Alberty, H., Ramm, K., & Sängner, H. (1982). Nucleotide sequence and secondary structure of citrus exocortis and chrysanthemum stunt viroid. *European Journal of Biochemistry*, 121, 249-257. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1982.tb05779.x>
- Halbert, S., & Manjunath, K. (2004). Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3), 330-353. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2004\)087\[0330:ACPSPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087[0330:ACPSPA]2.0.CO;2)
- Hartung, J., Halbert, S., Pelz-Stelinski, K., Bransky, R., Chen, C., & Gmitter, F. (2010). Lack of evidence for transmission of ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ through citrus seed taken from affected fruit. *Plant Disease*, 94(10), 1200-1205. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-09-0595>
- Heid, C. A., Stevens, J., Livak, K. J., & Williams, P. M. (1996). Real time quantitative PCR. *Genome Resource*, 6, 986-994. <https://doi.org/10.1101/gr.6.10.986>
- Hendrix, F. F., & Kuhlman, E. G. (1965). Factors affecting direct recovery of *Phytophthora innamomic* from soil. *Phytopathology*, 55, 1183-1187.
- Hilf, M. E., Mavrodieva, V. A., & Garnsey, S. M. (2005). Genetic marker analysis of a global collection of isolates of *Citrus tristeza virus*: Characterization and distribution of CTV genotypes and association with symptoms. *Phytopathology*, 95, 909-917. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0909>

- Hocquellet, A., Toorawa, P., Bové, J., & Garnier, M. (1999). Detection and identification of the two *Candidatus Liberobacter* species associated with citrus huanglongbing by PCR amplification of ribosomal protein genes of the h operon. *Molecular and Cellular Probes*, 13(5), 373-379. <https://doi.org/10.1006/mcpr.1999.0263>
- Hung, T., Wu, M., & Su, H. (2000). Identification of alternative hosts of the fastidious bacterium causing citrus greening disease. *Journal of Phytopathology*, 148, 321-326. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0434.2000.00506.x>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de cítricos (Citrus). Medidas para la temporada invernal*. <https://www.ica.gov.co/getattachment/89f7ca91-2820-4d06-9826-74964de55de6/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Citricos.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2009). *Resolución N.º 3180, por medio de la cual se establecen los requisitos y procedimientos para la producción y distribución de material de propagación de frutales en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015a). *Resolución N.º 2390, por medio de la cual se declara el estado de emergencia fitosanitaria en el territorio nacional por la presencia de adultos de Diaphorina citri infectados con la bacteria de la enfermedad del HLB de los cítricos*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015b). *Resolución N.º 2684, por medio de la cual se modifica la Resolución 4214 de 2014*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Resolución N.º 7109, Por medio de la cual se declara el estado de emergencia fitosanitaria en el territorio nacional por la presencia de la enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB) de los cítricos*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2018). *Resolución N.º 19680, por medio de la cual se declara en cuarentena fitosanitaria el Departamento de Norte de Santander por la presencia de la plaga denominada Huanglongbing (HLB) de los cítricos*.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2019). *Resolución 12816 de agosto de 2019 “Por medio de la cual se establece los requisitos para el registro ante el ICA de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos, así como los requisitos fitosanitarios para la conservación, producción, certificación y distribución de material de propagación de cítricos en viveros, en el territorio nacional”*.

- Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT). (2010). Sistema de producción de material de propagación certificado de cítricos en Cuba. En *Viveros de cítricos en el contexto fitosanitario actual* (pp. 61-73). IIFT. <http://riacnet.net/wp-content/uploads/2014/11/Viveros-citricos-completo.pdf>
- Jagoueix, S., Bové, J., & Garnier, M. (1996). PCR detection of the two *Candidatus Liberobacter* species associated with greening disease of citrus. *Molecular and Cellular Probes*, 10(1), 43-50. <https://doi.org/10.1006/mcpr.1996.0006>
- Jagtap, G. P., Dhavale, M. C., & Dey, U. (2012). Symptomatology, survey and surveillance of citrus gummosis disease caused by *Phytophthora* spp. *Scientific Journal of Agricultural*, 1(1), 14-20. <https://doi.org/10.14196/AA.V1I1.8>
- Klotz, L. (1973). *Color Handbook of Citrus Diseases*. University of California.
- Klotz, L. (1978). Fungal, bacterial and nonparasitic diseases and injuries originating in the seedbed, and nursery orchard. En W. Reuther, E.C. Calavan, G.F. Carman (Eds.), *The Citrus Industry Vol. 4. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources* (p. 62). Richmond, Crop Protection.
- Kueh, T., & Khew, K. (1982). Survival of *Phytophthora palmivora* in soil and after passing through alimentary canals of snails. *Plant Disease*, 66, 897-99. https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1982Articles/PlantDisease66n10_897.pdf
- Larral, D. P., & Ripa, S. R. (2009). Aceite mineral en manejo integrado de plagas en cítricos. *Revista Tierra Adentro*, 84, 20-22. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5055>
- Lee, R., & Bar-Joseph, M. (2000). Tristeza. En L.W. Timmer, S. M. Garnsey & J.H. Graham (Eds.), *Compendium of Citrus Diseases*, 2nd edn (pp. 61-63). APS Press.
- Lin, K. (1956). Observation on yellow shoot of citrus. Etiological study of yellow shoot of citrus. *Acta Phytopathologica*, 2(1), 1-42.
- López, J., & Cardona, J. (2007). *Evaluación de portainjertos de cítricos en la zona central cafetera de Colombia*. Cenicafé. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot030.pdf>
- Loussert, R. (1992). *Los agrios*. Ediciones Mundi Prensa.
- Lozano, I., Calvert, L., Moreno, M., Angel, J., Turizo, W., Gómez, J., Narváez, J., Narváez, E., Caicedo, A., & Rojas, A. (2009). *Desarrollo e implementación de una red nacional para la certificación fitosanitaria de cítricos*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19904>
- Luis, M., Peña, M., Collazo, C., Ramos, P., & Llauger, R. (2010). *Enfermedades bacterianas y fungosas en viveros de cítricos: características y control*.

- Taller regional sobre viveros de cítricos. <http://riacnet.net/wp-content/uploads/2014/11/Conf-6-Enfermedades-fungosas.pdf>
- Masago, H., Yoshikawa, M., Fukada, M., & Nakanishi, N. (1977). Selective inhibition of *Pythium* spp. on a medium for direct isolation of *Phytophthora* spp. from soils and plants. *Phytopathology*, 67, 425-28. <http://doi.org/10.1094/Phyto-67-425>
- Mateus, D., Pulido, X., Gutiérrez, A., & Orduz-Rodríguez, J. (2010). Evaluación económica de la producción de cítricos cultivados en el Piedemonte del Departamento del Meta durante 12 años. *Orinoquia*, 14(1), 16-26. <https://doi.org/10.22579/20112629.122>
- McCain, A., Holtsman, O., & Trujillo, E. (1967). Concentration of *Phytophthora* cinnamon chlamydospores by soil sieving. *Phytopathology*, 57, 1134-35.
- Mitchell, D., Kannwischer-Mitchell, M., & Zentmyer, G. (1986). Isolating, identifying, and producing inoculum of *Phytophthora* spp. En K. D. Hickey (Ed.), *Methods for evaluating pesticides for control of plant pathogens* (pp. 63-66). American Phytopathological Society.
- Mondal, S. N., Bhatia, A., Shilts, T., & Timmer, L. W. (2005). Baseline sensitivities of fungal pathogens of fruit and foliage of citrus to azoxystrobin, pyraclostrobin, and fenbuconazole. *Plant Disease*, 89(11), 1186-1194. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PD-89-1186>
- Morales, J., Acosta, O., Tamayo, P., & Peñaranda, J. (2013). Characterization of Citrus tristeza virus isolates from Colombia. *Revista Protección Vegetal*, 28(1), 45-53. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v28n1/rpv06113.pdf>
- Mosquera, V., Martínez, M., Cuellar, W., Vaca-Vaca, J., Lozano, I., & Murcia, N. (2015). Detection of viroids and Citrus tristeza virus (CTV) in Tahití lime *Citrus latifolia* (Tanaka) through application of RT-PCR. *Memorias xxxii Congreso Colombiano de Fitopatología y i Simposio Internacional de Fusarium. Memorias xxxlll Congreso Colombiano de Fitopatología y Ciencias Afines*, 39(1), 59.
- Mounde, L., Ateka, E., Kihurani, A., Wasilwa, L., & Thurania, E. (2009). Occurrence and distribution of citrus gummosis (*Phytophthora* spp.) in Kenya, Africa. *African Journal of Horticultural, Science & Biotechnology*, 2, 56-68.
- Murcia, N., Bani Hashemian, S., Bederski, K., Wulff, N., Barbosa, C., Bové, J., & Durán-Vila, N. (2010). Viroids in Tahiti Lime Scions Showing Bark Cracking Symptoms. *Proceedings, 17th Conference, IOCV - Viroids*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29406/1/MURCIAID27510.pdf>

- Murcia, N., Caicedo, A., Calvert, L., Sánchez, M., Dávila, G., Domínguez, A., & Martínez, H. (2005). Caracterización de diez aislamientos colombianos del virus de la tristeza de los cítricos. *Fitopatología Colombiana*, 28, 31-36.
- Murcia, N., Osorio, J., Morales, F., & Calvert, L. (2002). Distribución y caracterización serológica de aislamientos del virus de la tristeza de los cítricos en Colombia. *Fitopatología Colombiana*, 26, 21-16. <https://hdl.handle.net/10568/44280>
- Murcia, N., Ríos, D., Caicedo, A., Martínez, M., & Corrales, D. (2012). *Importancia del programa de certificación como medida para controlar la calidad sanitaria y varietal de los cítricos en Colombia*. Plegable divulgativo. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/20664>
- Murcia, N., Serra, P., Olmos, A., & Durán-Vila, N. (2009). A novel hybridization approach for detection of citrus viroids. *Molecular and Cellular Probes*, 23(2), 95-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mcp.2008.12.007>
- MycoBank. International Mycological Association. (2015). www.mycobank.org. Consultado el 12/01/2015 para clasificación taxonómica de *Alternaria* y *Pithomyces chartarum*.
- Naqvi, S. (1990). *Survey of Nagpur mandarin nurseries for Phytophthora spp.* Annual Report 1989-1990, NRC for Citrus Nagpur.
- Naranjo, M. (1997). Reseña bibliográfica sobre la enfermedad tristeza de los cítricos. II. Diversidad de razas de virus, caracterización, formas de transmisión, diagnóstico y estrategias de control. *Levante Agrícola*, 36, 355-368.
- Neto, H., Silva, S., Mourão-Filho, F., Sposito, M., & Caputo, M. (2016). *The citrus nursery practices in Brazil*. Vivecitrus Oroganização Paulista de Viveiros de Mudás Cítricas https://www.researchgate.net/publication/316250188_The_Citrus_Nursery_Practices
- Oliveros, G. O., Martínez, S. N., Torres, R., & Acosta, O. (2009). CPm gene diversity in field isolates of Citrus tristeza virus from Colombia. *Archives of Virology*, 154(12), 1933-1937. <http://doi.org/10.1007/s00705-009-0530-6>
- Orduz-Rodríguez, J., León, G., & Arango, L. (2009). *Patrones para cítricos en los Llanos Orientales de Colombia*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2209>
- Orduz-Rodríguez, J., & Mateus, C. (2012). Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia En L. F. Garcés (Ed.), *Cítricos: Cultivo, poscosecha e industrialización* (Capítulo 2). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Universitaria Lasallista; Universidad de Antioquia. <http://hdl.handle.net/10567/561>
- Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (Nappo). (2012). *Protocolos de diagnóstico de la NAPPO. PD 02 Huanglongbing de los cítricos*. https://nappo.org/application/files/1515/9353/4531/DP_2_HLB_04-10-2012-s.pdf

- Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (Nappo). (2013a). *Normas Regionales de la NAPPO sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF). NRMF 16 medidas integradas para la movilización de material propagativo de cítricos*. http://nappo.org/files/8914/5083/2412/RSPM16_10-09-2013-s.pdf
- Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (Nappo). (2013b). *PD 01 Virus tristeza de los cítricos (Citrus Tristeza virus - CTV)*. Nappo.
- Orozco, S. (1995). *Enfermedades presentes y potenciales de los cítricos en México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Orozco, S. (1999). *Enfermedades fungosas de los cítricos en México*. En H. Cárdenas, Apuntes del curso: Fitosanidad tropical. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Tabasco, México.
- Pastrana, A., Rodríguez, C., León, A., & Ramírez, S. (1998). *Manejo tecnológico para el cultivo de la naranja en Tabasco*. Isprotab-Inifap.
- Paredes-Tomás, C., Luis-Pantoja, M., Collazo-Cordero, C., Peña-Bárcaga, I., López-Hernández, D., Batista-Le Riverend, L., & Hernández-Rodríguez, L. (2015). Diferencias en la manifestación de síntomas asociados a la enfermedad Huanglongbing (HLB) en diferentes especies cítricas en Cuba. *CitriFrut*, 32(2), 36-41. https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/26_Paredes_16.pdf
- Peever, T. L., Su, G., Carpenter-Boggs, L., & Timmer, L. W. (2004). Molecular systematics of citrus-associated *Alternaria* species. *Mycologia*, 96(1), 119-134. <https://doi.org/10.2307/3761993>
- Pegg, K., Duff, J., & Manners, A. (2014). *Alternaria diseases in production nurseries*. <https://www.vegkit.com.au/globalassets/hort-innovation/resource-assets/ny11001-alternaria-diseases.pdf>
- Quiroga Cardona, J., Hernández Parrado, F., Silva Herrera, M., & Orduz-Rodríguez, J. (2010). Comportamiento de la producción de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), injertada sobre el patrón de Mandarina Cleopatra (*Citrus reticulata* Blanco) y la influencia del virus de la tristeza (CTV) en condiciones del piedemonte del Meta, 1997-2008. *Orinoquia*, 14(1), 1-11. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14n1/v14n1a02.pdf>
- Ristaino, J. B., & Gumpertz, M. C. (2000). New frontiers in the study of dispersal and spatial analysis of epidemics caused by species in the genus *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology*, 38, 541-76. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.541>
- Rocha-Peña, M., Lee, R. F., Lastra, R., Niblett, C. L., Ochoa, F., Garnsey, S., & Yokomi, R. (1995). Citrus Tristeza Virus and its aphid vector *Toxoptera citricida*: Threats to citrus production. *Plant Disease*, 79, 437-445. <http://dx.doi.org/10.1094/PD-79-0437>

- Rodríguez-Mora, D., Mosquera, V., Martínez, M., & Murcia, N. (2015). Standardizations of the Northern blot Technique to detect CEVd from citrus in Colombia. *Memorias xxxii Congreso Colombiano de Fitopatología y I Simposio Internacional de Fusarium*, 39(1), 59.
- Rodríguez-Mora, D., Palacios, L., Martínez, M., & Murcia, N. (2017). Collection of work of citrus varieties free of Tristeza, Exocortis, and Huanglongbing. *Libro de resúmenes del v Simposio Internacional de Fruticultura Tropical y Subtropical/ ix Simposio Internacional de piña "Fruticultura" 2017*, p. 35.
- Roistacher, C. (Ed.). (1991). *Graft-Transmissible Diseases of Citrus: Handbook for Detection and Diagnosis*. Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Ruiz, R. S., Moreno, P., Guerri, J., & Ambros, S. (2007). A Real-Time RT-PCR assay for detection and absolute quantitation of Citrus tristeza virus in different plant tissues. *Journal of Virological Methods*, 145, 96-105. <http://doi.org/10.1016/j.jviro-met.2007.05.011>
- Sadowsky, A., Kimchi, M., Oren, Y., & Solel, Z. (2002). Occurrence and management of Alternaria brown spot in Israel 2002. *Phytoparasitica*, 30, 19. <https://doi.org/10.1007/BF03039999>
- Savita, G. S. V., & Avinash, N. (2012). Citrus diseases caused by Phytophthora species. *GERF Bulletin of Bioscience*, 3, 18-27.
- Semancik, J. S., & Weathers, L. G. (1972). Exocortis disease: Evidence for a new species of "infectious" low molecular weight RNA in plants. *Nature New Biology*, 237, 242-244. <https://doi.org/10.1038/newbio237242a0>
- Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y Semillas (Senave). (2013). *Manual técnico de identificación a campo del Huanglongbing (HLB) de los cítricos y el insecto vector, Diaforina citri*. <http://www.cosave.org/sites/default/files/Paraguay%20Manual%20de%20identificacion.pdf>
- Simmons, E. G. (1990). Alternaria themes and variations (27-53). *Mycotaxon*, 37, 79-119.
- Solano-Luna, L. M., Chavarro-Mesa, E., & Ángel-Díaz, J. E. (2018). PCR cuantitativa para la detección del virus de la tristeza de los cítricos en Colombia. *Revista Ciencia Agrícola*, 15(1), 7-18. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7789>
- Teixeira, D., Ayres, J., Kitajima, E., Danet, L., Jagoueix-Eveillard, S., Saillard, C., & Bové, J. (2005). First Report of a Huanglongbing-Like Disease of Citrus in Sao Paulo State, Brazil and Association of a New Liberibacter Species, "Candidatus Liberibacter americanus", with the Disease. *Plant Disease*, 89(1), 107. <https://doi.org/10.1094/pd-89-0107a>

- Timmer, L., Peever, T., Solel, Z., & Akimitsu, K. (2003). *Alternaria* diseases of citrus - novel pathosystems. *Phytopathologia Mediterranea*, 42(2), 99-112. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-1710
- Timmer, L., Solel, Z., & Orozco-Santos, M. (2000). *Alternaria* brown spot of mandarins. En L. W. Timmer, S. M. Garnsey, & J. H. Graham (Eds.), *Compendium of Citrus Diseases* (pp. 19-21). APS Press.
- Tsao, P. (1960). A serial dilution end point method for estimating disease potential of citrus *Phytophthoras* in soil. *Phytopathology*, 50(10), 717-724.
- Tsao, P. (1970). Applications of vital fluorescent labeling technique with brighteners to studies of saprophytic behavior of *Phytophthora* in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2, 247-56. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(70\)90031-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(70)90031-3)
- Tsao, P. (1983). Factors affecting isolation and quantification of *Phytophthora* from soil. En D. C. Erwin, S. Bartmicki-Garcia, & P. H. Tsao (Eds), *Phytophthora* its biology, taxonomy, ecology, and pathology (pp. 219-236). APS.
- Tsao, P., & Guy, S. (1977). Inhibition of *Mortierella* and *Pythium* in a *Phytophthora* isolation medium containing hymoxazol. *Phytopathology*, 67, 796- 801. <http://doi.org/10.1094/Phyto-67-796>
- Tsao, P. & Ocana, G. (1969). Selective isolation of species of *Phytophthora* from natural soils. *Nature*, 223(5306), 636-638. <https://doi.org/10.1038/223636a0>
- Valkonen, J. P. T., & Koponen, H. (1990). The Seed-Borne Fungi of Chinese Cabbage (*Brassica pekinensis*), Their Pathogenicity and Control. *Plant Pathology*, 39(3), 510-516. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.1990.tb02527.x>
- Vernière, C., Cohen, S., Raffanel, B., Dubois, A., Venars, P., Panabieres, F. (2004) Variability in pathogenicity among *Phytophthora* spp. Isolated from citrus in Corsica. *Journal of Phytopathology*, 152(8-9), 476-83. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00878.x>
- Wallace, J. M., & Drake, R. J. (1951). Recent developments in studies of quick decline and related diseases. *Phytopathology*, 41, 785-793.
- Walter, A. J., Duan, Y., & Hall, D. G. (2012). Titers of 'Ca. *Liberibacter asiaticus*' in *Murraya paniculata* and *Murraya*-reared *Diaphorina citri* are much lower than in *Citrus* and *Citrus*-reared psyllids. *HortScience*, 47(10), 1449-1452.
- Wang, Y., Kondo, T., He, Y., Zhou, Z., & Lu, J. (2020). Genome Sequence Resource of *Candidatus* *Liberibacter asiaticus* from *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) in Colombia. *Plant Disease*, 105(1), 193-195. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1249-A>
- Whiteside, J. O. (1976). A newly recorded *Alternaria*-induced brown spot disease on Dancy tangerines in Florida. *Plant Disease Reporter*, 60, 326-329.





Capítulo VII

Manejo integrado de arvenses en vivero

Diana Rodríguez-Mora

Yeison López-Galé

Julienne Barreto

Mauricio Fernando Martínez

Nubia Murcia

Las arvenses son plantas acompañantes de los sistemas de producción agrícola que, por crecer junto o sobre plantas cultivadas, alteran o impiden el desarrollo normal y disminuyen los rendimientos o la calidad de los cultivos (Roschewitz et al., 2005). El manejo de estas plantas requiere gran cantidad de mano de obra, lo que incrementa los costos del cultivo (Salazar & Hincapié, 2007).

En sistemas de producción de cítricos bajo ambientes protegidos, el manejo de arvenses es una labor muy importante, que puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas donde esté ubicado el vivero, así como por el historial de uso de los espacios o áreas destinadas para su establecimiento (cultivos previos) y, principalmente, por las fuentes que se usan para la preparación de sustratos; por esta razón, el plan de manejo necesita ser específico para cada situación. Es

recomendable que el control de arvenses se realice de manera periódica y oportuna, con el propósito de minimizar la competencia, para lo cual es necesario conocer cuáles son las especies presentes, los requerimientos específicos que condicionan su desarrollo y los métodos de control disponibles para lograr un resultado efectivo (Zimdahl, 2007).

Características de las arvenses

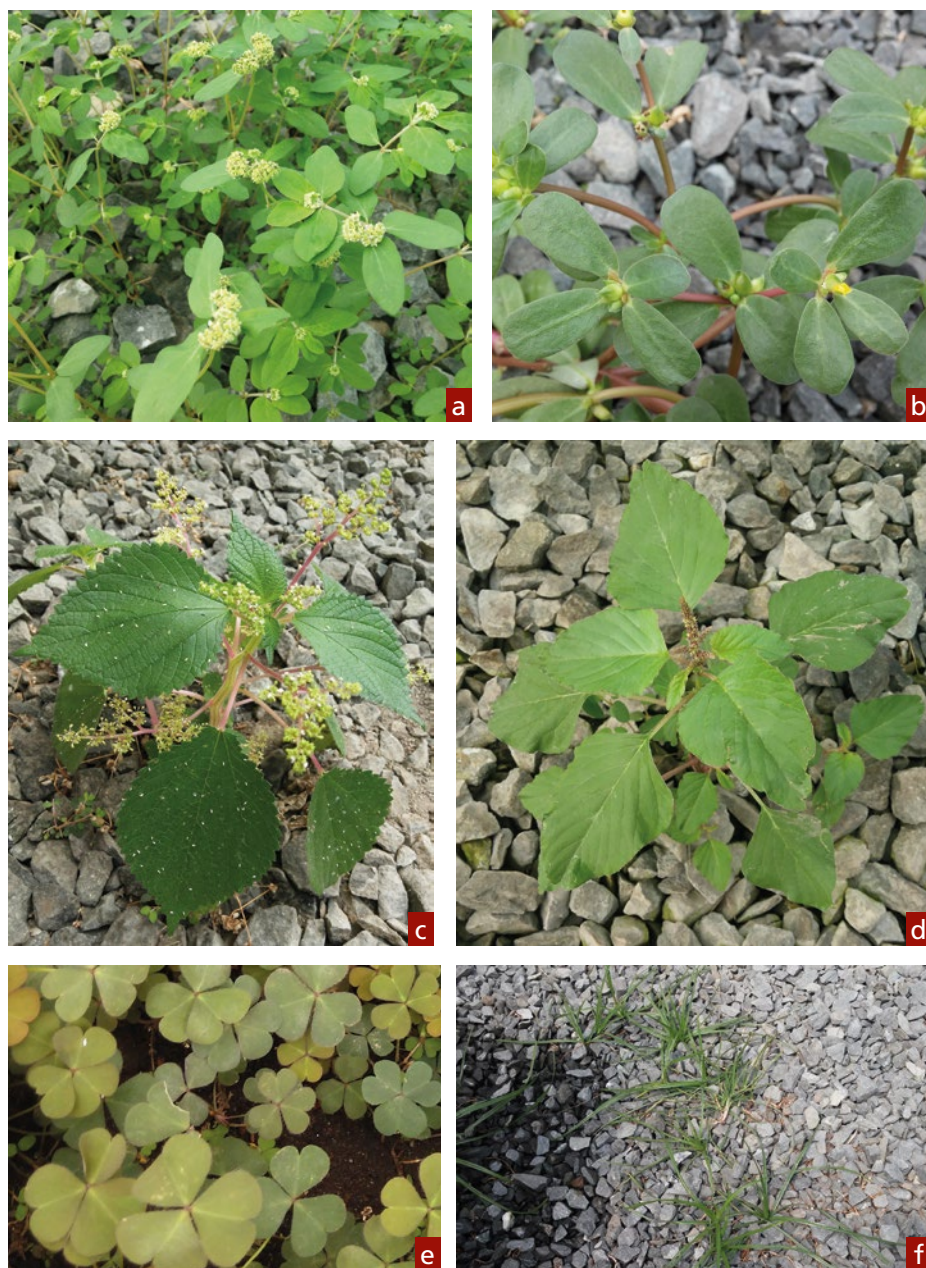
Las arvenses se caracterizan por su capacidad de sobrevivir en condiciones adversas. Por su adaptabilidad, agresividad, eficiencia reproductiva y supervivencia, pueden invadir y competir con diferentes sistemas productivos en campo abierto y en ambientes protegidos (Córdoba, 2008; Stack et al., 2017-2018).

Las arvenses agotan los nutrientes, el agua y el espacio asignado para el cultivo por sembrar, lo que ocasiona una reducción en la calidad y el rendimiento de las plantas; también pueden actuar como huéspedes alternos para varios insectos plaga y enfermedades (Bremer-Neto et al., 2016; Naidu, 2012).

Arvenses frecuentes en viveros de cítricos en ambiente protegido

Bajo condiciones protegidas en casa de malla, las arvenses pueden crecer en el suelo, estibas de concreto o en bolsas plásticas con sustrato. Las semillas de las arvenses son fácilmente transportadas al interior de las casas de malla por las puertas, orificios de ventilación u otras aberturas; también pueden entrar sobre herramientas, equipos de trabajo, agua de riego, animales y personas (Stack et al., 2017-2018).

Las especies de arvenses de hoja ancha más comunes asociadas al sistema de producción de cítricos para el Valle del Cauca en casa de malla son la golondrina, la ortiga, el trébol, la verdolaga y el bleto. También se pueden presentar algunas arvenses de hoja angosta como las gramíneas o pastos (figura 72, tabla 17).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 72. Arvenses más frecuentes al interior de casas de malla de cítricos en el Valle del Cauca. a. Golondrina; b. Verdolaga; c. Ortiga; d. Bledo; e. Trébol; f. Coquito.

Tabla 17. Especies de arvenses frecuentes en viveros de cítricos en el departamento del Valle del Cauca, bajo ambiente protegido de casa de malla

Nombre vulgar	Nombre científico	Familia
Ortiga	<i>Laportea aestuans</i> (L.) Chew.	Urticaceae
Trébol	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Oxalidaceae
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae
Bledo	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranthaceae
Golondrina	<i>Euphorbia hirta</i> L.	Euphorbiaceae
Coquito	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Cyperaceae

Fuente: Elaboración propia

Algunas de estas arvenses causan daño directo al producir retraso en el desarrollo de plantas cultivadas por competencia de nutrientes y otros recursos, e indirecto al ser hospederos alternos de plagas como pulgones, moscas blancas, trips, ácaros, babosas y enfermedades (Stack et al., 2017-2018). El trébol y la verdolaga han sido identificadas como hospederas de trips (Solís, 2016), mientras que la ortiga, la verdolaga y la golondrina son hospederas de mosca blanca (Vaca-Vaca et al., 2011; Vázquez, 2004) (figura 73).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 73. La ortiga como hospedera de ninfas y adultos de mosca. a. Haz de la hoja; b. Envés de la hoja.

En viveros de cítricos también se han identificado especies de algas y musgos, las cuales prosperan en ambientes húmedos producto de acumulaciones de agua por intensas lluvias o por exceso de riego. Estas plantas pueden cubrir rápidamente amplias superficies como estibas y mesas de concreto, macetas, bolsas plásticas y suelos cubiertos con grava. En ocasiones, forman densas costras o capas en las bolsas con sustratos que interfiere con la adecuada infiltración del agua durante el riego. Además, puede crecer en la malla antipulgón, lo que provoca reducción de los niveles de luz en el invernadero (Stack et al., 2017-2018).

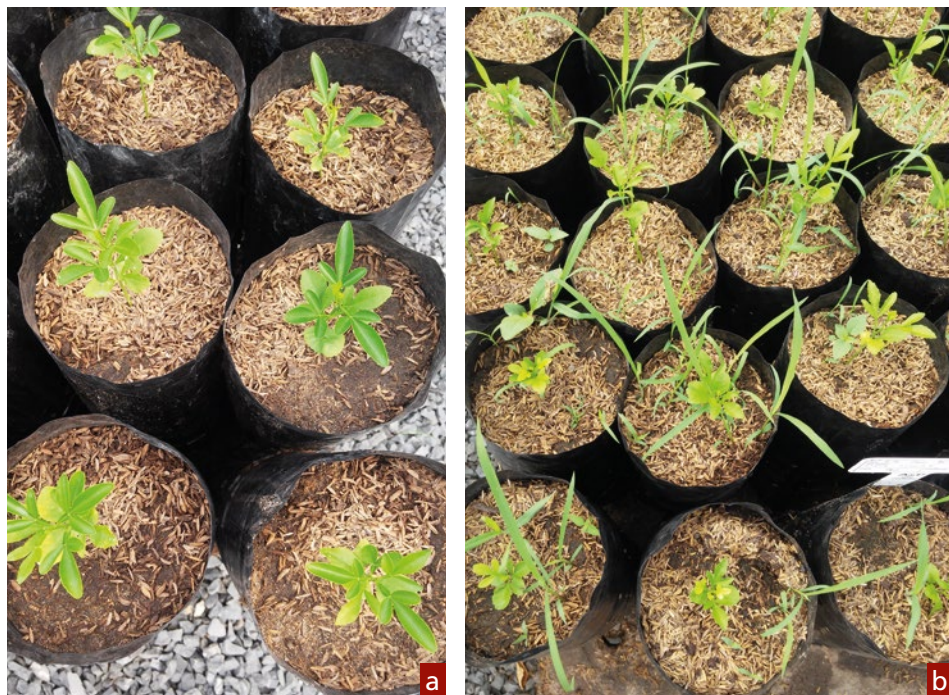
Alternativas de manejo para el control de arvenses

El manejo integrado de arvenses incluye la combinación de métodos de control preventivo, manual, mecánico, físico y químico, que tienen como propósito reducir el impacto que las arvenses pueden generar en un sistema productivo. El conocimiento del historial del vivero, el reconocimiento de las especies de arvenses, el estado de desarrollo, la ubicación de las arvenses dentro y fuera de la casa de malla, la tecnología disponible y los recursos financieros disponibles son esenciales para implementar un manejo adecuado de las arvenses (Salazar & Hincapié, 2007).

Control preventivo

La prevención es el aspecto más importante para el manejo de arvenses, pues consiste en evitar la introducción, el establecimiento y la diseminación en áreas donde normalmente no se presentan. En vivero bajo ambiente protegido, se debe mantener los propágulos de las arvenses (semillas, rizomas, etc.) fuera de la casa de malla, para lo cual se pueden incluir varias prácticas (Chávez-Aguilera et al, 2010; Neal, 2015; Stack et al., 2017-2018):

- Desinfectar o esterilizar los insumos utilizados en la preparación de sustratos, con el fin de evitar la germinación de semillas de arvenses, por métodos térmicos o con herbicidas preemergentes. La temperatura del sustrato debe permanecer por encima de 82 °C durante al menos 30 minutos para matar la mayoría de las semillas de arvenses (Neal, 2015). El uso de sustratos sin esterilizar propiciará la geminación y crecimiento de arvenses en las bolsas plásticas, además de la competencia con las plántulas de cítricos (figura 74).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 74. Desarrollo de arvenses en bolsas con sustratos. a. Sustrato estéril; b. Sustrato sin esterilizar.

- Garantizar el control de las arvenses en las áreas perimetrales de la casa de malla, para evitar la introducción de semillas por el viento y reducir la entrada de insectos transmisores de enfermedades.
- Realizar labores de inspección y vigilancia del estado de la infraestructura de la casa de malla, con el propósito de realizar reparaciones oportunas.
- Llevar a cabo labores de limpieza en equipos, herramientas e indumentaria del personal de trabajo proveniente de campo con residuos de suelo, para evitar la entrada de semillas de arvenses de origen externo al interior de la casa de malla.
- Evitar el exceso de riego en las bolsas plásticas para reducir la acumulación de agua en mesones, estibas de concreto y suelo, que favorece el desarrollo de algas y musgo (figura 75).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 75. Crecimiento de musgo sobre estibas de concreto. a. Estiba de concreto libre de arvenses (musgo); b. Estiba de concreto con crecimiento de musgo por exceso de humedad por agua de riego.

- Realizar la correcta disposición de residuos de material vegetal producto de las labores de poda y control de arvenses, para lo cual se debe disponer de un área de manejo de residuos vegetales identificada, delimitada y aislada en el exterior de la casa de malla tal y como se dispone en la Resolución 4215 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2014).

Control manual

Como su nombre lo indica, esta actividad se realiza de forma manual. Se trata de un método de control dirigido, cuyo propósito es eliminar la competencia entre las arvenses y las plántulas de cítricos en germinadores, bolsas plásticas o macetas, donde otros métodos de control como el químico no son recomendados, ya que los portainjertos y yemas de cítricos son muy sensibles a la deriva por herbicidas (Bremer-Neto et al., 2016; Irigoyen & Cruz-Vela, 2005).

Este procedimiento se debe realizar de manera cuidadosa, evitando ocasionar daños con esta práctica en las plántulas de cítricos, principalmente en la etapa de trasplante, donde se deben realizar controles frecuentes que limiten la interferencia y el desarrollo de las arvenses (figura 76).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 76. Control manual de arvenses en vivero de cítricos en casa de malla. a, b y c. Control de arvenses en etapa de trasplante de portainjertos de cítricos; d y e. Control de arvenses en etapa de injertación.

Control mecánico

El control mecánico se realiza utilizando herramientas de corte como machete, azadón o guadaña, que al ser utilizados de manera adecuada e integrada son muy útiles para el manejo de arvenses, muchas veces tan efectivas como las alternativas de control químico. La guadaña es la herramienta más común; este método de control se recomienda para realizar el corte de las arvenses a una altura de 3-5 cm del suelo (Salazar & Hincapié, 2007). Esta labor se realiza comúnmente en las áreas del vivero donde no se utilicen coberturas, especialmente en la periferia externa de las casas de malla.

Control físico

Los métodos físicos se emplean para limitar el crecimiento de las arvenses, entre los que se encuentran los acolchados con grava y coberturas plásticas.

Acolchados con grava

El uso de grava es una alternativa eficiente que reduce el crecimiento y desarrollo de arvenses al interior de las casas de malla de cítricos; además, minimiza la evapotranspiración y evita la erosión del suelo (Yamanaka, 2004).

Este método es una medida que disminuye la mano de obra para el control de arvenses. La casa de malla debe estar establecida en un terreno nivelado y tener una capa uniforme de grava con el objetivo de evitar que quede suelo descubierto que favorezca el crecimiento de las arvenses (figura 77).



Fotos: Diana Rodríguez

Figura 77. Uso de grava para el control de arvenses en vivero de cítricos bajo ambiente protegido. a. Cobertura uniforme con grava; b. Crecimiento de arvenses por cobertura desuniforme de grava.

Acolchados con coberturas plásticas

La cobertura plástica del suelo tiene como objetivo principal impedir el crecimiento de arvenses y reducir las pérdidas del agua de riego por la evaporación, favoreciendo de esta manera la retención de humedad; otros beneficios de esta práctica están relacionados con la protección del suelo contra procesos erosivos (Jaramillo et al., 2007; Negreiros et al., 2005).

En vivero y en campo, el uso de cobertura en el suelo minimiza el uso de herbicidas; además, disminuye las pérdidas en la producción al reducir la competencia entre el cultivo de interés y las plantas invasoras (Gonçalves et al., 2005). Para la cobertura del suelo, existen diferentes tipos de plásticos dentro, de los cuales se destacan las películas negras, grises, marrones, verdes, blancas, amarillas, plateadas y bicapas o doble cara (figura 78).



Foto: Nubia Murcia

Figura 78. Control de arvenses con cobertura plástica en vivero de cítricos bajo ambiente protegido.

La elección del color está relacionada directamente con las necesidades del productor (Yuri et al., 2012). Los plásticos negros son los más usados para el control de arvenses o malas hierbas, ya que evitan su desarrollo por la barrera que suponen a la radiación luminosa (Del Busto Chueca, 2016; Sanz, 2012, citado por Zenner de Polanía & Peña-Baracaldo, 2013).

Control químico

Este método se basa en el uso de productos químicos, capaces de alterar la fisiología de las plantas lo que les impide su desarrollo normal y les puede ocasionar la muerte. El uso de esta estrategia de manejo no solo permite un control más efectivo de las arvenses, sino que también permite una reducción en la mano de obra. No obstante, se recomienda como complemento a los métodos previamente descritos, los cuales se pueden combinar entre ellos para lograr un manejo integrado de las arvenses.

Los herbicidas pueden ser clasificados según sus características toxicológicas, su modo de acción, familia química, entre otros. Conocer las diferentes características de los herbicidas permite elegir adecuadamente el producto que mejor se ajuste con las necesidades específicas de cada plan de manejo (tabla 18).

Tabla 18. Clasificación general de los herbicidas según sus principales características

Clasificación	Tipos de herbicidas
Toxicológica	Ligeramente tóxico, moderadamente tóxico, altamente tóxico, extremadamente tóxico.
Modo de acción	Regulador de crecimiento, inhibidores de crecimiento, inhibidores de la fotosíntesis, inhibidores de la síntesis de pigmentos, inhibidores de la síntesis de lípidos, inhibidores de la síntesis de aminoácidos y destructores de la membrana celular.
Tipo de acción	Por contacto y sistémicos.
Presentación	En líquido, polvo, gránulos o microgránulos, en suspensiones o concentrados.
Familia química	Fitohormonas, compuestos inorgánicos, fenoles y cresoles, carbamatos, diazinas y triazinas, amidas, derivados de la urea, derivados de la glicina, derivados del amonio cuaternario.
Época de aplicación	Preemergentes y postemergentes.

Fuente: Elaboración propia con base en Benedico (2002) y Rosales y Esqueda (2010)

Doll (1981) indicó que un buen control de arvenses con herbicidas no depende únicamente del producto elegido, sino que existen otros factores de igual importancia que actúan de forma simultánea, pero que en muchas ocasiones no son tenidos en cuenta. Estos factores son los siguientes:

- *Equipos para la aplicación.* Hacer uso de un equipo adecuado y bien calibrado asegura que el producto, la dosis y la cobertura sean propicios para un buen control de las arvenses. Aplicaciones defectuosas dan como resultado controles deficientes y generan pérdidas económicas, por requerir mayor volumen del producto y mayor número de horas máquina y horas hombre (Urzúa, 1998).
- *Factores ambientales.* Algunas deficiencias en el control de arvenses son explicadas por las condiciones atmosféricas presentes al momento de aplicación que limitan su actividad, según Stewart et al. (2009), quien también concluye que el mejor control con las aplicaciones con químicos se da con temperaturas entre 22 °C y 31 °C, y que, si el aumento de la temperatura se da a la par con un aumento de la humedad relativa, esto mejora el efecto del herbicida.
- *Calidad y cantidad de agua.* La calidad del agua es un factor fundamental; utilizar aguas duras (calcáreas o ferruginosas) afecta directamente la solubilidad del herbicida. De la misma manera, emplear aguas que contengan sedimentos como materia orgánica o coloides no son apropiadas, ya que estos sedimentos adsorben los productos, interfiriendo en la acción del herbicida (Salazar & Hincapié, 2007). Otro factor importante es la cantidad de agua, que es determinada por la época de aplicación y el tipo de acción de los herbicidas. Herbicidas preemergentes requieren de 150-200 L de agua/ha; herbicidas postemergentes requieren una mayor cantidad de agua (200-300 L de agua/ha); herbicidas de contacto necesitan de mayores volúmenes de agua por hectárea que los sistémicos. Vale la pena resaltar que volúmenes muy altos de agua también afectan los resultados de la aplicación, debido a la dilución del ingrediente activo (Salazar & Hincapié, 2007).

Pocos herbicidas están diseñados para el uso al interior de las casas de malla o invernaderos. Las aplicaciones de herbicidas dentro de un área de invernadero no son aconsejables, debido al efecto residual que pueden generar estos productos; además, los vapores de herbicidas se atrapan fácilmente dentro de un espacio cerrado y pueden ocasionar daños en el follaje de las plantas (Jaramillo et al., 2014; Marble & Pickens, 2015; Stack et al., 2017-2018). El uso de herbicidas es recomendable cuando se inicia la construcción de la casa de malla y en el exterior de esta.

Para el control de arvenses al interior de una casa de malla, es recomendable usar herbicidas postemergentes, que pueden ser o no selectivos y que actúen por contacto o por sistemia. En la tabla 19 se presentan algunos ingredientes activos recomendados para el uso en casas de malla.

Tabla 19. Herbicidas recomendados para el uso al interior de las casas de malla

Ingrediente activo	Clasificación
Cletodim	Herbicida post-emergente, sistémico, selectivo para gramíneas.
Glufosinato de amonio	Herbicida post-emergente, sistémico, no selectivo.
Fluazifop-p-butil	Herbicida post-emergente, sistémico, selectivo.
Diquat dibromuro	Herbicida post-emergente, de contacto, no selectivo.

Fuente: Elaboración propia con base en Smith (2011)

Para un correcto control de arvenses con herbicidas, es necesario tener en cuenta los siguientes indicadores:

- Identificar claramente aquellas arvenses que interfieren con el desarrollo del cultivo.
- Elegir el herbicida adecuado, lo que se logra teniendo en cuenta las necesidades específicas de cada vivero; en este caso, es necesario el uso de aquellos herbicidas con registro ICA.
- Aplicar en el momento oportuno, teniendo en cuenta el estado fenológico de las arvenses.
- Realizar la aplicación correctamente, haciendo uso de equipos calibrados, dosis adecuadas y elementos de protección personal.

El control de arvenses con herbicidas al interior de las casas de malla de cítricos se debe realizar únicamente en las calles o debajo de los mesones, para evitar el daño de las plantas por deriva (figura 79).



Fotos: Juliene Barreto

Figura 79. Control químico de arvenses al interior de la casa de malla. a. Control en las calles; b. Control debajo de las estibas de concreto.

En el exterior de la casa de malla, se deben controlar las arvenses que se encuentren en toda la periferia para evitar la introducción de semillas por el viento y reducir la entrada de insectos plaga (figura 80).



Foto: Juliene Barreto

Figura 80. Control químico de arvenses en el área perimetral externa de la casa de malla.

La aplicación de herbicidas debe realizarse con equipos previamente calibrados para evitar la aplicación de dosis superiores a las recomendadas e incurrir en gastos innecesarios. Se recomienda el uso de boquillas de tipo abanico, ideales para realizar aspersiones en la superficie del suelo. Cada boquilla tiene una numeración que indica el ángulo y el volumen de salida en galones por minuto; aquellas boquillas con mayor ángulo aminoran los problemas de dispersión que posiblemente se presenten, y la presión adecuada para la aplicación es de 40 psi (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [Oirsa], 2000).

Síntomas de lesión por herbicidas en plantas de cítricos

Un mal uso de los herbicidas puede causar síntomas muy distinguibles. La decoloración o las manchas necróticas o cloróticas en las partes de la planta afectada son síntomas de intoxicación comunes por el mal uso de estos agroquímicos. Cuando la lesión es causada por herbicidas sistémicos, los síntomas varían entre coloraciones cloróticas del follaje en general, necrosis en las venas o bordes de las hojas y deformaciones leves o severas de los tallos. Esta lesión puede interferir en el crecimiento de las raíces, situación que genera sistemas radicales cortos y robustos, entre otros (Smith, 2011).

La posibilidad de recuperación de las plantas afectadas por un mal uso de herbicidas se debe principalmente a la susceptibilidad de estas a los ingredientes activos utilizados. En la mayoría de los casos, si la lesión es muy grave, las plantas afectadas no crecerán a un ritmo normal y pueden impedir su posible establecimiento en campo (Smith, 2011).

Medidas de protección personal

La mezcla y aplicación de agroquímicos son actividades de gran riesgo para la salud humana. Para utilizarlas, se deben tener en cuenta los siguientes elementos y recomendaciones, según el Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el trabajo (INSSBT, 2018) y Benedico (2002), de forma que se reduzca al mínimo el riesgo que representa:

- *Manos y pies.* Durante las mezclas y aplicaciones, es indispensable el uso de guantes cerrados de caucho, goma o neopreno, sin orificios, largos y en buen estado. Después de la aplicación, se recomienda siempre realizar un lavado de

estos implementos, dejándolos secar con los dedos hacia arriba. Para el cuidado de los pies, se recomienda el uso de botas altas de goma y el pantalón debe caer por encima del calzado.

- *Cuerpo.* En la aplicación, las partes más expuestas son el tórax, las piernas y los pies; sin embargo, es importante resaltar que la mayor parte del cuerpo debe permanecer cubierta utilizando prendas de protección adecuadas. Se recomendarán los overoles de manga larga de algodón, ceñidos en cuello, muñecas y tobillos y delantal impermeable.
- *Ojos.* Es recomendable el uso de gafas y pantallas faciales transparentes ajustadas. Se aconseja el uso de sombrero impermeable de alas anchas.
- *Nariz y boca.* La protección se basa en el uso de mascarillas o caretas con cartucho y filtros específicos.

Otras recomendaciones importantes son las siguientes:

- Durante la aplicación del herbicida, no se deben realizar actividades como comer, beber, fumar o tomar alcohol. Antes de llevar a cabo alguna de estas acciones, debe realizarse un lavado de manos y cara.
- No se puede permanecer en el área después de realizar la aplicación ni en sus inmediaciones hasta después de 48 horas después de realizada la labor.
- La etiqueta del herbicida debe indicar si el producto es adecuado para el uso en casa de malla o invernaderos. Se deben cerrar las puertas y aberturas de ventilación de las casas de malla durante la aplicación del herbicida en exteriores, con el fin de prevenir la deriva del producto.
- Los herbicidas elegidos para el control de las arvenses deben tener baja volatilidad. No se debe usar herbicidas de tipo auxina para el control de hoja ancha, cerca de casas de malla, porque la volatilidad de estos herbicidas puede provocar lesiones graves en las plantas de cítricos.
- Es preciso seguirlas recomendaciones de un profesional en agronomía y las instrucciones de la etiqueta.
- Se debe usar una bomba de espalda etiquetada exclusivamente para herbicidas.

Es importante que el trabajador conozca y aplique las recomendaciones necesarias para hacer uso correcto de sus elementos de protección personal. Asimismo, es importante que reconozcan cuándo un equipo ha cumplido su vida útil, lo que lo inhabilita para la protección requerida.

Referencias

- Benedico, E. (2002). Herbicidas, ¿qué debemos saber los profesionales de Atención Primaria? *Semergen*, 28(8), 424-428. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(02\)74099-9](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(02)74099-9)
- Bremer-Neto, H., Silva, S., Mourão-Filho, F., Sposito, M., & Caputo, M. (2016). *The citrus nursery practices in Brazil*. Vivecitrus Organização Paulista de Viveiros de Mudás Cítricas.
- Chávez-Aguilera, N., Romantchik-Kriuchkova, E., Gracia-López, Acosta, M., & López-Romero, E. (2010). Diseño, construcción y evaluación de un equipo baúl para desinfección de sustratos agrícolas con calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 17-26. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263120585002.pdf>
- Córdoba, O. (2008). Arvenses. En J. Bernal & C. Díaz (Eds.), *Tecnología para el cultivo de aguacate* (pp. 107-118). Manual Técnico 5. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13459>
- Del Busto, A., & Chueca, P. (2016). *Control de la flora espontánea mediante métodos no químicos*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.11939/5722>
- Doll, J. (1981). *Principios básicos para el manejo y control de las malezas en los potreros*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54524>
- Gonçalves, A., Fagnani, M. & Perez, J. (2005). Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. *Engenharia Agrícola*, 25(3), 622-631. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000300007>
- Irigoyen, J., & Cruz-Vela, M., (2005). *Guía técnica de semilleros y viveros frutales*. Programa Nacional de Frutas de El Salvador. <http://repiica.iica.int/docs/B0507e/B0507e.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2014). *Resolución N.º 004215, por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro para el registro de los viveros y/o huertos básicos productores y/o comercializadores de semilla sexual y/o asexual (material vegetal de propagación) de cítricos y se dictan otras disposiciones*.
- Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT). (2018). *Prevención de Riesgos durante el uso de productos fotosanitarios*. <https://www.insst.es/documents/94886/538970/Prevención+de+riesgos+durante+el+uso+de+productos+fitosanitarios.pdf/a4ba5197-259f-4570-b01f-7de81810189b>

- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Manual técnico: Buenas prácticas agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Corpoica, FAO, Maná. <https://www.fao.org/3/a1374s/a1374s.pdf>
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E., Tamayo, P., & Guzmán, M. (2014). *Modelo productivo del cultivo de pimentón bajo condiciones protegidas en el Oriente antioqueño*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13753>
- Marble, C., & Pickens, J. (2015). *Weed control inside greenhouses and enclosed structures*. SAF Conference.
- Naidu, V. (2012). *Handbook on weed identification*. Directorate of weed science research.
- Neal, J. (2015). *Greenhouse weed control. Horticulture information leaflets*. <https://content.ces.ncsu.edu/greenhouse-weed-control>
- Negreiros, M., Costa, F., Medeiros, J., Leitao, M., Bezerra-Neto, F., & Espínola-Sobrinho, J. (2005). Rendimento e qualidade de melão sob lâminas de irrigação e cobertura de solo com filmes de polietileno de diferentes cores. *Horticultura Brasileira*, 23(3), 773-779. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000300017>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (Oirsa). (2000). *Manual técnico uso y manejo seguro de plaguicidas*. Oirsa.
- Rosales, E., & Esqueda, V. (2010). Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. *Inifap*, 1, 1-16. <https://www.compucampo.com/tecnicos/clasificacionherbs.pdf>
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardtke, T., & Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming: landscape complexity and weed species diversity. *Journal of Applied Ecology*, 42(5), 873-882. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01072.x>
- Salazar, L., & Hincapié, E. (2007). Las arvenses y su manejo en los cafetales. En J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (Capítulo 5, pp. 102-129). Cenicafé.
- Smith, T. (2011). *Gestión de las malas hierbas en su invernadero*. UMass Extension. <http://studylib.es/doc/4880738/gestión-de-las-malas-hierbas-en-su-invernadero>
- Solís, P. (2016). *Plan de manejo de trips en el cultivo de aguacate Hass*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Stack, L., Dill, J., Pundt, L., Raudales, R., Smith, C., & Smith, T. (2017-2018). *New England greenhouse floriculture guide; a management guide for insects, diseases, weeds and growth regulators*. Northeast Greenhouse Conference and Expo. https://www.plantgrower.org/uploads/6/5/5/4/65545169/17section_b_2017-18_floriculture_guide.pdf

- Stewart, L., Nurse, E., & Sikkema, H. (2009). Time of day impacts postemergence weed control in corn. *Weed Technology*, 23(3), 346-355. <https://doi.org/10.1614/WT-08-150.1>
- Urzúa, F. (1998). *Equipos de aplicación y su calibración*. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola. <https://acortar.link/uLex0t>
- Vaca-Vaca, J., Otavo, D., & López-López, K. (2011). Identificación de arvenses como hospederas naturales de Begomovirus en el Valle del Cauca, Colombia. *Fitopatología Colombiana*, 35(2), 69-72. <https://doi.org/10.22490/21456453.3019>
- Vázquez, L. (2004). Lista de moscas blancas (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Aleyrodidae) y sus plantas hospedantes en el Caribe. *Fitosanidad*, 8(4), 7-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209117865002>
- Yamanaka, T.; Inoue, M., & Kaihotsu, I. (2004). Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agricultural Water Management*, 67(2), 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.01.002>
- Yuri, E., Resende, M., Costa, D., & Mota, H. (2012). Cultivo de morangueiro sob diferentes tipos de mulching. *Horticultura Brasileira*, 30(3), 424-427. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300011>
- Zenner de Polanía, I., & Peña-Baracaldo, F. (2013). Plásticos en la agricultura: beneficio y costo ambiental: una revisión. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 139-150. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.868>
- Zimdahl, R. (2007). *Fundamentals of weed science*. 3.^a edición. Academic Press is an imprint of Elsevier.

Impresión y encuadernación:

xxxx

Terminó de imprimirse
en xxx, Bogotá, D. C., Colombia

La producción de material de siembra de cítricos en condiciones protegidas es una de las principales alternativas de prevención de la que se dispone para evitar la contaminación de las plantas y enfrentar la enfermedad por HLB, principal causa de muerte de los cítricos en el mundo. En Colombia, es de vital importancia que el sector viverista, que produce cítricos para las diferentes regiones cítricas, pueda acoger las recomendaciones contenidas en la norma de certificación 12816 de 2019, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Para avanzar en la producción de semilla de cítricos con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria, se elaboró este manual con información de más de diez años de investigación obtenida en condiciones protegidas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), del Centro de Investigación Palmira, y que se constituye en el primer documento con información práctica, producto de la producción a escala semicomercial de plantas de cítricos. En este documento, se presentan las principales características de la producción de material de siembra de cítricos en condiciones protegidas de casa de malla para asegurar la sanidad y calidad del material. Este manual de consulta incluye diferentes aspectos relacionados con la producción de los cítricos, como el tipo de infraestructura recomendadas; la descripción de las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de las plantas; la selección y acondicionamiento de semillas; las principales características y fuentes de sustratos para la producción de portainjertos; el desarrollo de copas comerciales como naranjas, mandarinas y limas ácidas, y su comportamiento sobre diferentes portainjertos; la descripción de las principales plagas, enfermedades y malezas más frecuentes en los ambientes protegidos y su manejo integrado. Este manual está dirigido a viveristas, ingenieros agrónomos, productores de cítricos, académicos, extensionistas, entre otros.



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

CORREO: **bac@agrosavia.co**

TELÉFONO: **(57 1) 422 73 00 EXT. 1257 o 1274**

SKYPE: **[biblioteca.agropecuaria](https://www.skype.com/name/identifiers/alias/biblioteca.agropecuaria)**

www.agrosavia.co

Distribución gratuita

Prohibida su venta



**El campo
es de todos**

Minagricultura