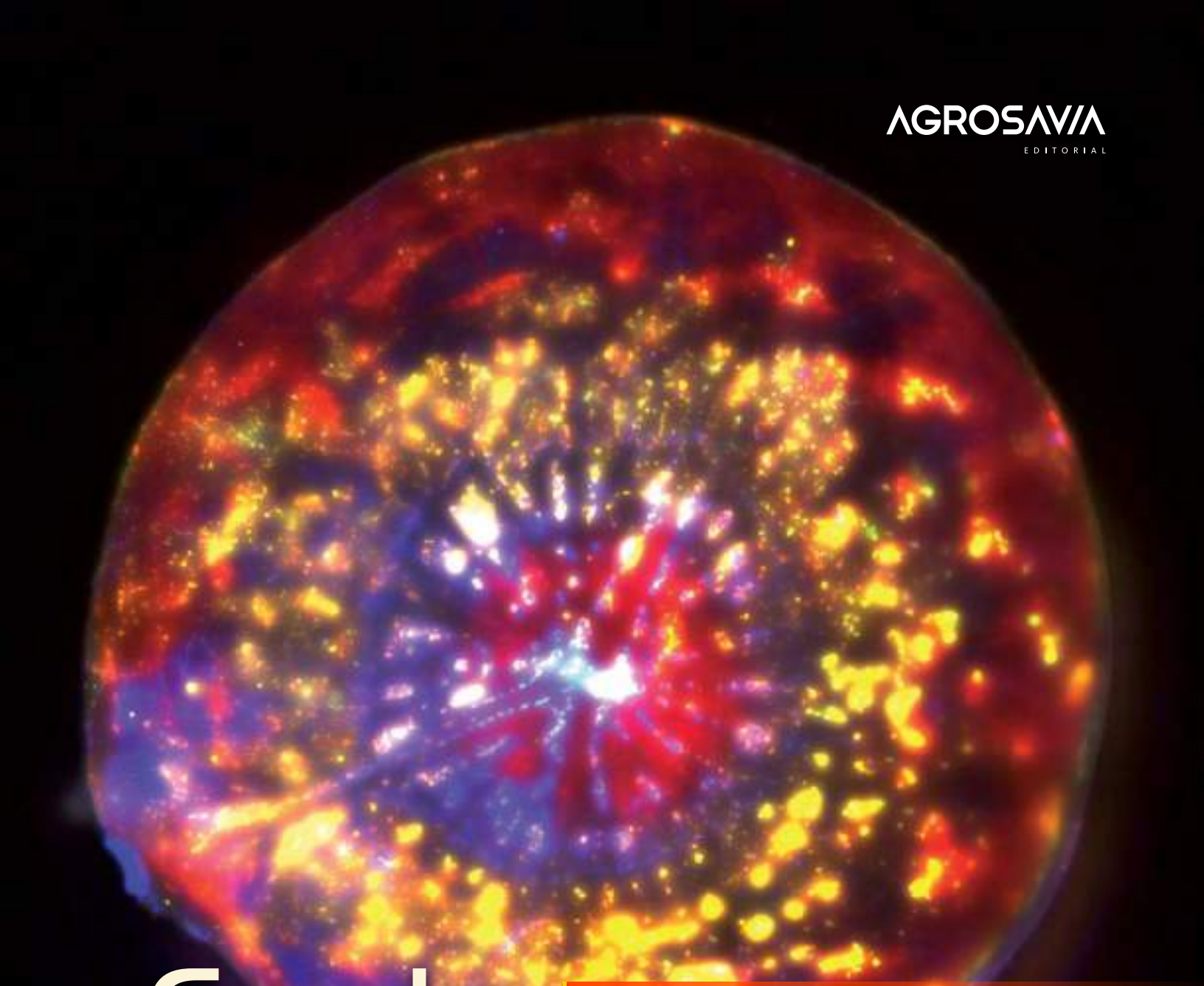
AGROSAVIA
EDITORIAL



Carota 360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente del departamento de Antioquia

Compiladores
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria
ANTIOQUIA · ZANA ·
SGR
SISTEMA GENERAL DE REGALÍAS



Título

Microverso zanahoria

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 1.280 fotos de 40 micras de profundidad. Colores propios de la autofluorescencia de los diferentes componentes.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona*
Paola Andrea Hormaza Martínez**
Juan Camilo Henao-Rojas***

Descripción

Corte transversal de una raíz de zanahoria morada mostrando diferentes componentes celulares de la hortaliza, que se iluminan con diversos colores debido a su autofluorescencia. En la parte más exterior se observa la peridermis, seguida del córtex donde se concentra la mayor pigmentación de antocianinas —característica de gran parte de las variedades de zanahoria morada—, y en el centro se observan los haces xilemáticos.

* Líder del Core de Microscopía de la Universidad de los Andes - MicroCore.
** Agrosavia y Universidad Nacional de Colombia.
*** Agrosavia.

Entidades aliadas

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Intal

KAVITEC

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
República de Colombia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

UCO
Universidad Católica de Oriente

AGROSAVIA

Apoyan

Alcaldía de Marinilla

Alcaldía de El Santuario

Financia

SGR

Carota 360°

Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente del departamento de Antioquia

Compiladores

Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Albeiro de Jesús Macías Vivares | Ángela María Castaño Marín | Andrés Felipe Vega Baquero
Andrés Javier Cortés Vera | Carlos Mario García Perdomo | Carolina Ortiz Muñoz
Carolina Zuluaga Mejía | Cristian Domínguez Pulgarín | Edison Osorio | Germán Franco
Isaías Esteban Arcila Parra | Jaime Darío Posada Rúa | Jaison Martínez Saldarriaga
Jeanine Kathleen Peñaloza-Figueroa | Jorge Eliécer Jaramillo Noreña | José Antonio Rubiano Rodríguez
Juan Camilo Henao-Rojas | Karen Lorena Ballestas Álvarez | Karent Bravo Muñoz
Luis Alfonso Salazar-Hoyos | Luis Felipe López Hernández | Lucas Esteban Cano Gallego
Luz Mary Quintero Vásquez | Mario Alonso Mesa Gómez | Mateo Londoño Valencia
Paola Andrea Hormaza Martínez | Rocío Alexandra Ortiz-Paz | Rosa Helen Mira Herrera
Tatiana Alejandra Rodríguez-Quiroz

Colección Alianzas AGROSAVIA
2026

Carota 360°. Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente del departamento de Antioquia. / Albeiro de Jesús Macías Vivares [y otros veintiocho] - Mosquera (Colombia): AGROSAVIA, 2026.

484 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye gráficos y tablas.

ISBN: 978-958-740-910-9

ISBN e-Book: 978-958-740-900-0

1. *Daucus carota* 2. Cultivo 3. Biodiversidad 4. Diversidad genética (recurso) 5. Morfología vegetal 6. Establecimiento de plantas 7. Variedad 8. Propiedad del suelo 9. Costos de producción 10. Antioquia (Colombia).

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 La Selva, Km 7, vía Rionegro-Las Palmas, Sector Llanogrande, Rionegro, Antioquia. Código postal 054040, Colombia.

Esta publicación es resultado del proyecto de investigación Antioquia Zana: "Fortalecimiento de la cadena productiva de la zanahoria mediante la creación de prototipos de productos innovadores en el Oriente del departamento de Antioquia" (BPIN 2020000100192), el cual fue liderado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Esta iniciativa fue financiada con recursos del Sistema General de Regalías del Gobierno de Colombia, a través de la convocatoria No. 3 del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación para proyectos de investigación, desarrollo y transferencia tecnológica orientados a la innovación.

Colección: Alianzas AGROSAVIA
Tipología: Modelo productivo

Fecha de recepción: 27 de septiembre de 2025
Fecha de evaluación: 6 de noviembre de 2025
Fecha de aprobación: 9 de febrero de 2026

Primera edición: agosto de 2026

Autoría
Albeiro de Jesús Macías Vivares
Ángela María Castaño Marín
Andrés Felipe Vega Baquero
Andrés Javier Cortés Vera
Carlos Mario García Perdomo
Carolina Ortiz Muñoz
Carolina Zuluaga Mejía
Cristian Domínguez Pulgarín
Edison Osorio
Germán Franco
Isaías Esteban Arcila Parra
Jaime Darío Posada Rúa
Jaison Martínez Saldarriaga
Jeanine Kathleen Peñaloza-Figueroa
Jorge Eliécer Jaramillo Noreña
José Antonio Rubiano Rodríguez
Juan Camilo Henao-Rojas
Karen Lorena Ballestas Álvarez
Karent Bravo Muñoz
Luis Alfonso Salazar-Hoyos
Luis Felipe López Hernández
Lucas Esteban Cano Gallego
Luz Mary Quintero Vásquez
Mario Alonso Mesa Gómez
Mateo Londoño Valencia
Paola Andrea Hormaza Martínez
Rocío Alexandra Ortiz-Paz
Rosa Helen Mira Herrera
Tatiana Alejandra Rodríguez-Quiroz

Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Verónica Barreto Riveros
Corrección: Osmar Alberto Peña Martínez, Sebastián Montero Vallejo y Bibiana Mendoza Cárdenas
Diseño y diagramación: Jaime Wilches Cañón
Impresión: Grupo 2D SAS

Publicado en Mosquera, Cundinamarca

Citación sugerida: Henao-Rojas, J. C., & Hormaza Martínez, P. A. (Comps.). (2026). *Carota 360°. Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente del departamento de Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7409000

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 este 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 con relación a 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: 018000-121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/



Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías (SGR) de Colombia, y al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Colombia, en su calidad de Secretaría Técnica del OCAD – FCTeI, por el apoyo a esta investigación a través del proyecto “Fortalecimiento de la Cadena Productiva de Zanahoria mediante el Desarrollo de Prototipos de Productos Innovadores en el Oriente antioqueño”.

Asimismo, agradecen a los miembros de la Alianza Antioquia Zana, conformada por la Fundación INTAL, el Grupo de Sustancias Bioactivas de la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, la Universidad Católica de Oriente, Kavitec S.A.S. y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por sus contribuciones al proyecto, así como por la dedicación de sus investigadores y la disponibilidad de recursos institucionales, aspectos que fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.





CONTENIDO

La cadena de la zanahoria en Colombia: retos, oportunidades y bioeconomía 18

18 Introducción
19 La cadena de valor de la zanahoria: contexto y dinámicas actuales
20 Retos y oportunidades hacia la sostenibilidad y la bioeconomía
21 El aporte de la investigación y la articulación institucional
22 Conclusiones: hacia una agenda futura de la cadena de la zanahoria
23 Reconocimiento a autores y aliados
24 Referencias

Capítulo I. Importancia del cultivo de zanahoria 27

27 Contexto mundial
- 28 Área cosechada, producción y rendimiento
- 29 Principales países productores de zanahoria
- 32 Exportaciones e importaciones en el mundo

34 Contexto nacional
- 34 Área cosechada, producción y rendimiento
- 35 Dinámicas del mercado internacional para Colombia
- 35 Principales departamentos productores de zanahoria en el país

36 Cultivo de la zanahoria en el departamento de Antioquia
- 36 Comportamiento del cultivo en el departamento de Antioquia en los últimos años
- 38 Principales subregiones productoras de zanahoria en el departamento de Antioquia
- 39 Principales municipios productores de zanahoria en Antioquia

41 Conclusiones y perspectivas de los autores
44 Referencias

Capítulo II. Situación del sistema de producción de zanahoria en el Oriente antioqueño 47

47 Introducción
49 Principales características socioeconómicas y productivas del sistema de producción de zanahoria en el Oriente antioqueño
- 49 Tenencia de la tierra
- 50 Sistema de producción familiar
- 50 Manejo del cultivo
- 55 Cosecha y poscosecha
- 59 Calidad de la producción
- 61 Subproductos de cosecha
- 62 Brechas tecnológicas identificadas
- 64 Recomendaciones para la solución de brechas tecnológicas
- 67 Sistema modal de producción de zanahoria de los agricultores en el Oriente antioqueño
- 69 Cosecha y poscosecha
- 69 Comercialización
- 69 Calidad de la producción

72 Conclusiones y perspectivas de los autores
73 Referencias

Capítulo III. Diversidad genética de la zanahoria 77

77 Resumen

78 Introducción - Contexto botánico de la zanahoria [*Daucus carota* L., subsp. *sativus* (Hoffm.) Schübl. & G. Martens] (*Apiaceae*)

79 Diversificación filogenética e hibridación en el género Daucus

80 Diversificación adaptativa en *Daucus carota* L.

81 Reconstrucción de la constitución genómica de *Daucus carota* L.

83 Herramientas para la inducción de mutaciones de novo en zanahoria

84 La frontera de la manipulación genética - Edición genética

85 Brechas en la investigación sobre la diversidad genética de la zanahoria

87 Conclusiones y perspectivas de los autores

87 Perspectivas

88 Referencias

Capítulo IV. Clasificación taxonómica y descripción botánica 93

93 Origen y distribución de la zanahoria

95 Taxonomía de la zanahoria *Daucus carota* L.

96 Descripción botánica

96 Morfología de la zanahoria

96 Anatomía de la raíz de la zanahoria

100 Morfología del tallo

100 Morfología de las hojas

102 Morfología de la flor

103 Morfología del fruto

103 Morfología de la semilla

105 Conclusiones y perspectivas de los autores

105 Referencias

Capítulo V. Principales variedades de zanahoria 109

109 Introducción

110 Descripción de los principales tipos varietales de zanahoria

113 Variedades e híbridos comerciales en Colombia

117 Análisis comparativo de materiales de siembra y contexto de mercado

120 Conclusiones y perspectivas de los autores

121 Referencias

Capítulo VI. Manejo agronómico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en el departamento de Antioquia 125

125 Preparación del suelo

126 Arado de vertedera

126 Arado de disco

127 Arado de rastra

128 Subsolador o descompactador

129 Rotovator

129 Arado manual

129 Establecimiento del cultivo

130 Distancias de siembra

132 Siembra

135 Prácticas culturales del cultivo

135 Raleo

136 Aporque

137 Control de arvenses

140 Rotación de cultivos

140 Manejo del suelo y fertilización del cultivo

141 Diagnóstico de la fertilidad

142 Factores que limitan la producción en el sistema productivo

144 Función de los nutrientes esenciales para las plantas

146 Factores y procesos del suelo que inciden en la disponibilidad de nutrientes

146 Reacción del suelo

149 Aplicación de enmiendas correctoras de pH

150 Salinidad del suelo

151 Requerimientos nutricionales de la zanahoria

154 Deficiencias nutricionales en el cultivo de la zanahoria

157 Fertilización foliar

158 Análisis foliar en el cultivo de la zanahoria

163 Conclusiones y perspectivas de los autores

164 Referencias

Capítulo VII. Fisiología de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en las condiciones ecológicas del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia 167

167 Introducción
168 Crecimiento y desarrollo de la zanahoria
171 Crecimiento y desarrollo de la raíz
172 Crecimiento y desarrollo de la parte aérea
173 Relación del desarrollo entre la parte aérea y la raíz
174 Área foliar
176 Tiempo térmico y relación con etapas fenológicas para el cultivo de zanahoria
178 Momento óptimo de recolección (MOR) de la zanahoria y su calidad de consumo
181 Algunas recomendaciones para el manejo agronómico basadas en la fenología
182 Conclusiones y perspectivas de los autores
183 Referencias

Capítulo VIII. Riego y drenaje para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en el departamento de Antioquia 187

187 Introducción
188 Propiedades físicas del suelo y movimiento de agua en el suelo
188 Densidad aparente
189 Porosidad
189 Textura del suelo
190 Contenido de humedad del suelo
192 Drenaje en el suelo
195 Suelos del Oriente antioqueño
196 Necesidades hídricas del cultivo de zanahoria
196 Criterios de riego en el Oriente antioqueño
199 Sistema de riego para zanahoria
205 Conclusiones y perspectivas de los autores
206 Referencias

Capítulo IX. Diagnóstico y manejo integrado de enfermedades de origen biótico en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) del Oriente de Antioquia 209

209 Introducción
210 Enfermedades ocasionadas por nematodos
210 Agallas o nudos radicales causados por *Meloidogyne* Göldi
210 Lesiones en las raíces asociadas a *Pratylenchus* Filipjev
214 Enfermedades causadas por hongos
214 Gota, tizón tardío o alternaria
217 Pata negra de la raíz causada por *Ilyonectria radicicola*
219 Moho negro de la raíz producido por *Stemphylium radicinum*
220 Pudrición blanda causada por *Sclerotium rolfsii*
222 Pudrición blanca asociada al complejo *Geotrichum* Link. y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc.
224 Moho verde producido por *Penicillium* Link
226 Mildiu polvoso causado por *Oidium* Link
228 Enfermedades ocasionadas por bacterias
228 Pudrición blanda causada por *Pectobacterium carotovorum* (Waldee)
230 Sarna común causada por *Streptomyces* spp. (Waksman & Henrici)
234 Conclusiones y perspectivas de los autores
235 Referencias

Capítulo X. Insectos plaga asociados al cultivo de zanahoria 241

241 Introducción
242 ¿Qué es una plaga?
242 Tipos de plagas
242 Métodos de colecta de insectos
243 Insectos plaga
243 Lepidópteros
245 Trips o piojillo
246 Áfidos o pulgones
248 Crisomélidos
249 Gusano alambre o trozador
250 Babosas
251 Entomofauna benéfica
251 Depredadores
251 Coccinellidae: Coleoptera
253 Syrphidae: Diptera
254 Reduviidae: Hemiptera
255 Vespidae: Hymenoptera
256 Parasitoides
256 Chalcididae: Hymenoptera
257 Braconidae: Hymenoptera
257 Tachinidae: Diptera
258 Conclusiones y perspectivas de los autores
259 Referencias

Capítulo XI. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de zanahoria, el primer paso hacia la calidad y la inocuidad 265

265 Introducción

266 Normas alimentarias

275 Factores relacionados con la implementación de un programa de BPA en fincas productoras de zanahoria

279 Áreas e instalaciones

281 Área de almacenamiento de insumos agrícolas

283 Área de almacenamiento de utensilios, equipos y herramientas

285 Área de dosificación y preparación de mezclas de insumos

285 Área de vertimiento de aguas sobrantes

285 Área de acopio de productos cosechados

286 Área para consumo de alimentos y descanso de los trabajadores

286 Área para la disposición de residuos

287 Áreas para la ubicación de elementos de protección personal, botiquín de primeros auxilios y extintor

288 Bienestar, salud y seguridad de los operarios

290 Componentes ambientales

290 Selección del lote

290 Triple lavado

291 Manejo del agua

291 Manejo de suelos

292 Material de siembra

294 Protección del cultivo

294 Prevención

295 Observación

296 Intervención

297 Cosecha y poscosecha

298 Soporte documental (registros, planes y procedimientos)

298 Registros documentales

298 Planes y procedimientos

299 Trazabilidad

301 Conclusiones y perspectivas de la autora

302 Referencias

Capítulo XII. Cosecha y poscosecha de la zanahoria 307

307 Importancia de la poscosecha

312 Aspectos fisiológicos de la poscosecha

312 Respiración en poscosecha

313 Transpiración y pérdida de agua

314 Evolución de las características fisicoquímicas durante la poscosecha y el almacenamiento

319 Consideraciones a tener en cuenta en precosecha y poscosecha para conservar la calidad

320 Operaciones de buenas prácticas de cosecha y poscosecha para conservar la calidad

320 Cosecha

323 Acopio

323 Acopio en finca

326 Acopio en plantas de poscosecha denominadas lavaderos

327 Lavado

327 Lavado manual en finca

328 Lavado semimecanizado en finca

330 Lavado tecnificado

330 Selección y clasificación

330 Empaque

332 Calidad

332 Tamaño

334 Daño sanitario

334 Bifurcadas

335 Deformes

336 Rajadas

337 Quebradas

337 Color

340 Desarrollo de sabor amargo

340 Blanqueamiento de la epidermis

341 Pudriciones por fitopatógenos

341 Venta

342 Transporte

344 Almacenamiento

346 Limpieza y desinfección de materiales y herramientas para la cosecha y la poscosecha

348 Conclusiones y perspectivas de los autores

349 Referencias

Capítulo XIII. Costos de producción de zanahoria 357

357 Introducción

363 Flujo de caja para el sistema productivo de zanahoria

364 Evaluación financiera

364 Valor presente neto (VPN)

366 Tasa interna de retorno (TIR)
366 Tasa del inversionista
366 Relación beneficio-costo (RBC)
366 Análisis de sensibilidad
369 Conclusiones y perspectivas de la autora
370 Referencias

Capítulo XIV. Valor fitoquímico y funcional de la zanahoria: potencial aprovechamiento de sus residuos para la industria cosmética 373

373 Introducción
374 Residuos alimentarios y alternativas para su aprovechamiento
377 Producción de zanahoria y generación de residuos agroindustriales
380 Composición química y valor nutricional de la zanahoria
388 Efectos biológicos y farmacológicos de la zanahoria
395 Alternativas para la generación y estabilización de apocarotenoides
397 Aplicaciones comerciales y cosméticas
407 Conclusiones y perspectivas de los autores
408 Referencias

Capítulo XV. Transformación y valor agregado en variedades comerciales de zanahoria, una apuesta hacia productos de calidad diferencial 421

421 Introducción
422 Generalidades de la zanahoria
422 Composición nutricional de la zanahoria
426 Principales compuestos de interés nutricional en la zanahoria
428 Carotenoides
428 Antocianinas
428 Fibra dietaria
430 Vitaminas y minerales
430 Compuestos fenólicos
436 Usos de la zanahoria
436 Productos comerciales a nivel mundial con zanahoria
438 Procesamiento de la zanahoria
440 Limpieza
440 Desinfección
440 Pelado
441 Corte
442 Tratamientos de conservación
442 Escaldado
442 Tratamiento con vapor
443 Nuevas tecnologías de conservación
443 Fluidos supercríticos
444 Alta presión
444 Campo eléctrico pulsado
445 Plasma frío
445 Productos transformados a partir de la zanahoria
445 Productos enlatados
446 Productos deshidratados
448 Bebidas
451 Dulces
452 Repostería
452 Subproductos
452 Productos para alimentación animal
453 Normativa
455 Conclusiones y perspectivas de los autores
456 Referencias

Capítulo XVI. *Aza-Horia*, una historia de cotidianidad y obviedad 461

461 Introducción
461 La raíz del nombre
463 Domesticación y diversificación
464 Historia sobre su color
467 En la gastronomía
467 Conclusiones y perspectivas del autor
468 Referencias

Conclusiones generales 470

Autoría 474

Índice de figuras

Figura 1.1. Área cosechada, producción y rendimiento mundial del cultivo de zanahoria, 2013-2022 ---- 29
Figura 1.2. Principales países productores de zanahoria en el mundo, 2022 ---- 29
Figura 1.3. Países con los rendimientos más altos en el mundo, 2022 ---- 30
Figura 1.4. Principales países productores de zanahoria en Latinoamérica para el año 2022 ---- 30
Figura 1.5. Principales países exportadores de zanahoria en el mundo en 2023 ---- 32
Figura 1.6. Principales países importadores de zanahoria en el mundo en 2023 ---- 33
Figura 1.7. Área cosechada, rendimiento y producción de zanahoria en Colombia entre 2013 y 2022 ---- 34
Figura 1.8. Producción, rendimiento y área de los principales departamentos productores de zanahoria en Colombia ---- 36
Figura 1.9. Área cosechada de los principales municipios productores de Antioquia entre 2019 y 2023 ---- 37
Figura 1.10. Rendimiento de los principales municipios productores de Antioquia entre 2019 y 2023 ---- 38
Figura 1.11. Cultivo de zanahoria en las subregiones del departamento de Antioquia ---- 39
Figura 1.12. Principales municipios productores de zanahoria en Antioquia en 2023 ---- 40
Figura 2.1. Suelos de ladera con pérdida del primer horizonte ---- 51
Figura 2.2. Algunas plagas de la zanahoria ---- 53
Figura 2.3. Zanahoria empacada en costales de fibra reutilizados ---- 56
Figura 2.4. Máquina para el lavado de la zanahoria ---- 58
Figura 2.5. Lavado del producto en condiciones inadecuadas ---- 59
Figura 3.1. Diversidad observada en los colores de zanahoria ---- 82
Figura 4.1. Tipos de zanahoria según su coloración ---- 94
Figura 4.2. Anatomía de la raíz de la zanahoria ---- 97
Figura 4.3. Formas de la raíz de zanahoria vista desde la sección longitudinal ---- 98
Figura 4.4. Zanahorias con diferentes pigmentaciones ---- 99
Figura 4.5. Tallo de la zanahoria ---- 100
Figura 4.6. Hoja de la zanahoria ---- 101
Figura 4.7. Flor de la zanahoria ---- 102
Figura 4.8. Semilla de zanahoria ---- 103
Figura 5.1. Tipos o variedades de zanahorias más sembrados y consumidos en la agricultura ---- 113
Figura 5.2. Zanahoria de la variedad Danvers ---- 114
Figura 5.3. Zanahoria de la variedad Chantenay ---- 114
Figura 5.4. Zanahoria híbrida Berlicum ---- 115
Figura 5.5. Zanahoria híbrida Olimpo ---- 115
Figura 5.6. Zanahoria híbrida Extremo ---- 116
Figura 5.7. Zanahoria de la variedad Xela ---- 116

Figura 6.1. Arado de disco ---- 126
Figura 6.2. Arado de rastra ---- 127
Figura 6.3. Subsolador para preparación del suelo ---- 128
Figura 6.4. Rotovator ---- 129
Figura 6.5. Sembradora mecánica ---- 131
Figura 6.6. Usos de suelo en diferentes lotes ---- 133
Figura 6.7. Sistemas manuales de siembra ---- 134
Figura 6.8. Recipiente tipo tarro usado para siembra de semillas de zanahoria en el Oriente antioqueño ---- 134
Figura 6.9. Práctica de raleo ---- 135
Figura 6.10. Práctica de aporque ---- 136
Figura 6.11. Aplicación de materia orgánica sobre el fertilizante ---- 137
Figura 6.12. Control químico de arvenses ---- 138
Figura 6.13. Fertilización química en el cultivo de zanahoria ---- 141
Figura 6.14. Paleta indicadora de niveles de pH y la reacción en el suelo ---- 146
Figura 6.15. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes ---- 147
Figura 6.16. Reacción del pH del suelo en la fijación y precipitación de nutrientes ---- 148
Figura 6.17. Síntomas de deficiencia de magnesio en las hojas de zanahoria ---- 155
Figura 6.18. Grietas en raíces de zanahoria causadas por desequilibrio hídrico y/o deficiencia de boro ---- 156
Figura 6.19. Rutas de muestreo para análisis foliar ---- 161
Figura 7.1. Dinámica del crecimiento total de la planta del híbrido Bangor bajo las condiciones de clima y suelo del C. I. La Selva (Rionegro, Antioquia). Etapas fenológicas ---- 169
Figura 7.2. Comportamiento del crecimiento y desarrollo de la raíz del híbrido Bangor para la región Rionegro (Antioquia), Bosque Montano Bajo de Colombia, en cada una de las etapas fenológicas de la planta ---- 171
Figura 7.3. Comportamiento del crecimiento y desarrollo del follaje del híbrido Bangor para la región Rionegro (Antioquia), Bosque Montano Bajo de Colombia, en cada una de las etapas fenológicas de la planta ---- 172
Figura 7.4. Dinámica de la tasa de crecimiento de la planta completa, parte aérea y raíz expresada en g d-1 de materia seca, a través del tiempo después de siembra (DDS), bajo condiciones del Oriente antioqueño ---- 174
Figura 7.5. Dinámica de la emisión de hojas y área foliar del híbrido Bangor para la región Oriente antioqueño ---- 175
Figura 7.6. Tiempo térmico (TT) acumulado por etapa de desarrollo en plantas de zanahoria bajo condiciones ambientales del Oriente antioqueño ---- 177
Figura 7.7. Evolución de variables de textura de la zanahoria durante el MOR en la etapa IV de crecimiento ---- 179
Figura 7.8. Evolución de las variables fisicoquímicas de la zanahoria durante el MOR en la etapa IV de crecimiento ---- 180
Figura 8.1. Técnica para la toma de muestra de densidad aparente del suelo ---- 188
Figura 8.2. Toma de muestra de suelo con barreno holandés ---- 189
Figura 8.3. Toma de muestra para retención de humedad ---- 191
Figura 8.4. Curva de retención de humedad para dos tipos de suelo ---- 192
Figura 8.5. Precipitación promedio mensual ---- 193
Figura 8.6. Lote de zanahoria con encharcamientos en la parte superficial del suelo ---- 194
Figura 8.7. Observación del nivel freático del suelo con la metodología del barreno holandés ---- 195
Figura 8.8. Acople entre manguera y tubo ---- 201
Figura 8.9. Collarín de derivación ---- 201

Figura 8.10. Derivación a línea de aspersores ---- 201
Figura 8.11. Instalación del aspersor ---- 202
Figura 8.12. Otra opción para el acople del aspersor ---- 202
Figura 8.13. Microaspersor para zanahoria ---- 202
Figura 8.14. Aspersor de mayor caudal para zanahoria ---- 202
Figura 8.15. Final de manguera para lavado ---- 203
Figura 9.1. Nematodos que afectan el cultivo de zanahoria en el Oriente antiqueño ---- 211
Figura 9.2. Daños ocasionados por *Meloidogyne* spp. en el cultivo de zanahoria de tres meses de edad ---- 212
Figura 9.3. *Alternaria dauci*, agente causal de la gota o la mancha foliar en zanahoria ---- 215
Figura 9.4. Hongo *Ilyonectria* spp. y síntomas de pata negra en zanahoria de cuatro meses de edad ---- 218
Figura 9.5. *Stemphylium radicinum*, agente causal de moho negro en zanahoria ---- 219
Figura 9.6. *Sclerotium rolfsii*, agente causal de la pudrición blanda de la zanahoria ---- 221
Figura 9.7. Hongos causantes de la pudrición blanca algodonosa en zanahorias ---- 223
Figura 9.8. Hongo *Penicillium* spp., agente causante del moho verde de la zanahoria ---- 225
Figura 9.9. Hongo *Oidium* spp., agente causal de Mildeo polvoso de la zanahoria ---- 227
Figura 9.10. Bacteriosis de la zanahoria causada por *Pectobacterium carotovorum* ---- 229
Figura 9.11. *Streptomyces* spp., agente causal de la sarna común de la zanahoria ---- 230
Figura 10.1. Lepidópteros de la familia Noctuidae ---- 243
Figura 10.2. Tipos de daño que puede causar *Spodoptera* spp. ---- 244
Figura 10.3. Trips presentes en el cultivo de zanahoria ---- 245
Figura 10.4. *Myzus* persicae en zanahoria ---- 247
Figura 10.5. Diferentes crisomélidos sobre follaje de zanahoria ---- 249
Figura 10.6. Larva de gusano alambre (*Agriotes* spp.) ---- 250
Figura 10.7. Babosas observadas en zanahoria ---- 250
Figura 10.8. Coccinélidos observados en zanahoria ---- 252
Figura 10.9. Sírfidos presentes en la zanahoria ---- 253
Figura 10.10. Adulto de *Zelus* sp. familia Reduviidae ---- 254
Figura 10.11. Adulto de *Polistes* sp. ---- 255
Figura 10.12. Adulto de la familia Chalcididae ---- 256
Figura 10.13. Adulto de la familia Braconidae ---- 257
Figura 10.14. Taquínido adulto posado sobre planta de zanahoria ---- 257
Figura 11.1. Prácticas de empacado y lavado de zanahoria en fincas del municipio de Santuario, Antioquia ---- 276
Figura 11.2. Modelo de mapa o plano de la finca, con zonas delimitadas según las prácticas y usos en la finca ---- 278
Figura 11.3. Diagrama de áreas o instalaciones que facilitan la implementación de las BPA ---- 279
Figura 11.4. Tipos de unidades sanitarias y de aseo ---- 280
Figura 11.5. Área de almacenamiento o bodega de insumos agrícolas bajo diferentes acondicionamientos de infraestructura y señalización ---- 282
Figura 11.6. Almacenamiento correcto de fertilizantes ---- 283
Figura 11.7. Áreas de almacenamiento ---- 284
Figura 11.8. Ejemplos de áreas de acopio construidas en diferentes materiales ---- 286

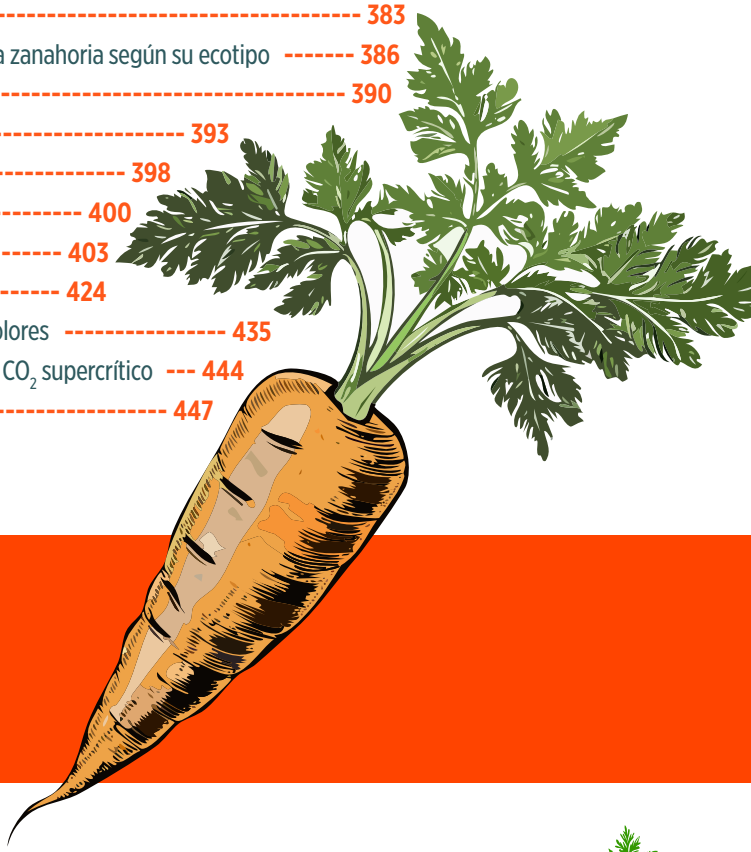
Figura 11.9. Disposición de residuos en recipientes o bolsas debidamente marcados, tapados y protegidos de la lluvia ----- 287
Figura 11.10. Elementos de protección ----- 287
Figura 11.11. Áreas con letreros de señalización ----- 288
Figura 11.12. Observación de problemas fitosanitarios ----- 295
Figura 11.13. Predadores y parasitoides ----- 296
Figura 12.1. Momentos de la cadena de suministro de la zanahoria en Marinilla y El Santuario, y características de las pérdidas y desperdicios ----- 308
Figura 12.2. Pérdidas y desperdicios de alimentos de acuerdo con el grupo de productos ----- 309
Figura 12.3. Esquema del proceso respiratorio en zanahoria ----- 312
Figura 12.4. Corte transversal de zanahoria mostrando los haces vasculares ----- 315
Figura 12.5. Zanahoria madura que ha alcanzado el color normal del material genético ----- 317
Figura 12.6. Cosecha manual de zanahoria en costales reutilizados ----- 322
Figura 12.7. Sitios comunes de selección o acopio de la zanahoria ----- 324
Figura 12.8. Sistema de acondicionamiento en acopio recomendado para finca de productor ----- 325
Figura 12.9. Proceso del acopio de zanahoria en planta de poscosecha denominada lavadero ----- 326
Figura 12.10. Lavado manual de zanahoria en finca ----- 328
Figura 12.11. Lavado semitecnificado en finca de productor ----- 329
Figura 12.12. Empaques utilizados en la comercialización de la zanahoria ----- 331
Figura 12.13. Tipologías de zanahoria según tamaño ----- 333
Figura 12.14. Pérdida de calidad de la zanahoria por tipología por daño sanitario ----- 334
Figura 12.15. Tipología por bifurcación de la raíz ----- 335
Figura 12.16. Tipología por deformación de la raíz ----- 336
Figura 12.17. Tipología por rajado de la raíz ----- 337
Figura 12.18. Tipología por zanahoria quebrada ----- 337
Figura 12.19. Tipología por color de zanahoria, hombros verdes ----- 338
Figura 12.20. Tipología por color, zanahoria blanca ----- 339
Figura 12.21. Película blanquecina (peridermis) asociada al blanqueamiento de la epidermis de la zanahoria ----- 341
Figura 12.22. Precio mensual mayorista de la zanahoria en los principales municipios productores de Antioquia para el 2021 -- 342
Figura 12.23. Medio de transporte frecuentemente utilizado para zanahoria en el Oriente antioqueño, que no cumple las condiciones adecuadas para conservar su calidad ----- 343
Figura 12.24. Zanahoria con aspecto flácido tras 20 días de almacenamiento a 18 °C y 85 % de humedad relativa ----- 345
Figura 14.1. Aplicaciones convencionales y emergentes para residuos vegetales ----- 376
Figura 14.2. Producción mundial de vegetales para el año 2021 ----- 377
Figura 14.3. Dinámica de producción de zanahoria en Colombia ----- 378
Figura 14.4. Hortalizas con mayor área de cosecha ----- 379
Figura 14.5. Flavonoides comunes en zanahorias ----- 384
Figura 14.6. Ácidos fenólicos comunes en zanahorias ----- 384
Figura 14.7. Antocianinas comunes en zanahorias ----- 384
Figura 14.8. Variedades de zanahorias y sus compuestos característicos ----- 385
Figura 14.9. Terpenos volátiles comunes en la zanahoria ----- 387

Figura 14.10. Poliacetilenos de zanahoria ---- 387
Figura 14.11. Beneficios de la zanahoria para la salud ---- 389
Figura 14.12. Metabolismo de β-caroteno y retinoides ---- 392
Figura 14.13. Mecanismo de acción del retinal en la captación de luz ---- 394
Figura 14.14. Rompimiento enzimático de β-caroteno por CCO ---- 396
Figura 14.15. Materias primas de zanahoria para uso en cosmética ---- 402
Figura 14.16. Usos de la zanahoria en cosmética ---- 405
Figura 15.1. Información nutricional de la zanahoria ---- 423
Figura 15.2. Variedades de zanahoria ---- 427
Figura 15.3. Valores de fibra dietaria de frutas y hortalizas consumidas en Colombia ---- 429
Figura 15.4. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: naranja ---- 431
Figura 15.5. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: amarilla ---- 432
Figura 15.6. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: morada ---- 433
Figura 15.7. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: blanca ---- 434
Figura 15.8. Categorías predominantes de productos con zanahoria en Latinoamérica ---- 437
Figura 15.9. Etapas para el procesamiento de la zanahoria ---- 439
Figura 15.10. Proceso de obtención de zanahoria enlatada ---- 446
Figura 15.11. Proceso de obtención de harina de zanahoria ---- 448
Figura 15.12. Proceso de obtención de yogur de zanahoria ---- 450
Figura 15.13. Proceso de obtención de dulces de zanahoria ---- 451
Figura 16.1. Ilustración de zanahorias cultivadas y silvestres ---- 462

Índice de tablas

Tabla 2.1. Características espaciales de las plantaciones de zanahoria ---- 51
Tabla 5.1. Cuadro comparativo de materiales de siembra de zanahoria en Colombia ---- 118
Tabla 6.1. Herbicidas recomendados para el manejo de arvenses en el cultivo de la zanahoria ---- 139
Tabla 6.2. Factores ambientales, edáficos y del cultivo relacionados con la disponibilidad y manejo de nutrientes---- 143
Tabla 6.3. Funciones de los nutrientes minerales en las plantas ---- 144
Tabla 6.4. Enmiendas aplicadas para corregir pH ---- 149
Tabla 6.5. Rangos de conductividad eléctrica ---- 150
Tabla 6.6. Factor de eficiencia en porcentaje de los nutrientes aplicados en un suelo promedio ---- 152
Tabla 6.7. Factores de conversión de fuente de fertilizante a cantidad de nutriente y viceversa ---- 153
Tabla 6.8. Niveles foliares óptimos de nutrientes en zanahoria ---- 160

Tabla 8.1. Resultados curva de retención de humedad suelo 1 ---------- 191
Tabla 8.2. Resultados curva de retención de humedad suelo 2 ---------- 191
Tabla 8.3. Balance hídrico para la zona de estudio ---------- 197
Tabla 8.4. Necesidad de riego del cultivo de zanahoria para la zona de estudio ---------- 198
Tabla 8.5. Cotización de materiales para la instalación de un sistema de riego para zanahoria (precios de 2024) -------- 200
Tabla 11.1. Datos correspondientes al cultivo de zanahoria con los LMR y los LMRE adoptados por la Comisión del Codex Alimentarius ---------- 268
Tabla 11.2. Certificaciones para la exportación de agroalimentos ---------- 270
Tabla 12.1. Estimación de la producción de una ha de zanahoria en el Oriente antioqueño según categorización de los productores y datos tomados en campo---------- 340
Tabla 13.1. Formato de registro de costos de producción ---------- 358
Tabla 13.2. Costos asociados a la mano de obra ---------- 360
Tabla 13.3. Costos de insumos para una hectárea de zanahoria ---------- 361
Tabla 13.4. Costos de materiales, herramientas y equipos ---------- 362
Tabla 13.5. Otros costos de producción ---------- 363
Tabla 13.6. Flujo de caja para zanahoria ---------- 364
Tabla 13.7. Indicadores de evaluación financiera ---------- 366
Tabla 13.8. Flujo de caja con análisis de sensibilidad ---------- 367
Tabla 13.9. Indicadores financieros con análisis de sensibilidad ---------- 368
Tabla 14.1. Clasificación de carotenoides ---------- 381
Tabla 14.2. Contenido de carotenoides en diferentes vegetales ---------- 383
Tabla 14.3. Contenido de los atributos biofuncionales presentes en la zanahoria según su ecotipo ------- 386
Tabla 14.4. Beneficios saludables asociados a los carotenoides ---------- 390
Tabla 14.5. Vitamina A y sus funciones en la piel ---------- 393
Tabla 14.6. Aplicaciones de la zanahoria en nutracéutica ---------- 398
Tabla 14.7. Investigaciones sobre la zanahoria en cosmética ---------- 400
Tabla 14.8. Productos cosméticos comerciales a base de zanahoria ------ 403
Tabla 15.1. Información nutricional por 100 g de zanahoria cruda -------- 424
Tabla 15.2. Concentración de carotenos en zanahorias de diversos colores ---------- 435
Tabla 15.3. Condiciones óptimas para la extracción de carotenos por CO_2 supercrítico --- 444
Tabla 15.4. Contenido de carotenos en zanahorias deshidratadas ---------- 447



La cadena de la zanahoria en Colombia: retos, oportunidades y bioeconomía

Por Juan Mauricio Rojas Acosta

Introducción

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia en el sistema agroalimentario colombiano, tanto por su aporte a la seguridad alimentaria como por su potencial para la agroindustria, contribuyendo significativamente en la diversificación productiva y la generación de ingresos rurales. En Colombia, su cultivo está ampliamente distribuido en regiones importantes del país, con un peso socioeconómico significativo en departamentos como Cundinamarca, Antioquia, Boyacá y Nariño, y constituye un eslabón fundamental en la cadena hortícola nacional (Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario, 2023). Esta hortaliza es cultivada principalmente por pequeños agricultores de las zonas rurales.

La presente obra tiene como propósito realizar un análisis académico de la cadena productiva de la zanahoria en Colombia, complementando la información ya disponible en documentos previos. Se aborda, en primer lugar, un panorama de la cadena de valor, su contexto productivo y dinámicas actuales. Posteriormente, se analizan los retos y oportunidades que enfrenta este sector, particularmente desde la perspectiva de la sostenibilidad y la bioeconomía. En tercer lugar, se discute el papel de la investigación y de la articulación institucional en el fortalecimiento de la cadena. Finalmente, se plantean conclusiones y proyecciones hacia una agenda futura de trabajo, seguidas de un reconocimiento a los autores y aliados que han hecho posible la construcción de este conocimiento colectivo.



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

La cadena de valor de la zanahoria: contexto y dinámicas actuales

La producción de zanahoria en Colombia ha tenido una trayectoria estable en términos de área cosechada y rendimiento, con una concentración regional marcada. En 2021, el país reportó 96 municipios productores distribuidos en 11 departamentos, siendo Cundinamarca el principal, con 80.650 toneladas, seguido de Antioquia, con más de 68.000 toneladas (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2022). De este último, el 86 % es destinado al consumo interno (Moreno-Rodríguez et al., 2025). El rendimiento promedio nacional se ubicó en 26,4 toneladas por hectárea, con variaciones regionales que oscilan entre 19 y 33 toneladas por hectárea, dependiendo de factores agroclimáticos y de manejo (Observatorio de CTI, 2023).

En el plano económico, la zanahoria registra un consumo aparente de 276.045 toneladas, con un consumo per cápita cercano a 5,38 kg por año. El precio promedio en el mercado mayorista de Bogotá en 2021 fue de 1.645 COP/kg, mientras que el precio al consumidor alcanzó 2.800 COP/kg, lo que reflejó la dinámica de intermediación y los costos de comercialización (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2021). Aunque la zanahoria es destinada principalmente al consumo interno, se registran exportaciones marginales hacia mercados del Caribe (Curazao, Aruba), así como algunas importaciones prove-

nientes de Estados Unidos y Bélgica, evidenciando una balanza comercial deficitaria para esta hortaliza (TradeMap, 2022).

La cadena de valor de la zanahoria no solo contempla la comercialización en fresco, sino que además integra su uso potencial de transformación agroindustrial, con diferentes alternativas de agregación de valor y diversificación productiva. En este sentido, la zanahoria se utiliza como materia prima en productos procesados como jugos, purés, patés vegetales, gomitas, aderezos, entre otros (Moreno-Rodríguez et al., 2025). Complementario a esto, diversos proyectos de innovación, apoyados por la investigación pública y privada, están impulsando productos derivados (alimenticios y cosméticos) a partir de la zanahoria. En conjunto, la producción de zanahoria en estas regiones no solo provee alimentos para los mercados locales y regionales, sino que también fortalece cadenas agroindustriales emergentes, creando nuevas oportunidades de negocio y empleo en el campo colombiano.

Por lo anterior, el caso de Antioquia es representativo del dinamismo de la cadena productiva, dado su aporte significativo a la producción nacional y su papel en la articulación de actores. La cadena de valor en este departamento refleja tanto la capacidad productiva como las limitaciones en materia de logística, transformación agroindustrial y acceso a mercados (AGROSAVIA, 2022).

Retos y oportunidades hacia la sostenibilidad y la bioeconomía

El cultivo de zanahoria enfrenta retos comunes a la horticultura nacional, entre ellos la vulnerabilidad frente al cambio climático, la incidencia de plagas y enfermedades, las pérdidas poscosecha y la necesidad de garantizar estándares de calidad e inocuidad. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021) proyectan que, hacia 2030, la participación de frutas y hortalizas en el consumo global seguirá siendo baja en términos calóricos (alrededor del 7 %), lo que plantea un desafío para incrementar su participación en dietas más saludables.

Uno de los problemas críticos en la cadena de la zanahoria en Colombia es la pérdida y el desperdicio de alimentos, especialmente elevado en productos perecederos. Mejorar la eficiencia en la cosecha, el almacenamiento, el transporte y la comercialización es fundamental para incrementar la rentabilidad de los productores y garantizar la sostenibilidad del sistema (Siste-



ma de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas [SIOC], 2021). En este punto, el enfoque de bioeconomía ofrece oportunidades significativas: desde el aprovechamiento de subproductos y residuos hasta la incorporación de innovaciones tecnológicas que reduzcan impactos ambientales y generen valor agregado.

La transformación de la zanahoria en productos de mayor valor, como *snacks* saludables, extractos con fitoquímicos de interés nutracéutico o bioproductos derivados de sus residuos, constituye un camino estratégico para vincular este cultivo con cadenas emergentes de la bioeconomía. A nivel internacional, se ha evidenciado el potencial antiinflamatorio de los polifenoles presentes en la zanahoria, lo que amplía su campo de aplicación más allá del consumo en fresco.

Adicionalmente, las tendencias de la agroindustria 4.0 y la agricultura de precisión brindan herramientas para mejorar la productividad y reducir los costos de producción. El uso de sensores, monitoreo remoto y sistemas de gestión digital permite optimizar el uso de insumos y mejorar la trazabilidad de la cadena (OCDE & FAO, 2021). Estas innovaciones son particularmente relevantes en un contexto de creciente exigencia de los consumidores en materia de sostenibilidad y transparencia.

El aporte de la investigación y la articulación institucional

La investigación científica y la innovación tecnológica constituyen pilares para el fortalecimiento de la cadena de zanahoria. En Colombia, se han identificado al menos nueve proyectos de I+D+i centrados en material de siembra y mejoramiento genético, lo que refleja la importancia de contar con variedades adaptadas a las condiciones agroecológicas del país (Observatorio de CTI, 2023).

El papel de AGROSAVIA, a través de sus centros de investigación y del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario, ha sido clave para sistematizar la información sobre la cadena y visibilizar sus retos y oportunidades. La articulación con la UPRA, el DANE y otros actores institucionales ha permitido generar insumos de política pública y orientar intervenciones territoriales (AGROSAVIA, 2022).

En el ámbito regional, el caso de Antioquia muestra la relevancia de los modelos productivos y de las cadenas de valor como instrumentos para la innovación social y productiva.



La interacción entre productores, asociaciones, entidades de apoyo y centros de investigación es un factor decisivo para dinamizar la cadena y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Asimismo, la cooperación internacional abre espacios para intercambiar conocimientos y experiencias en temas de bioeconomía, sostenibilidad y desarrollo de mercados. La integración de la cadena de la zanahoria en redes globales de investigación y comercio es un paso necesario para posicionar a Colombia en escenarios más competitivos.

Conclusiones: hacia una agenda futura de la cadena de la zanahoria

La cadena de la zanahoria en Colombia presenta una combinación de fortalezas y desafíos. Entre sus principales fortalezas se encuentran la diversidad de regiones productoras, la experiencia acumulada de los agricultores y el potencial de la hortaliza como alimento funcional y producto agroindustrial. Entre los desafíos destacan las pérdidas poscosecha, la limitada transformación industrial, la baja inserción en mercados internacionales y la necesidad de adoptar prácticas más sostenibles.



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

La bioeconomía se presenta como un marco estratégico para avanzar hacia un modelo de producción y consumo más eficiente, sostenible e inclusivo. El aprovechamiento de residuos, la generación de bioproductos y la diversificación de usos de la zanahoria son líneas de acción prioritarias. Asimismo, el fortalecimiento de la investigación en mejoramiento genético, sistemas de producción agroecológica y tecnologías digitales es esencial para incrementar la competitividad del sector.

En términos de política pública, resulta indispensable promover la articulación de los actores de la cadena, generar incentivos para la innovación y la agregación de valor, y consolidar mercados internos y externos más estables. La zanahoria puede convertirse en un ejemplo de cómo una cadena hortícola tradicional puede transitar hacia esquemas de sostenibilidad y bioeconomía, con beneficios tanto para productores como para consumidores.



Reconocimiento a autores y aliados

Este capítulo se nutre del trabajo previo realizado por diversos investigadores y profesionales comprometidos con el fortalecimiento de la cadena de la zanahoria en Colombia. Se reconoce de manera especial la contribución del Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario de AGROSAVIA, así como el esfuerzo institucional de la UPRA, el DANE y las entidades territoriales que han apoyado el levantamiento y análisis de información.

De igual manera, se agradece a los autores de los documentos de base, quienes con sus aportes han permitido consolidar una visión integral de la cadena de valor, y a los aliados regionales en Antioquia y otros departamentos, que han demostrado el valor de la cooperación en proyectos colectivos.

El presente trabajo no constituye un punto final, sino un punto de partida para nuevas fases de investigación, innovación y aplicación de estrategias de bioeconomía en la cadena de la zanahoria. La continuidad de este esfuerzo dependerá de la capacidad de mantener y ampliar las alianzas construidas, fortaleciendo la conexión entre la ciencia, la producción y las demandas de la sociedad.



Referencias

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2022). *Observaciones CCR H&PA. Modelo productivo y cadena de valor de la zanahoria en Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021). *Boletín de precios mayoristas y al consumidor de hortalizas en Bogotá*.

Moreno-Rodríguez, J. M., Ceballos-Ramírez, S. L., Lukau-Quintero, C. E., Flórez-Martínez, D. H., Martínez-Saldarriaga, J., & Henao-Rojas, J. C. (2025). *¿Esta zanahoria pa' qué? Rutas de innovación para la zanahoria: Conexión entre bioeconomía y agroindustria*. Universidad Católica de Oriente. https://repositorio.uco.edu.co/items/faf7692d-0483-4cf8-9cc9-cc88179c5a19

Observatorio de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario. (2023). *Contexto de cadena: hortalizas - zanahoria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

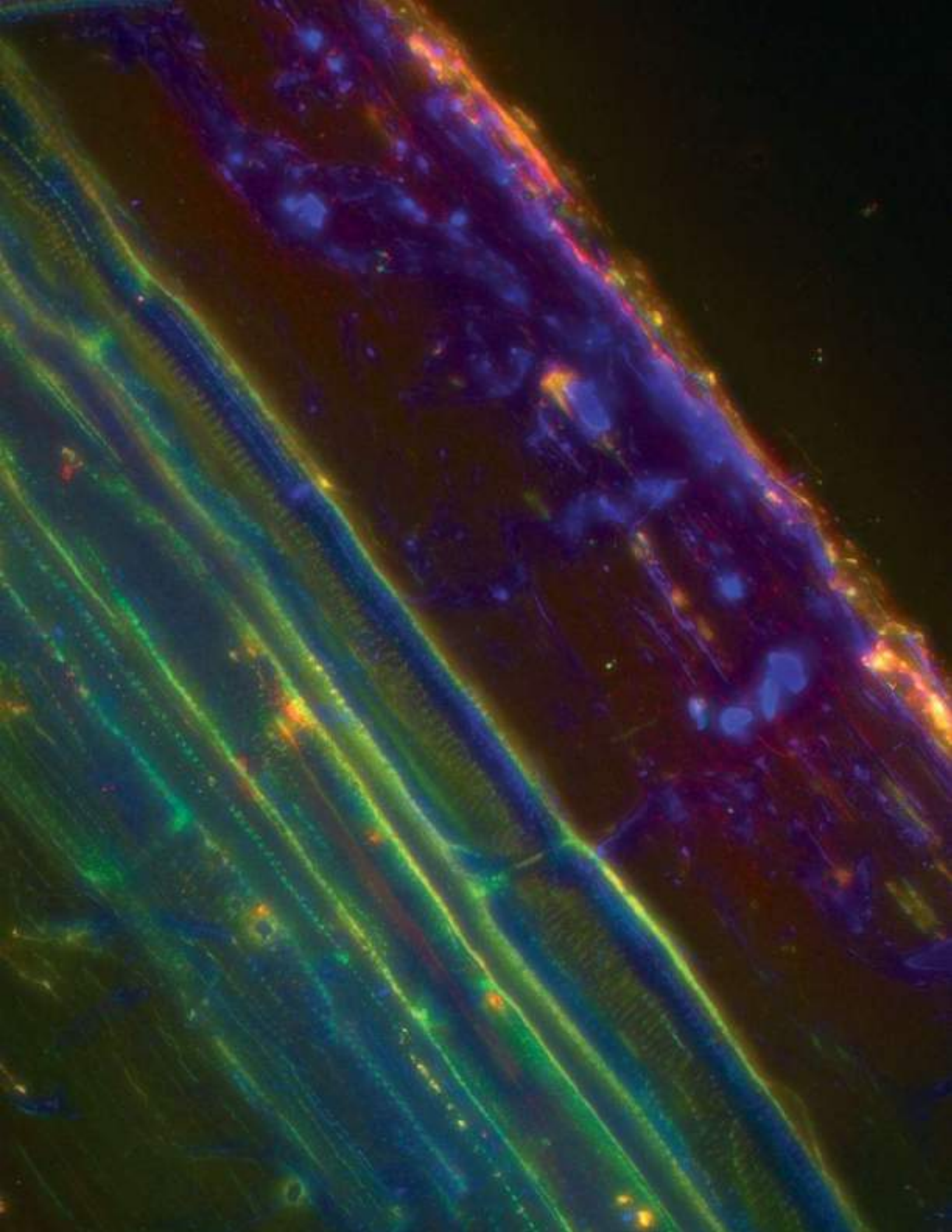
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2021). *OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2021-2030*. https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es

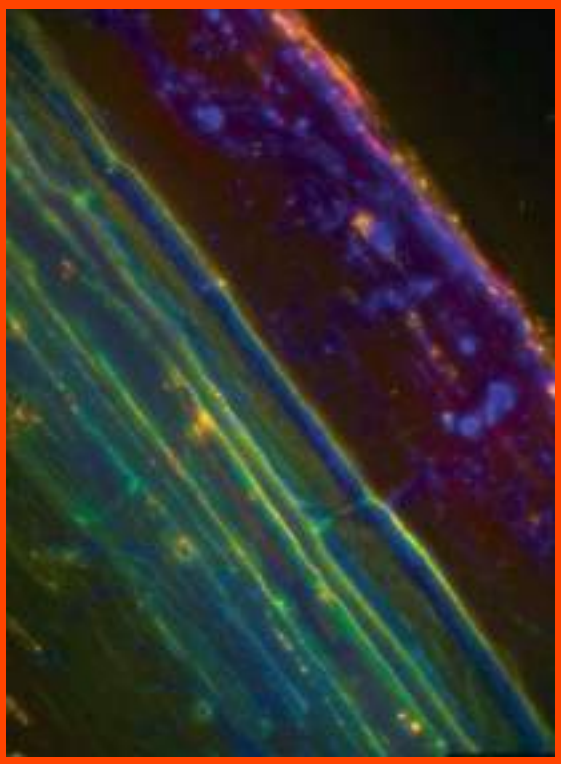
Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas [SIOC]. (2021). *Cadena de las hortalizas - cifras sectoriales*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. https://sioc.minagricultura.gov.co

TradeMap. (2022). *Base de datos de comercio internacional de zanahorias y nabos frescos o refrigerados*. International Trade Centre.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2022). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales 2019-2021*. https://upra.gov.co/es-co/eva







Título

Entre savia, agua y redes

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 120 fotos de 60 micras de profundidad. Colores propios de la técnica empleada y el tejido analizado.

Autoría

Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao-Rojas
Juan Camilo Orozco Cardona

Descripción

Corte longitudinal de raíz de zanahoria (*Daucus carota* L.) observado mediante microscopía de fluorescencia con procesamiento Thunder de Leica. La microfotografía muestra la organización longitudinal de los tejidos vasculares, con estructuras compatibles con xilema y floema, resaltadas por señales fluorescentes diferenciales.

Capítulo I

Importancia del cultivo de zanahoria

Cristian Domínguez Pulgarín
Carolina Zuluaga Mejía
Carolina Ortiz Muñoz
Jorge Eliécer Jaramillo Noreña

Contexto mundial

En este capítulo se presenta una revisión del comportamiento reciente del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.), principalmente a nivel global, sin dejar de mencionar su contexto nacional y regional. Según información de la Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2023) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción global ha mostrado una tendencia creciente en la última década, impulsada en gran parte por el aumento de los rendimientos, más que por la expansión del área cultivada (figura 1.1). Esto demuestra las amplias perspectivas de mejoramiento productivo de este cultivo, las cuales se pueden basar en la incorporación de mejoras tecnológicas orientadas a la eficiencia productiva, la calidad y la inocuidad, más que en el incremento de la superficie sembrada. Así, el análisis de esta información constituye un marco de referencia para comprender la dinámica del área, la producción, el rendimiento y el mercado internacional, y permite establecer un punto de comparación con la situación nacional. Para esto, la metodología utilizada se basó en la revisión de las estadísticas oficiales de FAOSTAT y TradeMap, cuya información fue recopilada, organizada e interpretada para describir las tendencias productivas, económicas y tecnológicas observadas durante la última década y complementada con el análisis de los sistemas de manejo descritos en los capítulos posteriores del libro. A nivel internacional, los países que sobresalen en rendimiento utilizan las buenas prácticas agrícolas (BPA) de forma

rutinaria como una estrategia de tecnologías agronómicas de manejo avanzado del cultivo, enfocándose en el manejo integrado de plagas, el uso eficiente de agua y suelo, y la reducción de contaminantes para elevar rendimientos y seguridad alimentaria (FAO, 2024; Paparella et al., 2024). Estas prácticas, promovidas por organismos como la FAO, incluyen medidas como el control biológico de plagas y la inocuidad en el campo y la sostenibilidad ambiental, y promueven estándares de saneamiento (para enfermedades humanas transmitidas por los alimentos), como el compostaje y los tratamientos adecuados del suelo y el agua, lo que minimiza el uso de agroquímicos y mejora la sostenibilidad en cadenas productivas globales. Un abordaje más amplio de las BPA como estrategias agronómicas tecnológicas de manejo se podrá ver con mayor detalle en el capítulo XI de la presente obra.

Otro concepto importante para el mejoramiento de la competitividad internacional de la zanahoria es la transformación y valorización del producto. Países líderes como Países Bajos, Reino Unido y China no solo producen zanahoria para consumo en fresco, sino que además impulsan alternativas de mejoramiento en la cadena de producción de zanahoria al explotar su potencial fitoquímico (carotenoides y antioxidantes) para cosméticos y transformación en productos de valor agregado, lo que eleva su rentabilidad más allá del mercado fresco (Global Growth Insights, 2025). De forma similar, países como Uzbekistán modernizan la horticultura con subproductos para nutracéuticos y reportan ganancias de 18 % en rentabilidad por hectárea desde 2020 (Global Growth Insights, 2025). En Europa, alianzas como Bejo-Tropic Biosciences aplican edición génica para variedades resistentes, reduciendo hasta 50 % las pérdidas y facilitando subproductos para extractos cosméticos, mientras que China integra procesamiento en polvos y purés, con crecimiento en un mercado global proyectado de USD 2.060 millones en 2026 a USD 3.490 millones en 2035 (ChileBio, 2025; Global Growth Insights, 2025). En Colombia, AGROSAVIA fortalece la cadena con transformación en fibras funcionales, elevando los ingresos de los productores en 15 a 25 % mediante economía circular. Otras alternativas del uso de la zanahoria en Colombia se pueden ver con mayor profundidad en los capítulos XIV y XV de la presente obra.

Así, esta revisión permite identificar tendencias globales, contrastarlas con la situación de Colombia y, particularmente, con el desempeño del cultivo en Antioquia, con el fin de establecer oportunidades reales de mejora en competitividad y sostenibilidad.

Área cosechada, producción y rendimiento

De acuerdo con los datos de FAOSTAT (2023), en 2022 se utilizaron aproximadamente 1,11 millones de hectáreas a nivel mundial para el cultivo de zanahorias y se abarcaron diversas variedades de semilla. Esta superficie produjo cerca de 42,23 millones de toneladas, lo que representa el volumen más alto registrado en la última década, en comparación con el año 2013, cuando se alcanzaron 38,07 millones de toneladas. Esto equivale a un aumento de alrededor de 4,17 millones de toneladas. Curiosamente, mientras la producción ha crecido, el área cosechada ha disminuido levemente, pasando de 1,14 millones de hectáreas en 2013 a cerca de 1,11 millones en 2022 (figura 1.1).

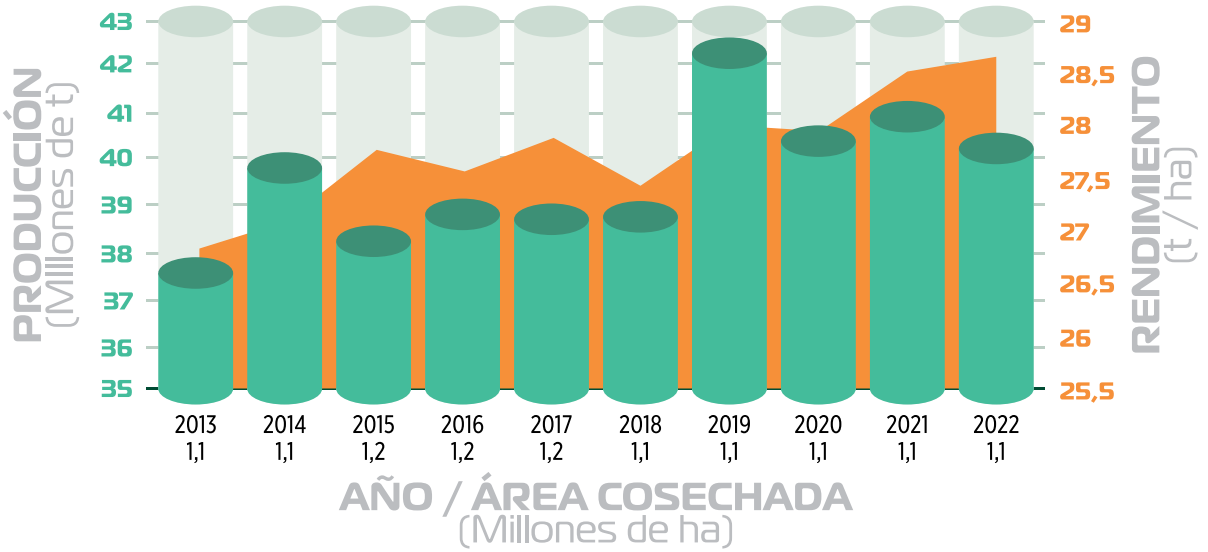


Figura 1.1. Área cosechada, producción y rendimiento mundial del cultivo de zanahoria, 2013-2022.

Fuente: FAOSTAT (2023)

Principales países productores de zanahoria

El rendimiento en la producción de esta hortaliza ha tenido un comportamiento ligeramente variable en el tiempo. Su dinámica en los últimos diez años registrados (2013-2022) ha sido creciente, pasando de 26,61 a 27,79 toneladas por hectárea (t/ha), aproximadamente (figura 1.2), lo cual explica el incremento en el volumen de producción global, aun cuando se ha disminuido levemente el área sembrada total (FAOSTAT, 2023).

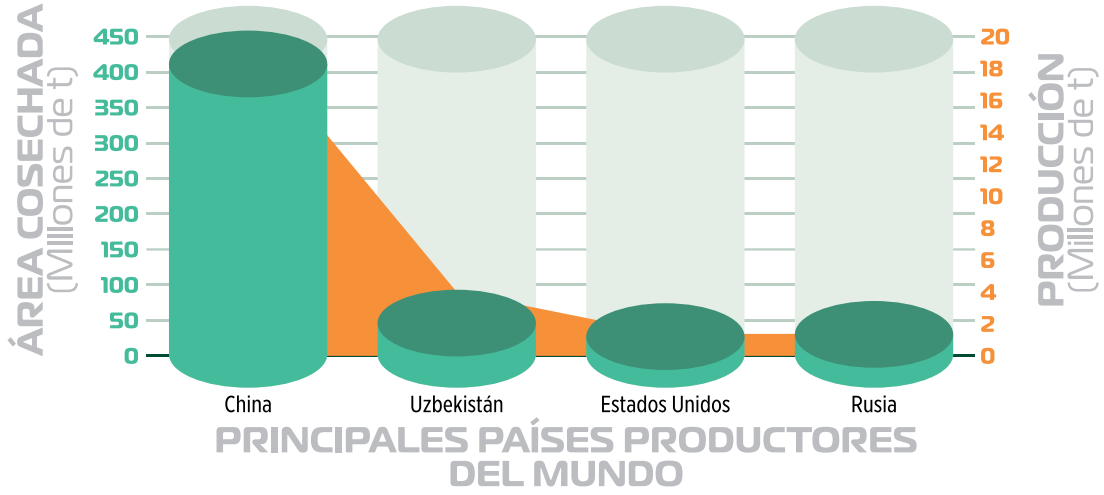


Figura 1.2. Principales países productores de zanahoria en el mundo, 2022.

Fuente: FAOSTAT (2023)

En 2022, un total de 131 países participaron en la producción mundial de zanahoria. Entre ellos, China se destacó como el principal productor, con una cosecha de 18,8 millones de toneladas en una superficie de 410.242 ha, lo que representa el 44,44 % del total global. Otros países con una participación significativa fueron Uzbekistán, con 3,92 millones de toneladas obtenidas en 47.023 ha; Estados Unidos, con 1,38 millones de toneladas en 25.576 ha, y Rusia, que reportó 1,36 millones de toneladas en 42.535 ha. Estos tres países, junto con China, concentraron el 60,21 % de la producción global de zanahoria, mientras que los 127 países restantes aportaron el 39,79 % (FAOSTAT, 2023).

En términos de rendimiento (figura 1.3), aquellos países que producen más de 70 t/ha son Uzbekistán (83,28 t/ha), Islandia (81,25 t/ha), Israel (73,38 t/ha) e Irlanda (70,08 t/ha) (FAOSTAT, 2023).

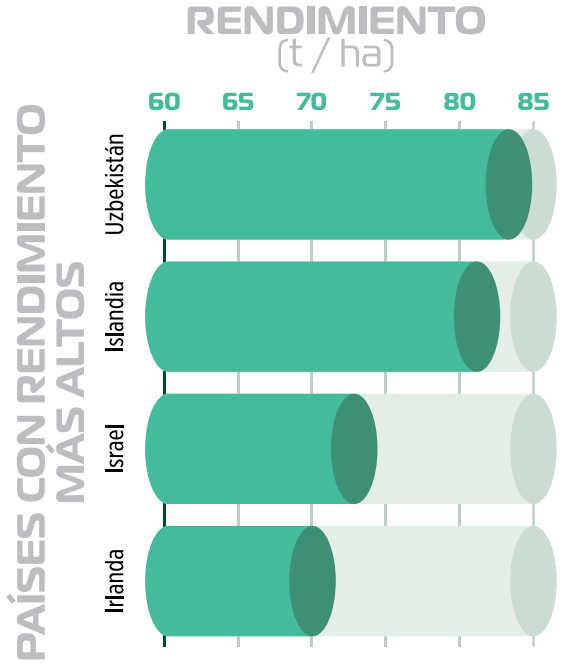


Figura 1.3. Países con los rendimientos más altos en el mundo, 2022.

Fuente: FAOSTAT (2023)

Para el año 2022, entre los 16 países latinoamericanos que destacan como principales productores están México, con un área cosechada de 11.617 ha y una producción de 348.899 t; Argentina, con 8.975 ha y una producción de 300.282 t, y Colombia en el tercer puesto, con un área de 10.339 ha y una producción de 291.279 t. Los siguen Venezuela, Perú y Chile, y los demás países, que produjeron menos de 100.000 t, como muestra la figura 1.4 (FAOSTAT, 2023).

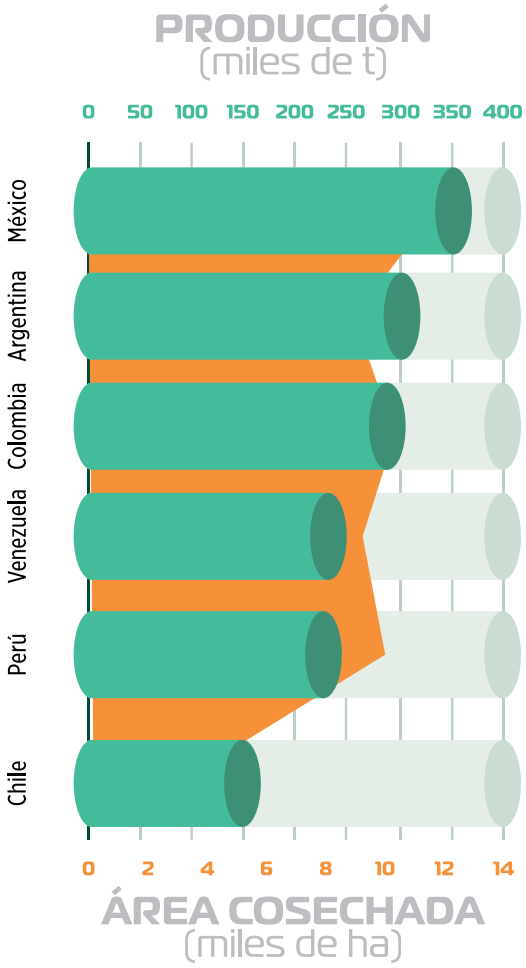


Figura 1.4. Principales países productores de zanahoria en Latinoamérica para el año 2022.

Fuente: FAOSTAT (2023)

El contraste con los datos globales evidencia los rezagos y desafíos productivos que aún enfrenta Colombia. Aunque el país se ubica entre los principales productores de América Latina, la brecha respecto a los países líderes a nivel mundial es considerable. Esta diferencia pone de relieve la necesidad de avanzar en procesos de desarrollo y adopción tecnológica dentro del sistema productivo nacional. En este sentido, la apropiación, evaluación y validación de prácticas y tecnologías empleadas por los países con mayores rendimientos constituye un referente fundamental para orientar al sector hacia un desempeño más competitivo y sostenible.

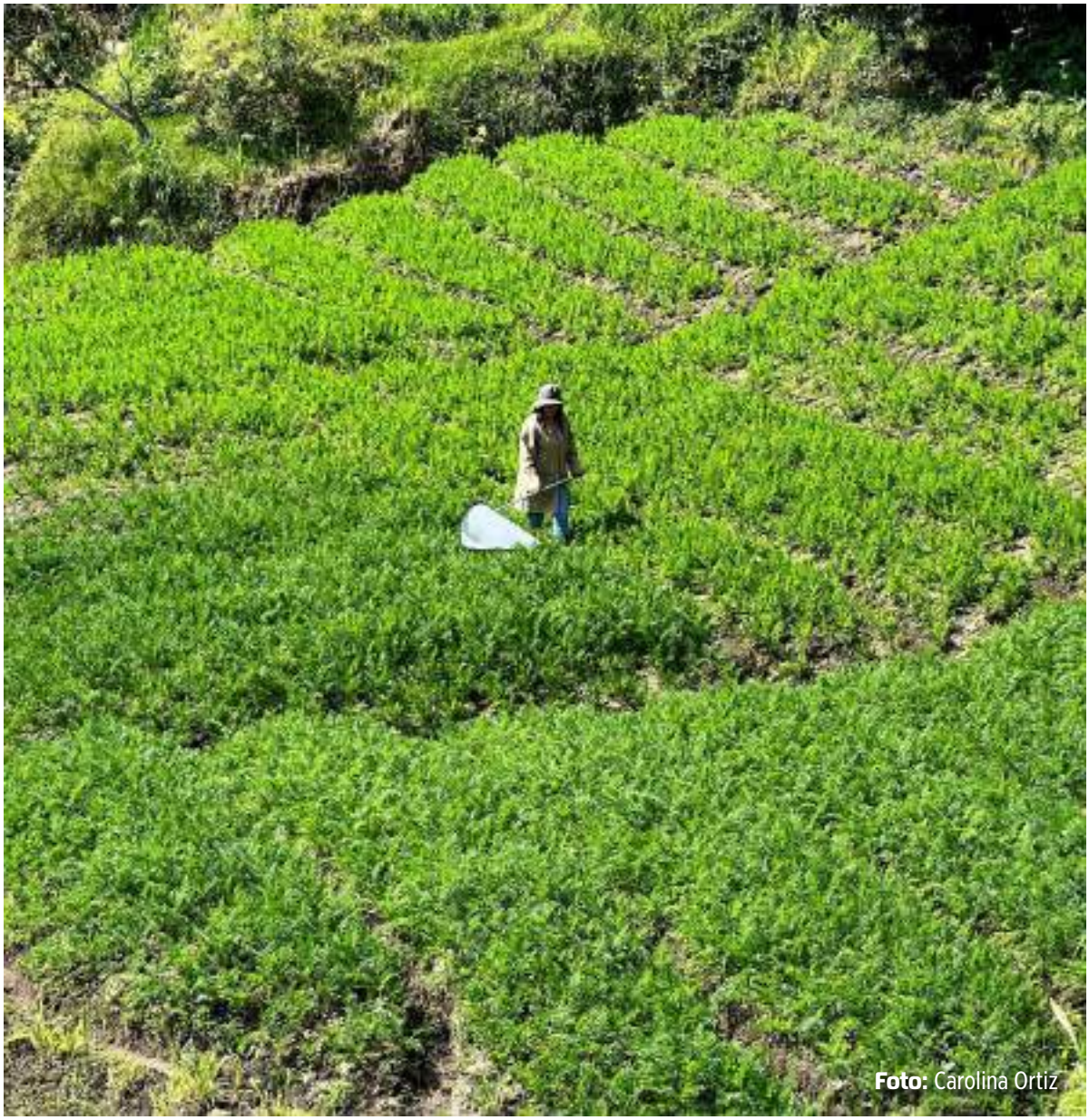


Foto: Carolina Ortiz

Exportaciones e importaciones en el mundo

En 2023, el comercio internacional de zanahorias y nabos registró exportaciones totales por un valor de USD 1.931,37 millones, mientras que las importaciones alcanzaron USD 1.705,97 millones. Ese mismo año, los países que superaron los USD 100 millones en exportaciones fueron China (514,36), Países Bajos (250,92), Estados Unidos (130,33), España (122,47) e Italia (108,83), según se muestra en la figura 1.5 (International Trade Centre [ITC], 2024a). En cuanto a las importaciones, los principales países compradores fueron Alemania (USD 235,61 millones), Estados Unidos (USD 206,01 millones), Canadá (USD 124,24 millones), y Francia (USD 100,67 millones), como se indica en la figura 1.6 (ITC, 2024b). Los datos de comercio internacional presentados en esta sección corresponden al código arancelario HS 070610 de TradeMap, el cual agrupa zanahorias y nabos frescos o refrigerados (excepto remolachas para ensalada).

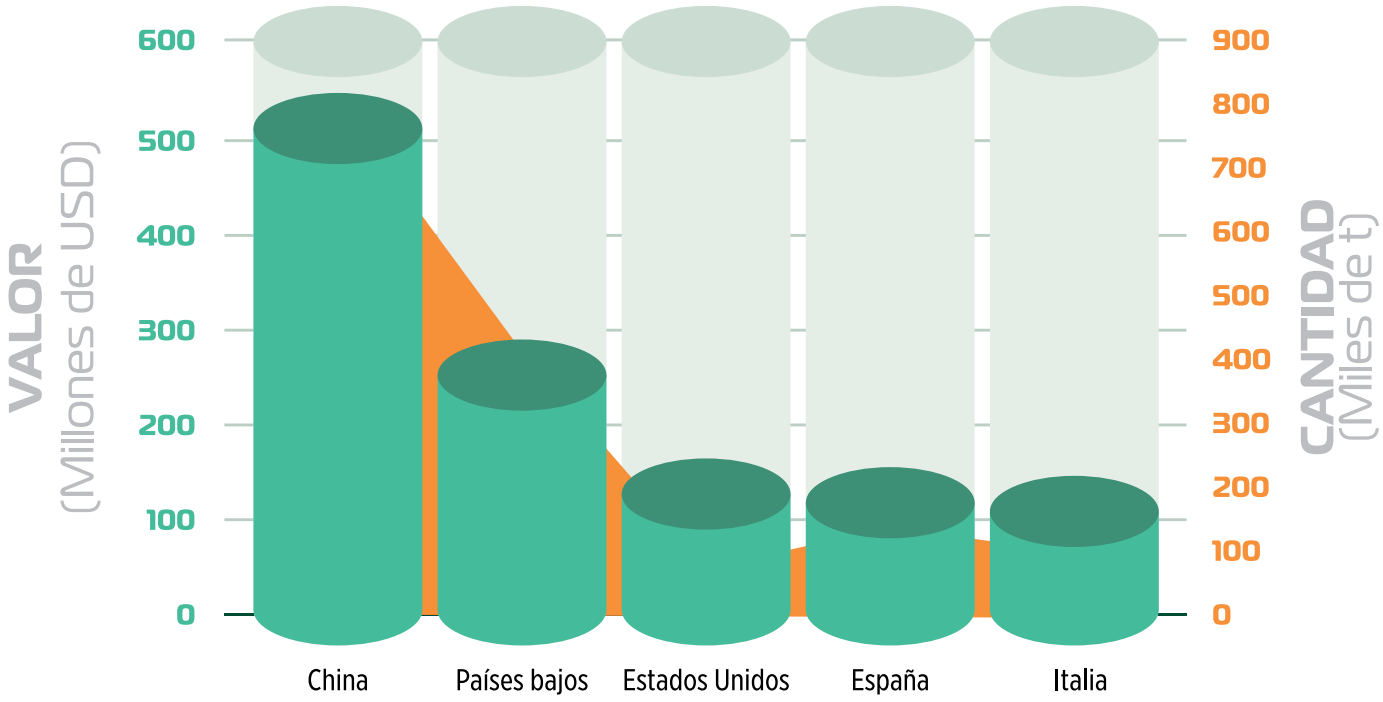


Figura 1.5. Principales países exportadores de zanahoria en el mundo en 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en ITC (2024a).

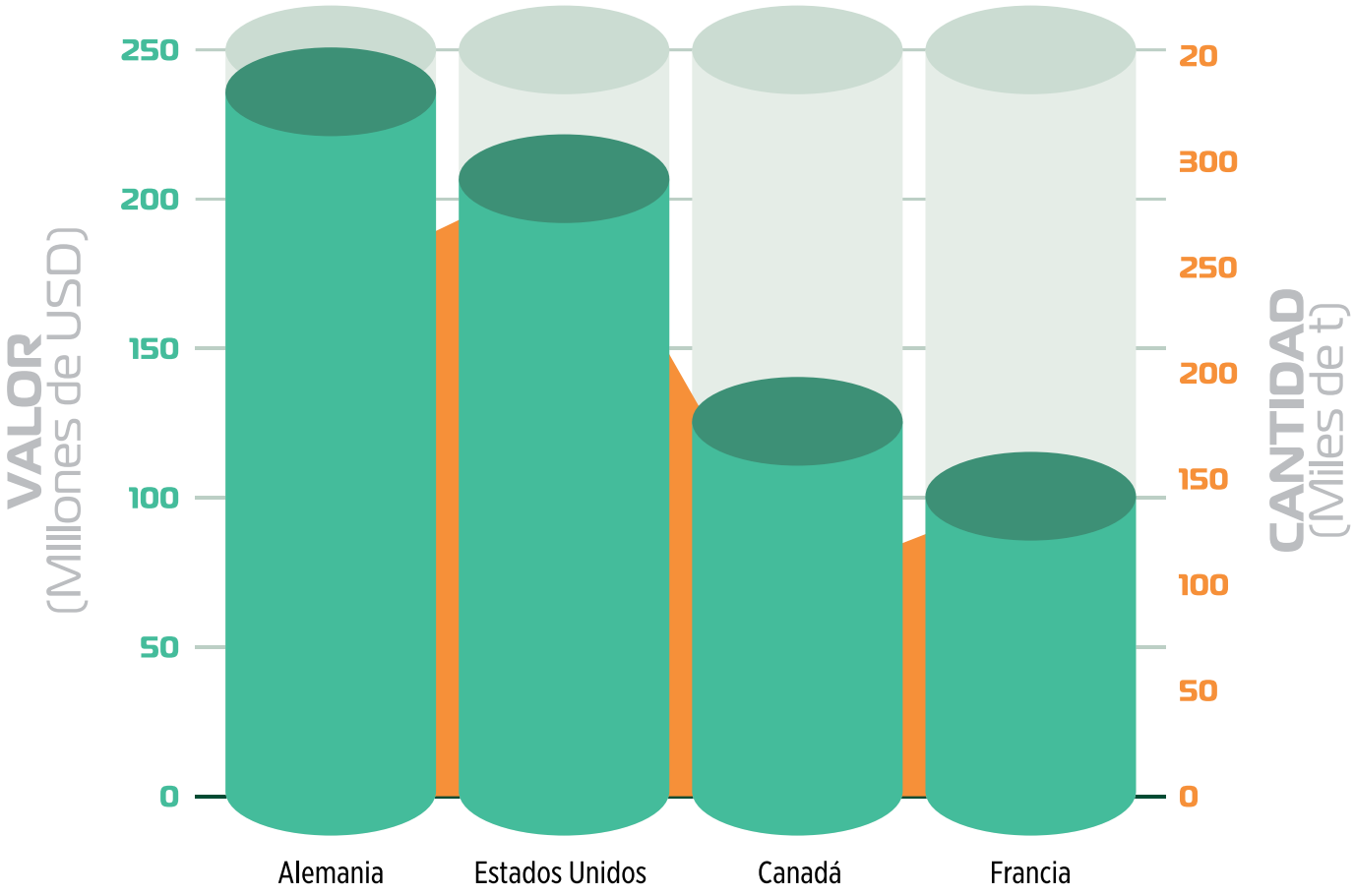


Figura 1.6. Principales países importadores de zanahoria en el mundo en 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en ITC (2024b).

Si bien países como los Países Bajos no figuran entre los mayores productores mundiales de zanahoria, sí se encuentran entre los principales exportadores, junto con España e Italia, lo que evidencia que la participación en el comercio internacional no depende exclusivamente del volumen producido. Al contrastar esta situación con el desempeño productivo nacional, se identifican brechas estructurales importantes. Aunque Colombia presenta rendimientos cercanos al promedio mundial, persisten diferencias asociadas al nivel de desarrollo y la implementación tecnológica, así como a la organización del sistema productivo con orientación a los mercados externos.

En este contexto, además de fortalecer la adopción de tecnologías que mejoren la productividad, resulta necesario promover procesos asociativos que permitan consolidar volúmenes, mejorar la calidad y facilitar el acceso a mercados internacionales, garantizando simultáneamente el abastecimiento del mercado interno y la seguridad alimentaria del país.

Contexto nacional

Área cosechada, producción y rendimiento

Colombia se ubica en el puesto 27 a nivel mundial en producción de zanahorias, con un total de 291.278 t cultivadas en 10.339 ha y un rendimiento promedio de 28,2 t/ha. Durante la última década, de 2013 a 2022, el país ha experimentado un incremento modesto pero constante en las áreas dedicadas a este cultivo. A pesar de ciertas fluctuaciones, con superficies que oscilaron entre las 8.000 y 10.000 ha, se ha observado un aumento general de aproximadamente 2.000 ha en la última década. Este crecimiento, aunque moderado, refleja un desarrollo sostenido en el sector agrícola colombiano dedicado a la producción de la hortaliza (figura 1.7) (FAOSTAT, 2023).

Al igual que el área cultivada, la producción de zanahoria en Colombia ha mostrado variaciones notables a lo largo del tiempo. En 2013 se registraron 238.031 t y alcanzó su punto más alto en 2020 con 301.002 t y un rendimiento promedio de 30,7 t/ha. Para 2022, la producción fue de 291.279 t, con un rendimiento de 28,2 t/ha. Estos datos evidencian una tendencia de crecimiento con fluctuaciones en los volúmenes de producción, mientras que el rendimiento se ha mantenido relativamente estable (figura 1.7) (FAOSTAT, 2023).

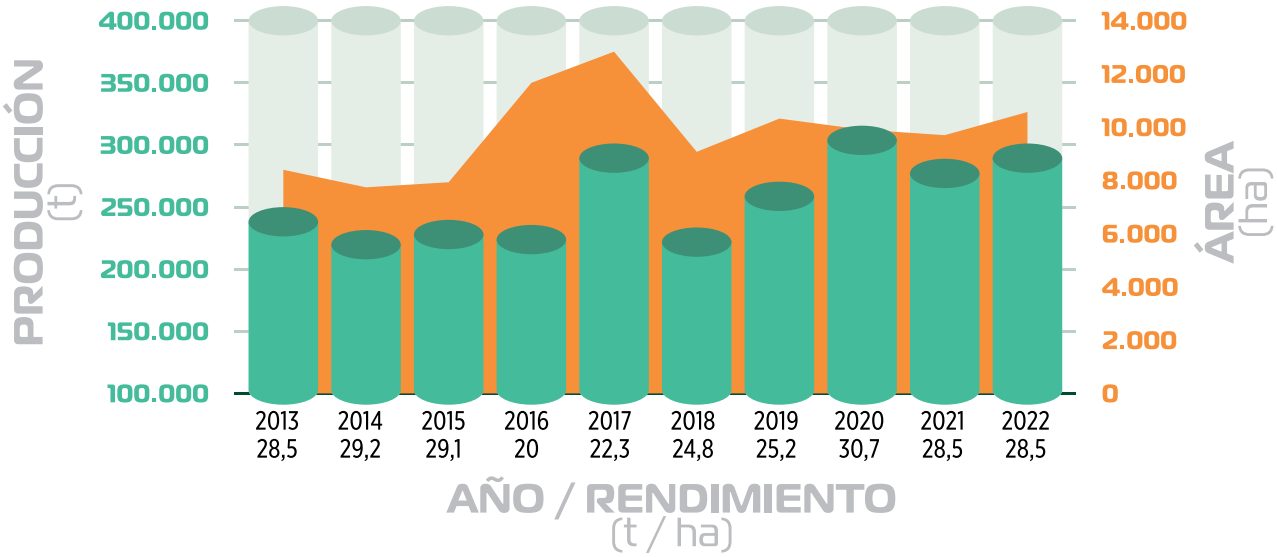


Figura 1.7. Área cosechada, rendimiento y producción de zanahoria en Colombia entre 2013 y 2022.

Fuente: FAOSTAT (2023)

Dinámicas del mercado internacional para Colombia

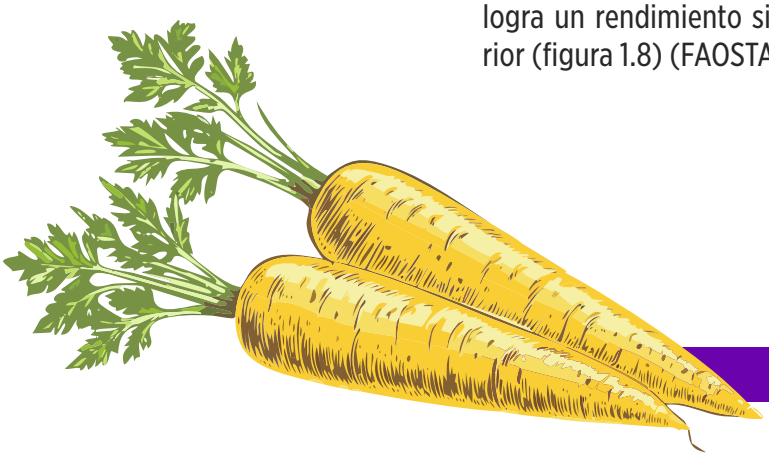
En Colombia, el consumo per cápita de zanahoria es de 5,38 kg (Ortiz, 2023). En 2022, el país se posicionó como el tercer mayor productor de zanahoria en América Latina, después de México y Argentina. No obstante, la producción nacional está mayoritariamente dirigida al abastecimiento del mercado interno, con una participación limitada en exportaciones. Entre enero de 2022 y abril de 2023, las exportaciones colombianas de zanahoria alcanzaron un total de 9.506 dólares FOB, siendo Curazao el principal destino, con USD 8.882, seguido por Aruba, con USD 624. Las empresas más relevantes en estas exportaciones fueron Fresh Products & Logistics SAS (USD 5.196), Polo Guerrero Joyce Andrea (USD 2.422) y Lhm Express SAS (USD 851).

Por otro lado, las importaciones de zanahorias a Colombia alcanzaron USD 399.821 CIF en el mismo periodo. Profenix SAS fue el principal importador, con USD 276.607, seguido de VPC Colombia SAS, con USD 114.531. Por su parte, los principales proveedores internacionales fueron Grimmway Farms (USD 276.607) y Sun Fresh Intl LLC (USD 56.557) (Treid, 2023).

Principales departamentos productores de zanahoria en el país

En Colombia, la producción de zanahoria se concentra principalmente en 16 departamentos, siendo Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Nariño y Norte de Santander los principales productores. Cundinamarca lidera con una producción de 94.063 t al año, cultivadas en 3.307 ha, con un rendimiento de 28,4 t/ha. Le sigue Antioquia, que produce 89.631 t anuales en 2.130 ha y destaca por su alto rendimiento de 42,1 t/ha, el más alto entre los departamentos principales. Boyacá ocupa el tercer lugar, con 53.473 t producidas en 2.270 ha cultivadas, lo que representa un rendimiento de 23,6 t/ha. Nariño, por su parte, produce 27.703 t en 1.129 ha, con un rendimiento de 24 t/ha. Finalmente, Norte de Santander aporta 6.894 t anuales, cultivadas en 401 ha, con un rendimiento de 17,2 t/h.

En conjunto, estos cinco departamentos destacan no solo por sus volúmenes de producción, sino también por las variaciones en rendimiento y áreas cultivadas, lo que refleja la diversidad de condiciones y prácticas agrícolas en el país. Cundinamarca y Boyacá, con áreas más extensas de cultivo, contrastan con Antioquia, que, aunque tiene una menor superficie cultivada, logra un rendimiento significativamente superior (figura 1.8) (FAOSTAT, 2023).



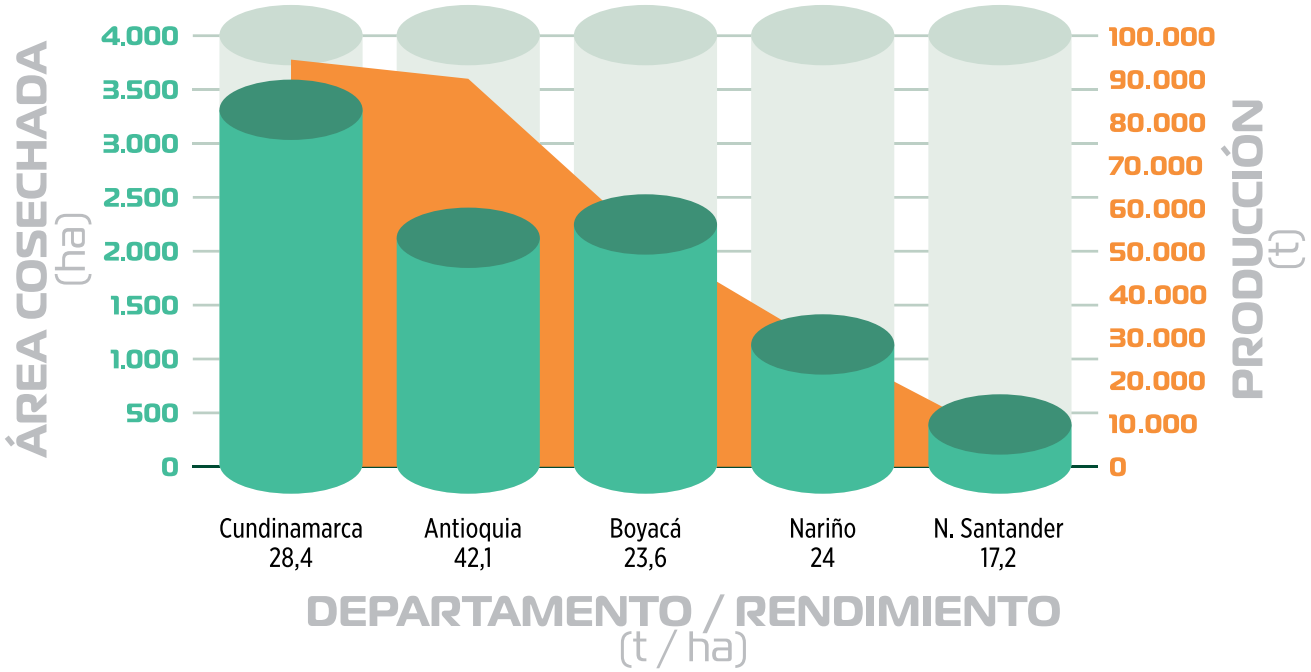


Figura 1.8. Producción, rendimiento y área de los principales departamentos productores de zanahoria en Colombia.

Fuente: UPRA (2023)

Cultivo de la zanahoria en el departamento de Antioquia

Comportamiento del cultivo en el departamento de Antioquia en los últimos años

El cultivo de zanahoria es uno de los más tradicionales en el departamento, que tiene el municipio con mayor rendimiento a nivel nacional (San Pedro de los Milagros) y fue uno de los primeros departamentos en haber certificado productores de zanahoria en BPA en el país (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2013).

De acuerdo con el análisis de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales entre 2007 y 2023, el cultivo de zanahoria en Antioquia se concentraba, hasta 2008, en cuatro municipios del Oriente antioqueño: El Santuario, Marinilla, El Carmen de Viboral y El Peñol. Durante ese año, los rendimientos oscilaron entre 44 y 80 t/ha al año, siendo El Santuario y Marinilla los municipios con mayor productividad.

A partir de 2009 se incorporan nuevos territorios productores en el departamento, destacándose la entrada de San Pedro de los Milagros, en el Altiplano Norte, con un rendimiento de 80 t/ha/año, comparable al de El Santuario. En 2010 se suma Sonsón, también en el Oriente antioqueño. Esta expansión continúa en 2016 con la inclusión de Urrao, ubicado en el Suroeste de Antioquia y, más adelante, en 2019, con el inicio de la producción en La Unión, Granada y Entrerríos.

Según datos del UPRA (2023), durante el periodo 2019-2023, los municipios productores de Antioquia mostraron una tendencia general al aumento de áreas cosechadas de zanahoria, aunque con variaciones en los rendimientos. El Santuario y La Unión lideraron en expansión de superficie, alcanzando 991 ha y 392 ha en 2023, respectivamente, aunque La Unión presentó una caída en su rendimiento, pasando de 40 t/ha en 2019 a 32,5 t/ha en 2023. En El Carmen de Viboral, la superficie aumentó de 99 ha a 168 ha, pero su rendimiento disminuyó a 40 t/ha. Por otro lado, municipios como Entrerríos y Marinilla mantuvieron áreas relativamente estables y rendimientos constantes de 40 t/ha y 30 t/ha, respectivamente. San Pedro de los Milagros (SPM) destacó por mejorar su rendimiento, pasando de 75 t/ha a 85 t/ha, junto con un incremento gradual en el área cosechada. Finalmente, Sonsón mostró estabilidad en superficie y una leve mejora en rendimiento de 47,5 t/ha a 49 t/ha en 2023. Estos resultados reflejan una expansión generalizada en la producción, con desafíos en el mantenimiento de los rendimientos (figuras 1.9 y 1.10).

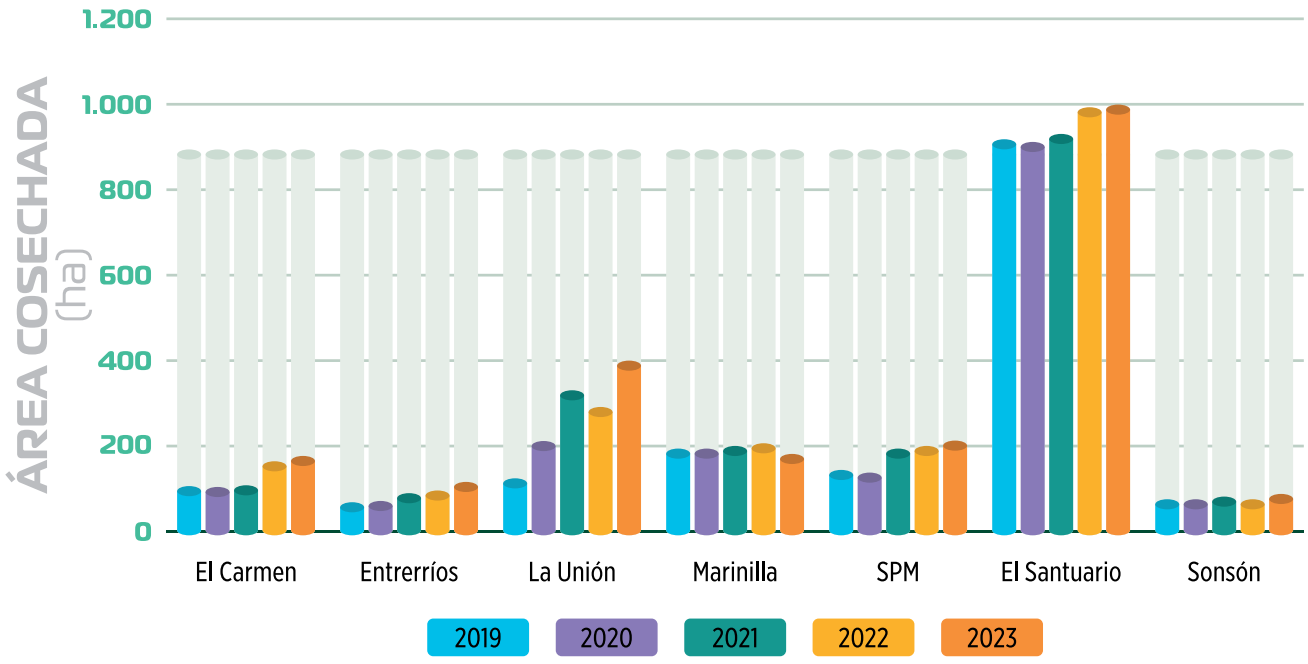


Figura 1.9. Área cosechada de los principales municipios productores de Antioquia entre 2019 y 2023.

Fuente: UPRA (2023)

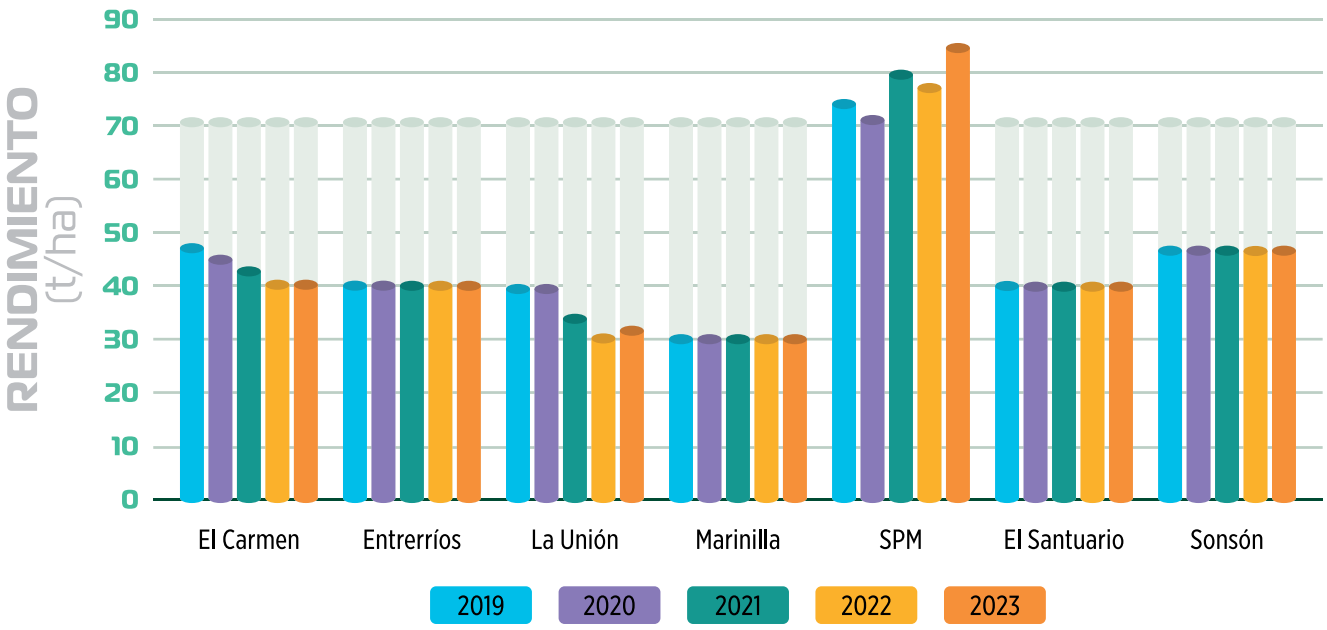


Figura 1.10. Rendimiento de los principales municipios productores de Antioquia entre 2019 y 2023.

Fuente: UPRA (2023)

Principales subregiones productoras de zanahoria en el departamento de Antioquia

Según las Evaluaciones Agropecuarias Municipales de 2023, la producción de zanahoria en Antioquia se distribuye en cuatro subregiones: Norte, Occidente, Oriente y el Valle de Aburrá. Las mayores concentraciones se presentan en el Oriente, que aporta el 84,8 % del área cosechada (1.806 ha) y el 77 % del total de la producción del departamento (67.857 t), seguido por la subregión Norte, con el 14,6 % del área cultivada (310 ha) y el 24 % de la producción (21.490 t).

En contraste, el Valle de Aburrá solo representa el 0,6 % del área cosechada (13 ha) y el 0,3 % de la producción (283 t), cifras apenas superiores a las del Occidente antioqueño, donde se reporta el 0,1 % del área (1 ha) y una producción marginal de 1 t (0,001 %). En términos de productividad, el Norte lidera con un rendimiento de 69 t/ha, seguido por el Oriente con 38 t/ha, ambos por encima del promedio nacional de 28,2 t/ha. Por el contrario, los rendimientos en el Valle de Aburrá (22 t/ha) y Occidente (1 t/ha) son considerablemente más bajos (UPRA, 2023), como se muestra en la figura 1.11.

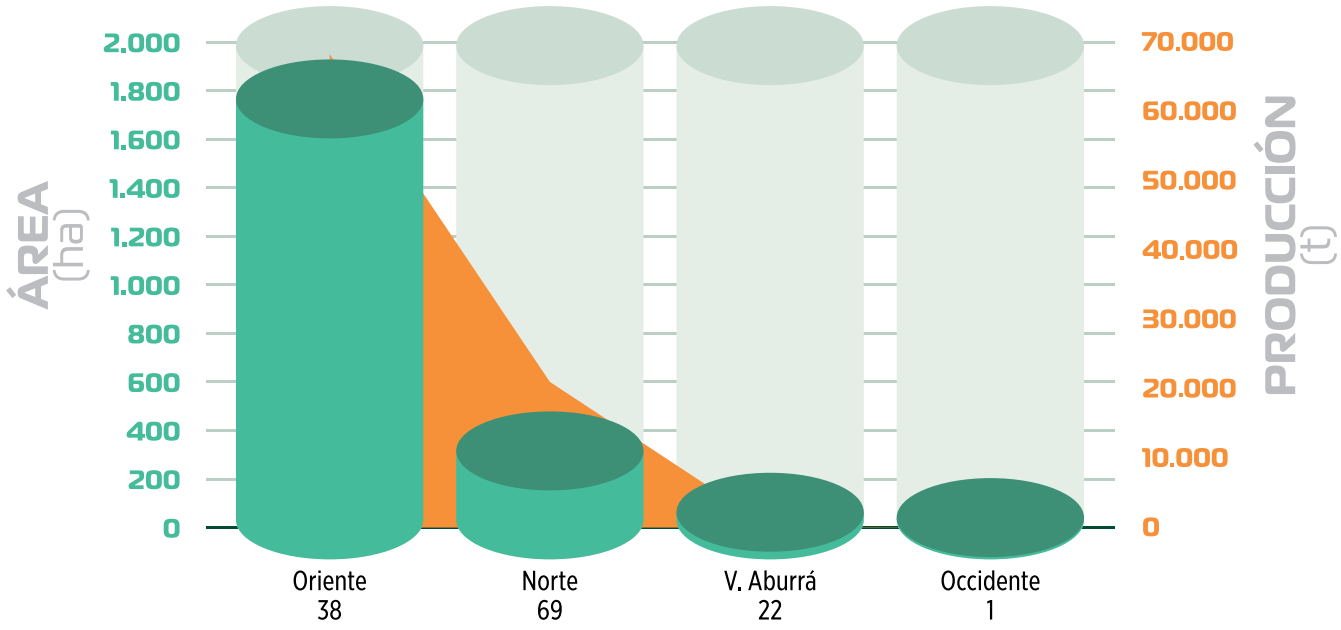


Figura 1.11. Cultivo de zanahoria en las subregiones del departamento de Antioquia.

Fuente: UPRA (2023)

Principales municipios productores de zanahoria en Antioquia

La información sobre la produccioón de zanahoria en Antioquia se sintetiza en la figura 1.12. El Santuario se destaca como el principal productor de zanahoria en Antioquia, con un área cosechada en 2022 de 495 ha y una producción de 39.200 t, con un rendimiento de 40 t/ha.

El municipio de San Pedro de los Milagros se sitúa en segundo lugar, con 92 ha dedicadas al cultivo de zanahoria. A pesar de contar con una menor superficie cultivada, logra una producción notable de 14.275 t, destacándose además por tener el mayor rendimiento nacional, con 78 t/ha.

En tercer lugar se encuentra el municipio de La Unión, con 3.181 ha cultivadas y una producción de 8.988 t, con un rendimiento de 31 t/ha.

El cuarto lugar lo ocupa el municipio de El Carmen de Viboral, con un área cosechada de 78 ha y una producción de 6.200 t de zanahoria, alcanzando un rendimiento de 40 t/ha.

De esta manera, la subregión Oriente sobresale como un área con alto potencial productivo, al concentrar tres de los cuatro principales municipios productores del departamento: El Santuario, La Unión y El Carmen de Viboral. Asimismo, San Pedro de los Milagros, ubicado en la subregión Norte, también se destaca como un actor clave en la produccion de zanahoria en Antioquia (UPRA, 2023).

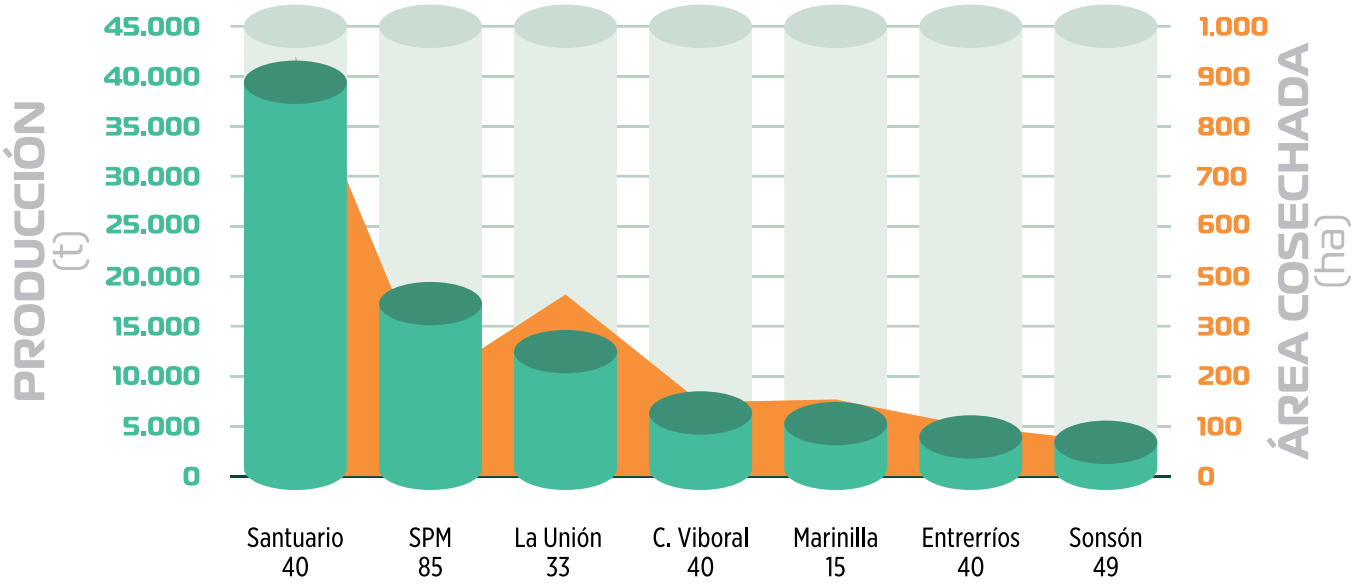


Figura 1.12. Principales municipios productores de zanahoria en Antioquia en 2023.

Fuente: UPRA (2023)

Los países que sobresalen en rendimiento en el cultivo de zanahoria lo logran principalmente mediante la incorporación de mejoras tecnológicas orientadas a la eficiencia del sistema productivo. Entre estas se destacan la mecanización de labores críticas como la siembra y la cosecha, el uso de materiales vegetales adaptados a cada zona, el ajuste de la densidad de siembra en función del material utilizado y de las condiciones edafoclimáticas, así como un manejo preciso de la nutrición y del riego.

En Colombia, varias de estas tecnologías han demostrado ser técnica y operativamente adoptables. Un ejemplo representativo se observa en el municipio de San Pedro de los Milagros, donde se alcanzan rendimientos cercanos a las 70 t/ha (figura 1.10), comparables con los de países líderes a nivel mundial. Estos resultados se asocian, entre otros factores, a la sustitución de la siembra manual por sistemas mecanizados y al aumento controlado de la densidad de siembra, lo que confirma que el país cuenta con el potencial técnico para cerrar la brecha productiva.

En este sentido, una meta de rendimiento y producción deseable para Colombia debería orientarse a consolidar rendimientos elevados y estables, cercanos a los alcanzados en experiencias como la de San Pedro de los Milagros, de modo que, en escenarios de adopción tecnológica generalizada, los rendimientos nacionales puedan situarse alrededor de este nivel. Bajo este enfoque, el incremento de la producción nacional se lograría principalmente mediante mejoras en productividad y eficiencia, más que a través de la expansión del área cultivada.



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

Conclusiones y perspectivas de los autores

» El análisis realizado sobre el comportamiento global, nacional y regional del cultivo de zanahoria permite comprender no solo su importancia como hortaliza de alto consumo y rentabilidad, sino también su potencial de desarrollo en contextos agrícolas como el colombiano. La consolidación de datos provenientes de FAOSTAT y fuentes nacionales evidencia una tendencia general de crecimiento en producción, a pesar de la estabilidad o incluso reducción del área cosechada, lo que señala avances en eficiencia productiva a nivel mundial.

» En el caso de Colombia, si bien se ha mantenido como un actor relevante dentro del contexto latinoamericano, el país aún enfrenta retos importantes en términos de tecnificación, estandarización de prácticas y acceso a mercados externos. Es especialmente destacable el papel de departamentos como Antioquia, no solo por su volumen de producción, sino por los rendimientos superiores que alcanza en zonas específicas como San Pedro de los Milagros o El Santuario. Esta situación demuestra que, incluso dentro de un mismo país, las condiciones edafoclimáticas, el acceso al conocimiento y la inversión pueden marcar diferencias significativas.

» Uno de los principales retos para el fortalecimiento del cultivo de zanahoria en Colombia está en la articulación de una política productiva territorial que permita optimizar las prácticas agrícolas, mejorar el acceso a infraestructura y fomentar la adopción de tecnologías limpias y sostenibles. Igualmente, es imperativo avanzar hacia una mejor caracterización del mercado interno y externo, para identificar oportunidades reales de exportación con base en estándares de calidad, inocuidad y certificación.



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez



Para no olvidar...

- La dinámica de rendimiento de la zanahoria se ha incrementado en los años 2013-2022, pasando de 26,61 a 27,79 t/ha aproximadamente (figura 1.1), lo cual explica el incremento en el volumen de producción global, aun cuando se ha disminuido levemente el área sembrada total (FAOSTAT, 2023).

- China es el principal productor, con una producción de 18,8 millones de toneladas en una superficie de 410.242 hectáreas, lo que representa el 44,44 % del total global.

- Colombia (291.279 t) es el tercer país productor de América Latina, después de México (348.899t) y Argentina (300.282 t) (FAO 2022), y está en el puesto 27 a nivel mundial, con 10.339 ha cultivadas y un rendimiento promedio de 28,2 t/ha.

- En Colombia, la producción de zanahoria se concentra principalmente en 16 departamentos, siendo Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Nariño y Norte de Santander los principales productores.

Referencias

Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT]. (2023). *Cultivos y producción de ganadería*. FAO.

ChileBio. (2025, octubre 2). *Una alianza europea apuesta por la edición génica para proteger la producción mundial de zanahorias*. https://chilebio.cl/2025/10/02/una-alianza-europea-apuesta-por-la-edicion-genica-para-proteger-la-produccion-mundial-de-zanahorias/

Global Growth Insights. (2025). *Tamaño del mercado de zanahorias, participación, crecimiento y análisis de la industria, por tipos (frescas, congeladas), por aplicaciones (fuera de línea, en línea) e información regional y pronóstico para 2035*. https://www.globalgrowthinsights.com/es/market-reports/carrot-market-102666

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2013). *Antioquia tiene primeros productores de Zanahoria en el país certificados en buenas prácticas agrícolas.* https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/2013/antioquia-tiene-primeros-productores-de-zanahoria

International Trade Centre [ITC]. (2024a). *Lista de los exportadores para el producto 070610 - Zanahorias y nabos, frescos o refrigerados (exc. remolachas para ensalada): exportaciones mundiales por país, valores en USD, series de tiempo anuales*.

International Trade Centre [ITC]. (2024b). *Lista de los importadores para el producto 070610 - Zanahorias y nabos, frescos o refrigerados (exc. remolachas para ensalada): importaciones mundiales por país, valores en USD, series de tiempo anuales*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA 2021.* https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2021.aspx

Ortiz Flórez, S. A. (2023). *Contexto de cadena hortalizas - Zanahoria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37955/Ver_Documento_37955.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Paparella, A., Kongala, P. R., Serio, A., Rossi, C., Shaltiel-Harpaza, L., Husaini, A. M., & Ibdah, M. (2024). Challenges and opportunities in the sustainable improvement of carrot production. *Plants*, *13*(15), 2092. https://doi.org/10.3390/plants13152092

Treid. (2023). *Cifras importadas y exportadas en Colombia de zanahorias, entre enero de 2022 y abril de 2023*. https://www.treid.co/post/cifras-importadas-y-exportadas-en-colombia-de-zanahorias-entre-enero-de-2022-y-abril-de-2023

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA 2021.* https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2021.aspx

" Zanahoria sin lavado "

" Zanahoria con lavado mecánico "

" Zanahoria con desinfección "



Título

Rastros invisibles

Técnica

Microscopía de barrido con agrupación de imágenes del detector de electrones secundarios y del detector de electrones retrodispersados, con coloreado digital.

Autoría

Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez
Nydia Yadira Arias Morales
Colorización y diseño: Jaime Wilches

Descripción

- Peridermis de zanahoria cuya superficie presenta microfisuras naturales sin daños (zanahoria sin lavado), así como grietas normales en la raíz.

- Peridermis con microabrasión profunda derivada del lavado con cepillos, lonas o costales (zanahoria con lavado mecánico), provocando un raspado evidente con microfisuras mayores que eliminan capas protectoras y dejan la peridermis más expuesta a patógenos y plagas poscosecha.

- Peridermis con alteraciones químicas y físicas en la superficie después del lavado con cloro disuelto en agua (zanahoria con desinfección), acentuando la profundidad del raspado y degradando los tejidos superficiales.

Capítulo II

Situación del sistema de producción de zanahoria en el Oriente antioqueño

Germán Franco
Luz Mary Quintero Vásquez
Paola Andrea Hormaza Martínez

Introducción

La zanahoria es la tercera hortaliza más consumida en Colombia después del tomate y la cebolla de bulbo (Universidad Nacional de Colombia et al., 2020), se produce en 96 municipios de 11 departamentos, siendo los principales productores en área sembrada Cundinamarca (32 %), Boyacá (30,52 %) y Antioquia (18 %) (UPRA, 2023).

Según Alessandro (2013), esta hortaliza se caracteriza por presentar carotenoides del tipo α-caroteno y ß-carotenos, compuestos con propiedades antioxidantes y precursores de la vitamina A o provitamina A. La zanahoria también aporta vitaminas B, C y E, minerales y compuestos antioxidantes, y su valor calórico es bajo (33 kcal/100 g). Por eso, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otras investigaciones (Torres, 2016; *La Vanguardia*, 2022) le atribuyen múltiples beneficios para la salud, entre ellos propiedades para prevenir el cáncer de seno y otro tipo de tumores, razón por la cual recomiendan su consumo y la consideran prioritaria en la dieta. Complementario a esto, sus contenidos de sólidos totales y azúcares influyen en las propiedades organolépticas de la zanahoria destinada al consumo en fresco. Además, dichos contenidos son de interés para procesos industriales, ya que estos compuestos afectan el rendimiento, el sabor y la calidad del producto procesado (Alessandro, 2013).

Por otra parte, dentro del sistema productivo, el cultivo es desarrollado por pequeños productores de carácter familiar como productores comerciales en mediana y gran escala. Estas categorías se diferencian por el tamaño del área destinada a la producción, volúmenes de producción, tecnología en la producción y su



Foto: Carolina Ortiz

mercado. Como toda producción agrícola, este cultivo presenta desafíos en cuanto a la optimización de la cadena de valor e inocuidad de sus productos. Sumado a esto y desde una perspectiva ambiental, el sistema productivo busca mitigar los posibles efectos negativos que se puedan generar sobre los ecosistemas en los que se desarrolla, alineándose progresivamente con las estrategias regionales y nacionales orientadas a la sostenibilidad agrícola, el fortalecimiento de la bioeconomía y la agregación de valor, presentes en los planes de desarrollo departamentales y en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. En este sentido, el cultivo avanza para convertirse en un sistema amigable con el medio ambiente, que busca equilibrar la conservación ambiental con la sostenibilidad, la productividad y la rentabilidad para los productores. Asimismo, el cultivo presenta alto potencial en la transformación industrial y cosmética, lo que genera perspectivas interesantes de diversificación del ingreso para el mejoramiento de la calidad de vida de los productores.

El presente capítulo describe los sistemas productivos de zanahoria que se encuentran en el Oriente antioqueño, mostrando sus modelos productivos, manejo agronómico, limitaciones y potencialidades, y comparando el cultivo con las expectativas y demandas nacionales y mundiales, para brindar un conocimiento inicial de estos ítems que el lector podrá ir profundizando en los demás capítulos a lo largo de toda la obra.

Principales características socioeconómicas y productivas del sistema de producción de zanahoria en el Oriente antioqueño

En el Oriente antioqueño, los municipios de El Santuario, La Unión y Marinilla son los principales productores de zanahoria, con un área cosechada de 1.451 ha, una producción de 49.100 t y una población estimada de 788 pequeños productores, quienes disponen de un área sembrada que fluctúa entre 0,9 y 3,4 ha por productor (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2022; Gobernación de Antioquia, 2022). Estas áreas se caracterizan por tener un sistema de producción con baja tecnificación, baja en calidad del producto y generación de excedentes (25 a 30 %) (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]; Ochoa, 2015).

En el Oriente antioqueño se han determinado algunas condiciones generales de los predios con respecto a la tenencia de tierra, el sistema de producción familiar, el manejo del cultivo, la cosecha y poscosecha, la calidad de la producción, las brechas tecnológicas identificadas en los sistemas productivos del Oriente antioqueño, entre otras que se describen a continuación.

Tenencia de la tierra

En Colombia, las principales formas de tenencia de la tierra corresponden a la propiedad privada, con aproximadamente entre el 60 y el 65 % de la tierra rural y a modalidades como la aparcería (compañía) y el arrendamiento, que en conjunto abarcan entre un 5 y 7 % del total de la tierra agrícola (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2016). De manera independiente a la forma de tenencia, el tamaño y la viabilidad productiva de los predios se analizan a partir de la unidad agrícola familiar mínima (UAF)[1], entendida como una medida técnico-económica y no como un régimen de propiedad. En las zonas productoras de zanahoria estudiadas en el departamento de Antioquia, específicamente

[1] Según el artículo 38 de la Ley 160 de 1994, se definió la unidad agrícola familiar (UAF) como "la empresa básica de producción agrícola, pecuaria, acuícola o forestal cuya extensión, conforme a las condiciones agroecológicas de la zona y con tecnología adecuada, permite a la familia remunerar su trabajo y disponer de un excedente capitalizable que coadyuve a la formación de su patrimonio".

en los municipios de Marinilla y El Santuario, la UAF mínima se estima en 13,74 ha y máxima de 15,27 ha, considerando el uso agrícola del suelo para la producción de zanahoria. En las regiones estudiadas predomina la tenencia de la tierra bajo la modalidad de propiedad (47 %), seguida del arrendamiento o alquiler (43 %) y la aparcería o compañía[2] (10 %) (Quintero & Franco, 2023). De manera independiente a la forma de tenencia, los sistemas productivos de zanahoria se caracterizan por la implementación de siembras escalonadas, con el fin de garantizar una oferta continua del producto a lo largo del año.

Sistema de producción familiar

El cultivo de zanahoria es un sistema de producción asociado a la agricultura familiar, que presenta una participación femenina del 69 %. De este grupo, el 25 % participa en la mayoría de las tareas agrícolas, excluyendo la fumigación, mientras que el 44 % colabora en actividades de mantenimiento de cultivos de rotación, como papa, habichuela, fríjol, cilantro y otras hortalizas.

El área modal de los lotes de cultivo es de 400 m^2 y la edad promedio de los productores es de 39 años (Quintero & Franco, 2023). Además, los productores carecen de asistencia técnica formal; en algunos casos, reciben apoyo parcial por parte de las casas comerciales y los almacenes agropecuarios, que realizan visitas a las fincas y aprovechan para ofrecer y vender los insumos agrícolas necesarios.

Manejo del cultivo

De acuerdo con Quintero y Franco (2023), la siembra de la zanahoria presenta las características observadas en la tabla 2.1, donde se muestra la disposición espacial del cultivo según la topografía del lote, realizada por los agricultores. La siembra se realiza de forma transversal a la era, para evitar la erosión ocasionada por el agua de lluvia o de riego, la cual se desplaza rápidamente arrastrando suelo por escorrentía. Las dimensiones están dentro de los parámetros convencionales para la siembra del cultivo con camas de unos 30 cm de altura, de 1 a 1,2 m de ancho, y distancia entre camas de 40 a 45 cm (Mejía & Lobo, 1983; Lardizábal, 2013). Sin embargo, en la zona de estudio también se presenta diferencia en la distancia de siembra entre las plantas y los surcos, siendo los parámetros identificados: 80 x 20 cm, 50 x 10 cm, 20 x 5 cm, 15 x 5 cm, 5 x 5 cm, entre otros (tabla 2.1). Además, en algunos predios se observa la pérdida del primer horizonte del suelo por el laboreo con tractor y escaso uso de prácticas de conservación de suelos de ladera (figura 2.1).

[2] La aparcería o compañía se define como el acuerdo que ocurre entre dos personas a través de un contrato verbal o escrito que usufructúan un terreno, con el fin de repartirse entre sí los frutos o utilidades que resulten de la explotación de este (Ley 6 de 1975). En el acuerdo, el productor aporta la mano de obra y el terreno, y la otra persona aporta los insumos y el efectivo requerido para la producción del cultivo.

Tabla 2.1. Características espaciales de las plantaciones de zanahoria

Distancia entre plantas y surcos (cm)	Frecuencia (%)	Distancia entre camas (cm)	Frecuencia (%)	Ancho de las camas (m)	Frecuencia (%)	Alto de la cama (cm)	Frecuencia (%)
10 x 10	65	15-24	40	1-1,2	56	10-19	41
10 x 5	3	25-34	19	1,2-1,4	29	20-30	59
15 x 10	3	35-44	27	1,4-1,6	11		
15 x 5	12	45-54	13	0,8-1	4		

Fuente: Elaboración propia con base en entrevistas a productores (2023)



Figura 2.1. Suelos de ladera con pérdida del primer horizonte.

Foto: Germán Franco

Por otra parte, los materiales de siembra de zanahoria más utilizados en la zona son Extremo y Bangor, con una frecuencia del 91 %. Los agricultores siembran materiales recomendados por las casas comerciales y, dependiendo de la oferta que dispongan para la zona, pueden sembrar un solo material (66 %) o ambos (29 %) (Quintero & Franco, 2023).

En cuanto a la rotación de cultivos, de acuerdo con Quintero y Franco (2023), el 94,3 % de los productores implementan esta práctica con 11 cultivos, entre ellos papa, arveja, lechuga, cilantro y repollo, que representan el 74 % de los más utilizados. Por su parte, el 10 % de los agricultores no realiza rotación de cultivos, lo que indica que siembran zanahoria de manera continua, pero en terrenos diferentes dedicados exclusivamente a este cultivo. Dicha situación se presenta generalmente cuando los productores acceden a los lotes mediante arrendamiento o en compañía con otros productores. Esta diferenciación es relevante, ya que permite identificar claramente los patrones de manejo agrícola en el sistema de producción de zanahoria y las implicaciones de la siembra continua frente a la diversificación mediante rotación o cambio de lotes. De los productores de zanahoria, el 89 % cultiva zanahoria durante todo el año.

A pesar de la relevancia para el manejo eficiente del cultivo, prácticas como el análisis de suelos son realizadas solo por el 2 % de los productores. Esta es una situación que requiere acompañamiento, pues la fertilización del cultivo empleada actualmente podría estar ocasionando problemas de desbalances nutricionales en el suelo y disminuciones en la productividad y calidad del producto.

Plagas y enfermedades

Entre las principales plagas que afectan a la zanahoria en el Oriente antioqueño se encuentran las larvas o gusanos de polillas como *Spodoptera* sp. (Lepidoptera), que actúan como comedores de hoja (figura 2.2a); los áfidos que son chupadores de sabia, como *Myzus persicae* (Hemiptera) (figura 2.2b); los trips (*Thrips* sp.) o piojillos, que son raspadores y chupadores (Thysanoptera) (figura 2.2c), y las babosas, moluscos (Gasteropoda) que pueden actuar como defoliadores o afectar la raíz principal (figura 2.2d). Estas plagas son reportadas por el 89 % de los productores en sus cultivos de zanahoria, que indican su alta incidencia en la región.

Los demás insectos y artrópodos plaga asociados al cultivo de zanahoria podrán observarse en el capítulo X, relacionado con la identificación y el manejo integrado de plagas. En cuanto a los nematodos (figuras 2.2e y 2.2f), el 47 % de los productores reconocen que son los parásitos de las plantas más limitantes en el cultivo de zanahoria, debido a los daños en el producto comercializable y la dificultad en su manejo, pues no existen productos con registro ICA para su control. Con respecto a las enfermedades, la alternaria es la enfermedad con un mayor porcentaje de mención, con el 34 % en la zona de estudio (Quintero & Franco, 2023). En el capítulo IX se encuentra mayor información sobre las enfermedades y estrategias de manejo.



Figura 2.2. Algunas plagas de la zanahoria. a. Lepidoptera; b. Hemiptera; c. Thysanoptera; d. Gasterópoda; e. Nematodos del género *Pratylenchus* spp.; f. Nematodos del género *Meloidogyne* spp.

Fotos: Carolina Ortiz y Mario Mesa

Culturalmente, entre el 75 y el 94 % de los productores de zanahoria de la zona de estudio realizan aplicaciones de agroquímicos cada semana, sin la realización del censo fitosanitario previo, lo cual dificulta determinar la presencia de estos problemas en el cultivo. Lo anterior conlleva el uso preventivo e indiscriminado de agroquímicos, debido a la creencia de que la fumigación se hace para prevenir (según recomendación de casas comerciales), ya que si se espera a que aparezca la plaga o enfermedad, es muy difícil de controlar y el cultivo se perderá. Esta percepción refleja una dependencia del manejo químico preventivo, sin respaldo en diagnósticos fitosanitarios, lo cual se evidencia como una oportunidad para introducir esquemas de manejo integrado de plagas (MIP) basados en el monitoreo sistemático y la aplicación de agroquímicos cuando los umbrales económicos de daño se presentan. De esta forma, la disminución en el uso de productos químicos, basada en decisiones técnicas, permitirá disminuir sus aplicaciones y se obtendrá un producto inocuo sin presencia de ingredientes activos no autorizados o mal empleados, lo que reduce la contaminación y contribuye a obtener mejores ganancias.

De esta forma, para el control de las plagas y enfermedades, es recomendable que los productores utilicen agroquímicos con moléculas registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para su uso en el cultivo. En la región estudiada, solo una de las 23 moléculas usadas para control de plagas y siete de las 22 moléculas usadas para el control de enfermedades cuentan con registro ICA para uso en el cultivo de zanahoria (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2022). Esto es preocupante por el uso de productos no autorizados, lo cual conlleva la revisión para el registro de otros productos o alternativas que se pudieran utilizar en este cultivo. En cuanto a las pérdidas que pueden ocasionar los problemas fitosanitarios, el 47 % de los productores indican que se puede llegar a perder entre un 90 y un 100 % de la producción por ataque de insectos plaga y 36 % por las enfermedades en caso de no practicar los controles que realizan. Para el control de plagas y de enfermedades, los productores utilizan en un 54 % pesticidas categoría III (ligeramente peligroso) y 39 % categoría II (moderadamente peligroso) (Quintero & Franco, 2023).

De otra parte, el uso de herramientas agrícolas es indispensable en la producción de zanahoria, cuya desinfección evita la proliferación de insectos y enfermedades plaga que pueden ser diseminadas por el productor en la rutina diaria, y que puede llegar a afectar la inocuidad del producto final. El estudio muestra que solamente el 10 % de los productores desinfecta las herramientas de trabajo, factor que favorece la diseminación de problemas fitosanitarios como los nematodos.

Según lo expuesto, el presente estudio evidencia una confusión por parte de los productores frente a los conceptos de plaga, insectos plaga y enfermedades. También se observó que, en ocasiones, los productores les pueden dar el mismo nombre a un grupo de enfermedades. Esta información demanda la realización de estrategias de transferencia de tecnología en el manejo integrado de plagas del cultivo, teniendo en cuenta las recomendaciones de las buenas prácticas agrícolas (BPA).



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Arvenses

Para el control de arvenses, los productores emplean seis ingredientes activos, cinco con registro ICA para zanahoria (ICA, 2022). Las moléculas más utilizadas son el linurón (40 % de los casos) y la metribuzina (5 %) (PLM Colombia, 2021). En el 37 % de los casos, los productores utilizan estas dos moléculas para el manejo de las arvenses. La mayor frecuencia de aplicación de los herbicidas está entre los 20 y 29 días después de la siembra del cultivo, época en que la plantación se encuentra en el periodo crítico de competencia, estimado entre los 25 y 32 días después de la emergencia (Dotor et al., 2018). Algunos productores manifiestan que después del segundo mes de edad del cultivo no realizan manejo de arvenses y deben hacer algunos controles manuales, porque existen malezas que los herbicidas no controlan.

Cosecha y poscosecha

El 71 % de los cultivadores realizan la cosecha entre los 4 y 4,5 meses después de la siembra, pero pueden dejar la zanahoria sin recolectar hasta los cinco meses debido a factores climáticos y de comercialización.

La cosecha es manual y se puede realizar hasta tres días a la semana (32 % de los productores), y la recolección se realiza en costales de fibra en el 98 % de los casos, que pueden ser nuevos o reutilizados provenientes de fertilizantes o alimentos pecuarios, lo que puede casionar contaminación del producto (Quintero & Franco, 2023).

Los criterios para la definición del momento de la cosecha son el tamaño (33 %) y la edad después de la siembra (24 %). El 91 % de los productores no tienen acopio en las fincas debido a que entregan la cosecha el mismo día.

En cuanto a las prácticas de poscosecha, el 91 % de los cultivadores seleccionan el producto en el cultivo antes de lavarlo, para lo cual utilizan costales de diferente color e indican que es un proceso rápido; posterior al lavado, el 82 % de los productores seleccionan la zanahoria por tamaño y sin daños físicos. Finalmente, el 87 % de los productores empacan la zanahoria para comercializar en costales de fibra de colores según la calidad. Para esto, utilizan costales de color blanco o naranja para las zanahorias de mejor calidad y rojo para las zanahorias de “segundas”. En este proceso se observa el uso de empaques reutilizados (figura 2.3).



Figura 2.3. Zanahoria empacada en costales de fibra reutilizados**.**

Foto: Luz Mary Quintero

Para el lavado de la zanahoria, el 70% de los productores crean sus propias máquinas de lavado, mediante la adecuación de mezcladoras de cemento (figura 2.4), cuyo proceso generalmente se hace en zonas aledañas al cultivo. El agua utilizada para esta labor proviene de quebradas (53 %), del acueducto veredal (24 %) o pueden combinar el lavado utilizando agua del acueducto/quebrada (18 %); el resto (5 %) utiliza agua de nacimientos de la finca. El lavado de la zanahoria con máquinas operadas por electricidad presenta riesgos asociados a la distribución de los cables de la energía que consume la máquina lavadora, pues en ocasiones los cables hacen contacto con el agua, lo que puede causar corto circuito y afectar a los operarios, debido a que la mayoría realizan el lavado descalzos. Adicionalmente, se desconoce el grado de contaminación de estas aguas, lo que podría afectar la inocuidad del producto. Otra forma de lavado se hace manualmente con canecas, baldes y costales. En ninguno de los casos se observan actividades favorables para la inocuidad del producto.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas



Figura 2.4. Máquina para el lavado de la zanahoria.

Foto: Luz Mary Quintero

El lavado genera sitios fangosos y lugares de escorrentía que finalmente conducen esta agua a las fuentes hídricas, lo que puede causar problemas de contaminación (figura 2.5), ya que no se le realiza ningún tratamiento al agua de lavado antes de su vertimiento a las fuentes naturales. Además, se evidencia que los productores no usan elementos de protección personal adecuados en ninguna de las operaciones de manejo agronómico, cosecha y poscosecha.



Figura 2.5. Lavado del producto en condiciones inadecuadas.

Foto: Luz Mary Quintero

En cuanto a la comercialización, el 76 % de los productores lo hacen sobre pedido a través de intermediarios y la entrega del producto se realiza en 91 % de los casos en el lugar que estos indiquen; antes de la entrega del producto al transportador, la zanahoria puede pasar varias horas a la intemperie y sin protección.

Calidad de la producción

Los agricultores categorizan la producción de la zanahoria en "buena, regular y mala". En promedio, el 71 % de la producción se considera "buena", según la opinión del 58 % de los productores, y se comercializa en su totalidad con precios de venta que oscilan entre $30.000 y $280.000 (valores de 2023), con un valor modal de $75.000 por bulto de 45 kg. Según la oferta y la demanda del producto, así como las condiciones establecidas por los comercializadores, se observa un amplio rango de precios, lo que en ocasiones obliga al productor a no comercializar su cosecha. El 70 % de los productores califican la zanahoria como "regular", la cual representa el 20 % de la producción, cuando se logra comercializar, y su precio oscila entre $6.300 y $113.700, con un valor modal de $15.000.

Dependiendo de las condiciones del mercado, se observa una amplia brecha entre el precio del producto catalogado como bueno y el catalogado como regular, lo que genera una problemática a los productores que influye directamente sobre las ganancias del cultivo; se puede estimar que, cuando consiguen un precio elevado por este tipo de material, coincide en el mercado con baja oferta del producto. La comercialización de la zanahoria denominada "mala" es más irregular y los precios de venta del bulto de 45 kg oscilan entre $2.500 y $25.000, lo que en muchas ocasiones genera que la recolección



de este material no sea rentable. Según la información aportada por los productores, en conjunto con la caracterización de las tipologías de rechazo, los valores obtenidos son un indicativo del subproducto que se podría valorizar, lo cual puede representar entre un 15 y un 35 % de la producción total.

Al comparar el precio de la zanahoria en el mercado antioqueño entre 2011 y 2021, con promedios mensuales de $750 y $931, respectivamente, si se considera el valor presente neto, con una tasa de oportunidad del 6 %, el valor del kilogramo para el año final observado debería ser de $5.520. Esto demuestra que el precio pagado se ha reducido a través de los años, lo cual puede desincentivar nuevas siembras porque se afecta la rentabilidad de los productores.

Este comportamiento del precio indica que los productores deben contar con alternativas de comercialización distintas o adicionales al mercadeo del producto en fresco para la zanahoria de las denominadas calidad regular y mala, con el fin de reducir las diferencias de precio durante el año frente a la calidad denominada buena. En este sentido, la solución se debe enfocar hacia la obtención de productos innovadores valorizados desde la transformación, pues la zanahoria de menor calidad solo se diferencia de

la de mejor clasificación por aspectos físicos como tamaño, calibre y apariencia, mientras que su contenido fitoquímico y valor nutricional es equivalente, aspectos que se podrán ver con más detalle en los capítulos XIV y XV de la presente obra.

La valorización de los subproductos o zanahorias que no son comercializadas, o cuyo precio presenta las brechas detectadas, debe contribuir a generar otros circuitos de comercialización para garantizar un precio justo al productor, quien no debería estar influenciado por la oferta y la demanda que se observa en el mercado destinado al consumo en fresco.

Subproductos de cosecha

En este caso, se define como subproducto aquellas zanahorias que, después de la selección y clasificación en la cosecha y el lavado, el productor vende a un costo inferior al material considerado de buena calidad. Las tipologías del subproducto de zanahoria más frecuentes fueron las correspondientes a tamaño, deformes y rajadas, con un 85 %.

El destino que actualmente le dan los productores al subproducto es la comercialización como zanahorias de calidad segundas (13 %), alimentación animal (76 %) y el resto se deja en el campo, se regala o entierra. Descartando las raíces con daño fitosanitario, se podría comercializar, para agregación de valor, alrededor del 93 % de los subproductos de la zanahoria que presentan bajo o ningún valor en el mercado.

Según la información obtenida en campo, de la producción de la zanahoria considerada por los productores como “buena”, se obtiene en una cosecha el 75,5 %, siendo el resto (27,5 %) categorizada como “segunda” y” tercera”. El promedio de producción calculado para el Oriente antioqueño es de 34,5 t/ha, cifra con tendencia a la baja al compararla con los últimos registros de producción.

Con base en la cuantificación de las áreas y la producción en 2021, en el departamento de Antioquia se cosecharon 1.920 ha (Gobernación de Antioquia, 2022). Si se tiene en cuenta el rendimiento, la producción ascendería a 66.000 t, de las cuales se pueden llegar a producir hasta 9,5 t/ha de subproducto aprovechable. Esto indica que se estarían generando unas 18.000 t/año en el departamento; descontando un 5 % de producto afectado por daños fitosanitarios, resultarían 17.100 t/año de zanahoria con potencial de aprovechamiento, las cuales se podrían comercializar a un valor inferior al promedio de venta anual, pero atractivo para el productor, que se vería beneficiado con un ingreso equitativo, acortando las diferencias entre los precios por calidad. Lo anterior sugiere, como se dijo antes, la creación de nuevos circuitos de comercialización para un mercado especializado en la agregación de valor.

Brechas tecnológicas identificadas

De acuerdo con la información obtenida en campo y observación directa, se pueden mencionar las siguientes brechas identificadas en cuanto a los aspectos tecnológicos.

Producción primaria

Material de siembra: frecuentemente, los productores desconocen el nombre correcto de las semillas que siembran y de sus características.

Sistema de producción: desconocimiento o falta de actualización del sistema de producción, pues los productores conservan prácticas ancestrales y no emplean técnicas nuevas, debido a que no cuentan con un servicio de asistencia técnica permanente.

a. **Fertilización:** no conocen los niveles de fertilización requeridos por el cultivo y tampoco tienen la cultura del análisis de suelos previo a la siembra inicial o rotación de cultivos.

b. **Manejo fitosanitario:** se encuentran confusiones en la identificación de plagas, enfermedades, su sintomatología de campo y el daño que producen al cultivo.

En ocasiones, los productores no recogen los residuos de cosecha, lo cual se convierte en foco de contaminación, de enfermedades y plagas para futuras siembras.

En el manejo de agroinsumos, los agricultores no tienen claridad sobre el concepto de ingredientes activos (IA) ni de su modo de acción, y desconocen las consecuencias de su uso excesivo. También se observó el uso de productos formulados para uso veterinario en el control de problemas fitosanitarios agrícolas, lo que derivó en pérdidas económicas y contaminación ambiental y de suelos. Como se mencionó previamente, el uso de estos agroquímicos desde el calendario evidencia el desconocimiento de la interacción entre las plagas y el sistema productivo; además, se identificó que las mezclas podrían generar incompatibilidades entre los productos, disminuyendo la eficiencia en el manejo fitosanitario del cultivo.

Adicionalmente, no se emplean las buenas prácticas de conservación de suelo, ya que las labores de labranza son realizadas con maquinaria pesada en altas pendientes y en algunos lotes se observa la pérdida del primer horizonte, pues la labranza mecanizada es responsable del 28 % de la degradación de suelos por erosión, debido principalmente al uso de sistemas de labranza convencionales, los cuales pulverizan su capa arable (Mehuys et al., 2009; Gómez-Calderón et al., 2018). Esto se debe al mal uso de la capacidad del suelo, con siembras en terrenos de laderas de capacidad de uso no agrícola. Además, la labranza convencional en zonas de ladera disminuye el contenido de materia orgánica asociada a la estabilidad de los agregados del suelo (Pagliai et al., 2004) y la escorrentía superficial. Por lo anterior, no es justificable el daño estructural y las pérdidas de suelo que causan los sistemas de labranza mecánica en zonas de pendientes en pro de una mayor producción. Sumado a esto, las aguas del lavado son arrojadas a fuentes de agua sin tratamiento descontaminante.

Buenas prácticas agrícolas (BPA): desconocimiento de la BPA por parte de los productores en cuanto a las normas que deben implementar en el cultivo, en la cosecha y poscosecha para la obtención de un producto inocuo y un modelo de producción que asegure la conservación del ambiente y el bienestar de su salud. Además, no se usan los elementos de protección personal adecuados para las labores del cultivo.

a. **Cosecha y poscosecha:** en algunos cultivos no se observa el uso de calzado y se evidencia mal manejo de cargas, pues algunos productores levantan bultos con peso superior a 55 kg, lo que puede ocasionar riesgos dorsolumbares en el momento de la colocación y desplazamiento del operario, debido a la carga por la condición ergonómica inadecuada.

Inadecuadas prácticas de cosecha, en suelos compactos no se remueve con el gancho la tierra, lo que genera dificultad para arrancar la zanahoria, raíces muy largas son quebradas en el momento del arranque.

En Colombia, la comercialización de zanahoria para consumo en fresco debe cumplir con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1226 para Frutas y Hortalizas Frescas - Zanahoria, que establece los parámetros de calidad de las etapas para mercado nacional e internacional, las cuales deben estar limpias, macizas, sanas, libres de humedad exterior anormal, sin deformaciones, sin ningún nivel de deshidratación ni consistencia leñosa. El calibre mínimo de las raíces de zanahoria debe ser de 20 mm de diámetro y 60 mm de longitud. Además, la norma establece tres categorías de calidad, a saber:

» **Categoría extra:** exige buena apariencia y forma regular; no debe tener quemaduras, magulladuras, heridas ni defectos de congelación.

» **Categoría primera:** exige buena apariencia, poseer características típicas de la variedad y tener buena calidad. Se aceptan los defectos leves, siempre y cuando no afecte los requisitos mínimos de calidad.

» **Categoría segunda:** se aceptan los defectos que no afecten los requisitos mínimos de calidad, como en la forma y color, heridas cicatrizadas y quemaduras. Se encuentran en esta categoría las zanahorias que no son aptas para su inclusión en las categorías superiores.

Según el diálogo con los productores, alrededor del 27 % de la producción de la zanahoria se cataloga como de regular y mala calidad para el mercadeo, aunque su composición fitoquímica es idéntica a la zanahoria de buena calidad. En ese sentido, existen volúmenes potenciales de biomasa que pueden ser objeto de procesos innovadores de agregación de valor, situación que permitiría a los productores su comercialización y mejoraría ostensiblemente sus ingresos, además de hacer posible otras formas de consumo y uso de la zanahoria.

Aspectos socioeconómicos

La edad modal del productor en la zona de estudio es de 39 años, lo que evidencia una baja participación de población joven en el cultivo de zanahoria. Diversos estudios señalan que dicha situación está asociada a la decisión de los jóvenes rurales de continuar procesos de formación educativa orientados a profesiones no agrícolas, así como a la búsqueda de mejores oportunidades laborales fuera del sector rural, lo que a mediano y largo plazo puede derivar en la disminución del número de cultivadores y en la escasez de mano de obra agrícola (Cepal, 2025; SAC, 2025; Bloomberg Línea, 2025; Portafolio, 2025; Universitas Humanística, 2024). Se observa gran inequidad en los precios pagados al productor, con grandes diferencias entre el producto de primera y las segundas. Quintero y Franco (2023) identificaron que, en promedio, las zanahorias que se clasifican como 'buena' se comercializa en su totalidad con precios de venta que oscilan entre $30.000 y $ 280.000 por bulto de 45 kg, según la oferta y demanda del producto y las condiciones establecidas por los comercializadores. Este amplio rango de precios genera inestabilidad en los ingresos y, en algunos casos, desincentiva la comercialización de la cosecha por parte del productor. En este contexto, una mayor integración vertical en la cadena de comercialización, que incluya estrategias como la transformación, el acopio asociativo, la venta directa y posible exportación, podría contribuir a reducir la dependencia de intermediarios, mejorar la estabilidad de precios y fortalecer la rentabilidad del productor.

En el caso de la zanahoria denominada como "regular", cuando se comercializa, los precios (bulto de 45 kg) oscilan entre $6.300 y $113.700, dependiendo de las condiciones del mercado.

Para la zanahoria denominada como mala, su comercialización es más irregular y los precios de venta del bulto de 45 kg oscilan entre $2.500 y $25.000, por lo que en muchas ocasiones no es rentable la recolección de este material.

Recomendaciones para la solución de brechas tecnológicas

Ante la situación tecnológica observada, se hace necesario actualizar el modelo tecnológico de la zanahoria para las condiciones del Oriente antioqueño, a través del adelanto de procesos de I+D+i, para tecnificar y agregar valor en todos los eslabones de la cadena de producción.

Se requiere implementar proyectos integrales orientados al cultivo de zanahoria, con el objetivo de generar soluciones específicas a problemáticas como el manejo de suelos en laderas, la reducción de enfermedades, la optimización de la fertilización y la rotación de cultivos. Estas acciones buscan mejorar la eficiencia productiva, la calidad del producto y la sostenibilidad del sistema de cultivo.

En particular, se propone:

1. Asistencia técnica permanente con enfoque en buenas prácticas agrícolas (BPA): ejecutada por las Umata, el ICA y AGROSAVIA, mediante visitas periódicas a finca, talleres y seguimiento por ciclo productivo, adaptando las prácticas a la tenencia y tamaño del predio para garantizar su aplicabilidad.

2. Transferencia de tecnologías específicas para zanahoria: promovida a través de parcelas demostrativas, capacitaciones modulares y plataformas de conocimiento digital.

3. Investigación participativa en I+D+i: orientada a identificar y solucionar brechas productivas, como manejo de suelos, con la participación de productores, investigadores y universidades, asegurando que las innovaciones sean tecnológicamente viables y socialmente aceptables.

4. También es necesario generar y transferir sistemas de identificación y manejo integrado de insectos plagas y enfermedades, con el fin de que los productores adquieran competencias en su reconocimiento y manejo integral, de forma que se articulen diferentes estrategias de control y uso apropiado de insumos, con el fin de evitar problemas de resistencia de los fitopatógenos y contaminación del producto.

5. Formación práctica en escuelas de oficios o programas de capacitación especializados: con enfoque en jóvenes y productores, para fortalecer competencias técnicas, fomentar el relevo generacional y facilitar la apropiación tecnológica.

6. Fomento a la asociatividad y cooperación entre productores: para optimizar el acceso a insumos, tecnología, mercados y servicios de extensión, lo que es especialmente relevante para predios pequeños o arrendados, y que contribuye a la adopción efectiva de BPA y tecnologías.

7. En conjunto, estas estrategias apuntan a promover innovación adaptada a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas locales, cerrar la brecha entre los rendimientos locales y los promedios internacionales, y generar productos de valor agregado para la comercialización y exportación, favoreciendo la sostenibilidad del cultivo de zanahoria y el fortalecimiento de las capacidades locales.

Para el correcto lavado de las raíces, se recomienda disponer la zanahoria en un acopio con el siguiente flujo: ingreso del producto sucio, zona de lavado con reutilización del agua, desinfección, selección y clasificación del producto, y disposición del producto final en empaques según la norma técnica vigente. Este proceso mejora la ergonomía del operario, minimiza descargas de agua contaminada al suelo y fuentes hídricas, mejora la higiene y disminuye las posibilidades de rechazo del producto en el mercado.

De otra parte, la situación actual del manejo de los pesticidas amerita una revisión profunda para el registro de moléculas nuevas, con ingredientes activos de menor toxicidad preferiblemente, que se puedan utilizar en este cultivo, así como su uso correcto y racional, apoyado en los umbrales de daño de las plagas y las enfermedades. En Colombia, la implementación y supervisión de estas estrategias requiere la participación de entidades reguladoras y de apoyo técnico, como la Agencia de Desarrollo Rural, las Umata y el ICA, que garantizan el cumplimiento de normas, facilitan asistencia técnica y promueven la adopción de BPA. Estas buscan generar normas y recomendaciones técnicas aplicables a los sistemas de producción agropecuarios, con el fin de reducir los peligros químicos, físicos y microbiológicos. Otras agencias, como el Invima, monitorean los residuos de plaguicidas en alimentos para asegurar que no excedan los límites permisibles y proteger la salud pública, de acuerdo con estándares nacionales e internacionales. Además, entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y las autoridades ambientales regionales deben tomar acciones sobre el manejo, tratamiento y disposición adecuada del agua utilizada para el lavado de la zanahoria antes de su vertimiento, al igual que el adecuado manejo de los desechos agrícolas.

Asimismo, las casas comerciales y los intermediarios tienen la responsabilidad de apoyar a los productores mediante condiciones de compra justas, acompañamiento en la comercialización y cumplimiento de acuerdos de calidad fundamentados en la inocuidad, contribuyendo a que la tecnificación y la innovación se traduzcan en beneficios económicos y sostenibles para los agricultores. Esto implica proporcionar la información científica necesaria para la evaluación de seguridad, desarrollar y registrar productos menos peligrosos para el ambiente y la salud, y ofrecer capacitación técnica a los agricultores sobre el uso apropiado de sus insumos.

Para el consumo en fresco de esta hortaliza, es importante reconsiderar su definición sobre el aspecto estético y subjetivo, así como valorar la calidad interna, siempre y cuando el producto esté completamente sano, para lo cual también se debe realizar pedagogía al consumidor. La priorización de la estética sobre la calidad incrementa las pérdidas de producto, en el cual también se debe incluir la tierra, el trabajo de los agricultores y el combustible para el transporte (FAO, 2018).

Por esto, es fundamental realizar estudios tendientes a valorizar los subproductos de la zanahoria, con el fin de presentar nuevas alternativas de comercialización para mejorar los ingresos de los productores y hacer más atractivo el agronegocio, al igual que sobre la promoción del consumo de zanahoria con defectos estéticos pero sanas, parafraseando la recomendación de la FAO (2018): “Hazle un hueco en tu corazón a las zanahorias feas, para que llenen estómagos y no los vertederos”.

Con las posibilidades de agregación de valor de la zanahoria se estaría contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Algunas alternativas relacionadas con este aspecto serán abordadas en los capítulos XIV y XV de la presente obra.

Sistema modal[3] de producción de zanahoria de los agricultores en el Oriente antioqueño

Para futuros trabajos de investigación, se puede plantear como testigo el sistema modal de producción (tecnología local de producción [TLP] o línea base) empleado por los agricultores del Oriente antioqueño.

Condiciones biofísicas

Condiciones ecológicas: zonas del Oriente antioqueño con temperaturas entre 16 y 20 °C, precipitaciones desde los 1.000 a 4.000 mm/año. Las temporadas de lluvias son en abril-mayo y octubre-noviembre, y las épocas de tiempo seco entre enero-marzo y julio-septiembre, con franja altitudinal comprendida entre 2.000 y 2.200 m s. n. m.[4].

a. **Tenencia de la tierra:** en las zonas productoras de zanahoria en los municipios de Marinilla y El Santuario, la UAF mínima es de 13,74 ha y la máxima es de 15,27 ha, donde está considerado el uso agrícola del suelo. En estas regiones predomina la forma de tenencia de la tierra de tipo propia, alquiler y en compañía. Sin embargo, para optimizar las ganancias y reducir el riesgo de pérdidas en las producciones agrícolas de los pequeños productores, es recomendable la tenencia de tierra en compañía.

b. **Sistema de producción:** el sistema de producción de la zanahoria observado en la zona es principalmente familiar, con participación central del padre y la madre de familia, lo cual es característico de la agricultura campesina en Colombia. Sin embargo, para garantizar la viabilidad económica y la sostenibilidad del cultivo, este sistema requiere evolucionar hacia una visión empresarial y profesional del campo, incorporando a los jóvenes rurales como agentes dinamizadores del desarrollo local. Estudios recientes muestran que fortalecer las competencias técnicas y empresariales de los jóvenes rurales contribuye a su permanencia en el campo y al desarrollo económico de las comunidades (ICA, 2021). En este sentido, iniciativas como el Programa Jóvenes Rurales del Ministerio de Agricultura buscan desarrollar capacidades técnicas y empresariales, generando oportunidades de empleo e ingreso en los territorios rurales, y promoviendo la adopción de prácticas productivas sostenibles (MADR, 2025a). Además, acciones de innovación productiva e inclusión, que combinan financiamiento, acompañamiento institucional y acceso a mercados, permiten que los jóvenes vean en el campo no solo una actividad familiar, sino una empresa rural con potencial de crecimiento (OPSA, 2025a). Además, la formación técnica y práctica, como la ofrecida en el programa Técnicos Laborales Agropecuarios, proporciona herramientas que permiten a los jóvenes convertirse en líderes productivos y comunitarios, capaces de implementar las BPA, gestionar asociaciones de productores y generar productos de valor agregado, fortaleciendo así la sostenibilidad y competitividad del sistema productivo de zanahoria (MADR, 2025b).

---

[3] Un sistema modal es sinónimo de la tecnología local de producción, es decir, el manejo agronómico que realiza el agricultor en la zona donde se hizo el estudio.

[4] Dado en las condiciones actuales del estudio.

Producción primaria

a. **Análisis de suelos:** se identificó que los productores de Marinilla y El Santuario no realizan análisis de suelo. Se recomienda realizar cada uno o dos años el análisis de suelo, con el fin de conocer los nutrientes del suelo a cultivar, lo cual conlleva el ahorro de dinero en abonos o fertilizantes y protección del medio ambiente, gracias a la disminución de pesticidas.

b. **Material de siembra:** los materiales de zanahoria sembrado por los productores del Oriente antioqueño son híbrido Extremo y Bangor. Los productores siembran lo que las casas comerciales ofrecen.

c. **Insectos plaga:** lepidópteros principalmente de la familia Noctuidae, insectos chupadores entre los que se encuentran áfidos (familia Aphididae), mosca blanca (familia Aleyrodidae) y escamas (familia Pseudococcidae). Otras plagas son los trips (familia Thripidae) y algunos moluscos como las babosas. Generalmente, los productores recurren al control con aplicaciones tipo calendario de insecticidas de síntesis química, llegando a utilizar hasta 21 moléculas diferentes.

d. **Enfermedades:** la enfermedad más frecuente en los cultivos de zanahoria en el Oriente de Antioquia es conocida como agallas o nudos radicales producidos por los nematodos del género *Meloidogyne* spp., seguida por la gota o alternaria producida por el hongo *Alternaria dauci.* En la actualidad, para el manejo de nematodos y de los hongos, los productores aplican tipo calendario (cada 7-8 días) alrededor de 22 moléculas de agroquímicos. Se recomienda realizar monitoreo semanal del cultivo extrayendo en zigzag en el lote algunas zanahorias, desde el primer mes después de la siembra hasta el tercer mes, para registrar la presencia de síntomas como agallas o nódulos característicos de los nematodos mencionados; además, se recomienda aprovechar la extracción para observar otros síntomas característicos producidos por hongos en la raíz o por bacterias. También se considera importante realizar el monitoreo periódico en las hojas para determinar presencia de síntomas característicos de hongos, como son las manchas de color marrón. La rotación de cultivos más frecuente que realizan los productores es papa, arveja, lechuga y repollo, en orden de importancia. Se considera relevante la desinfección de herramientas, el calzado y el lavado de manos con abundante agua y jabón, para evitar la diseminación de los patógenos causantes de enfermedades.

e. **Manejo de malezas:** para el control de malezas, los productores realizan la aplicación de herbicidas sistémicos con ingrediente activo basado en Linurón o Metribuzina, entre los 20 y 29 días después de la siembra del cultivo. Previo al inicio de la cosecha, los productores suspenden el control de malezas.

Se puede concluir que los productores de zanahoria del Oriente antioqueño no implementan las buenas prácticas agrícolas, tal vez debido a que las prácticas culturales que realizan son por tradición familiar o por sugerencia de técnicos de casas comerciales. Por lo anterior, es necesario llevar asistencia técnica y servicio de extensión con base en los desarrollos de investigación, que conlleven sistemas productivos rentables y sostenibles social, económica y ambientalmente.

Cosecha y poscosecha

La cosecha se determina según la edad del cultivo después de la siembra, la cual varía entre 4 y 4,5 meses o el tamaño de la zanahoria, y se realiza tres días por semana en costales de fibra nuevos o reutilizados. El producto se selecciona en dos momentos: durante la cosecha y en el lavado. Luego, el lavado de la zanahoria se hace de forma manual en pocetas, quebradas y con máquinas adaptadas por el productor (figuras 2.4 y 2.5). El agua utilizada puede ser de quebrada o del acueducto veredal. El productor debe considerar la implementación de modelos de economía circular por medio del reúso y recirculación de aguas tratadas, lo que contribuirá a disminuir presión en las fuentes de agua y erosión del suelo por escorrentía. Por otra parte, dentro del manejo de poscosecha, el 99 % de los productores requieren acopio para el producto.

Comercialización

En los dos municipios de estudio se tiene la modalidad de producción en compañía, en la que una de las partes se encarga de la siembra y la otra, de la comercialización; así mismo, se dan las ventas con intermediarios y se hace la solicitud de cantidades de zanahoria sobre pedidos. Finalmente, se entrega el producto en el lugar indicado por el comprador.

Para la comercialización, el empaque de venta utilizado son los costales de fibra blancos o anaranjados para las zanahorias de mejor calidad y rojos para las zanahorias de segunda calidad.

Calidad de la producción

De acuerdo con lo caracterizado en los productores, el 71 % de la producción es considerada de buena calidad, el resto está categorizada como de regular calidad y mala calidad. En ocasiones, no es rentable cosechar la zanahoria denominada de mala calidad. Estas dos últimas calidades son consideradas el subproducto en el sistema de producción de la zanahoria, las cuales son clasificadas de acuerdo con las siguientes tipologías: tamaño, deformes, bifurcadas, daño sanitario, color (aparición de color verde o morada en los hombros de la raíz), partidas y rajadas. El destino de los subproductos, además de la venta de segunda, es usado para la alimentación animal, se regala o se entierra.



Para no olvidar...

» El sistema productivo en el Oriente antioqueño es de tipo familiar, con pequeños agricultores que siembran entre 0,9 y 3,4 ha, con poca asistencia técnica y baja tecnificación, lo que genera oportunidades de ampliación en la productividad y sostenibilidad.

» El manejo agronómico es tradicional, con prácticas agronómicas heterogéneas, variabilidad en distancias de siembra, uso de semillas diferentes y pocos esquemas de fertilización basados en análisis de suelos.



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

» Las principales plagas presentes son lepidópteros, áfidos, trips y babosas, y las enfermedades más comunes son causadas por Alternaria dauci. Se propone el manejo basado en censos fitosanitarios, diagnóstico previo, uso y rotación de productos con ingredientes activos (IA) adecuados, evitando las aplicaciones calendario.

» La cosecha es manual, sin criterios técnicos homogéneos, donde el 71 % de los productores cosecha entre los 4 y 4,5 meses según tamaño o edad del cultivo. El producto se recoge en costales reutilizados que pueden contaminar la zanahoria.



» El cultivo de zanahoria es estratégico para el desarrollo del Oriente antioqueño, fomentando la innovación agroindustrial y mejorando la cadena de valor.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» La estructuración de un modelo técnico de producción, acompañada de estrategias de apropiación social de conocimiento, es prioritaria para el desarrollo tecnológico del sector, así como el fortalecimiento de las capacidades agronómicas del productor, la promoción del uso racional de insumos y la reducción de la dependencia de las casas comerciales.

» El desconocimiento en el manejo fitosanitario representa un riesgo sanitario tanto para la inocuidad del producto como para la salud del productor y el ambiente, debido al uso de productos no autorizados y prácticas inadecuadas.

» Es estratégico para la comercialización nacional e internacional concientizar a los productores y consumidores sobre el uso de las BPA en el sistema productivo, pues el uso de prácticas tradicionales sin actualización compromete la sostenibilidad del sistema productivo y limita el acceso a mercados que exigen estándares mínimos de calidad e inocuidad.

» Es importante realizar estrategias de capacitación para los productores orientadas a comprender la importancia de la inocuidad en cada una de las etapas del sistema productivo de la zanahoria. Estas acciones deben resaltar no solo los beneficios que implica garantizar un producto sano y seguro para el consumidor, sino también las consecuencias que puede acarrear su ausencia, tales como la pérdida de mercados, riesgos para la salud pública y afectaciones económicas para el productor.

» La apropiación del cultivo por parte de jóvenes rurales como relevo generacional es importante para la continuidad, el desarrollo tecnológico y la modernización del cultivo. Por eso, es urgente generar estrategias de mejoramiento de la percepción social y permanencia de esta población en el sector.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los productores de zanahoria de los municipios de El Santuario y Marinilla (Antioquia), que amablemente nos recibieron en sus fincas y suministraron la información sobre sus cultivos. A los profesionales de apoyo a la investigación de AGROSAVIA Carolina Ortiz y Lucas Cano, y al Fondo de CTi SGRdel departamento de Antioquia, por la cofinanciación de esta actividad en el proyecto “Fortalecimiento de la cadena productiva de la zanahoria mediante la creación de prototipos de productos innovadores en el Oriente del departamento de Antioquia”.

Referencias

Alessandro, M. (2013). Características botánicas y tipos varietales. En *Manual de Producción de Zanahoria* (pp. 27-46). INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_cap_2__caractersticas_botnicas_y_tipos_varieta.pdf

AtlasBig. (2021). *Producción mundial de zanahorias y nabos por país*. https://www.atlasbig.com/es-es/paises-por-produccion-de-zanahoria-nabo

Cardona, A. (2018). *La producción estimada de la zanahoria alcanzó récord nacional en el último año*. https://www.agronegocios.co/agricultura/cual-es-la-produccion-de-zanahoria-en-colombia-2756359

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2016). *Pectia: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector agropecuario colombiano (2017-2027)*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/12759

Dotor, M. Y., González Mendoza, L. A., & Morillo, A. C. (2018). Periodo crítico de competencia de la zanahoria (*Daucus carota* L.) y malezas asociadas al cultivo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 5. https://doi.org/10.22267/rcia.183501.78

Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT]. (2022). *Cultivos y productos de ganadería* [Conjunto de datos]. FAO. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce]. (2016). *Estadísticas Fenalce. Área, producción y rendimiento de los cultivos cereales y leguminosas*. https://bit.ly/3bH9Csz

Gobernación de Antioquia. (2022). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario Departamento de Antioquia 2021*.

Gómez-Calderón, N., Villagra-Mendoza, K., & Solórzano-Quintana, M. (2018). Soil tillage and its impact on soil conservation. *Revista Tecnología en Marcha*, *31*(1), 167-177. https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3506

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2022). *Registros nacionales de plaguicidas*. https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/publicacion-bd_rn-rf_-31-mar-2022-1.aspx

La Vanguardia. (2022). Zanahoria: propiedades, valor nutricional, beneficios y qué tener en cuenta a la hora de comprarla. https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20180918/451854795056/zanahoria-beneficios-propiedades-valor-nutricional.html

Lardizábal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria.* United States Agency for International Development (Usaid). https://dicta.gob.hn/files/2013,-Produccion-de-zanahoria,-G.pdf

Mehuys, G. R., Tiessen, K. H., Villatoro, M., Sancho, F., & Lobb, D. A. (2009). Erosión por labranza con arado de disco en suelos volcánicos de ladera en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *33*(2), 205-215. https://www.redalyc.org/pdf/436/43613279006.pdf

Mejía, V., & Lobo, M. (1983). *Zanahoria*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13381

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2022). *Evaluaciones agropecuarias municipales EVA*. https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=59

Ministerio de Agroindustria Argentina. (2017). *Perfil del mercado de zanahoria*. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/hortalizas/_archivos/000030_Informes/000996_Perfil%20del%20Mercado%20de%20Zanahoria%202017.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluaciones agropecuarias municipales EVA*. https://upra.gov.co/es-co/Paginas/eva_2023.aspx

Ochoa, D. (2015). *Creación y aplicación de sistema de planificación de siembra de cultivos*. Agrosano Ltda.; Corporación Universitaria Lasallista.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *La belleza (¡y el sabor!) están en el interior*. https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1100545/

Pagliai, M., Vignozzi, N., & Pellegrini S. (2004). Soil structure and the effect of management practices. *Soil Tillage Research*, *79*(2), 131-143. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.002

PLM Colombia. (2021). *Diccionario de Especialidades Agroquímicas Colombia* (31 ed.).

Quintero, L. M., & Franco, G. (2023). *Caracterización de subproductos agrícolas en fincas productoras de zanahoria* [Documento interno]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Torres, A. (2016). Siete beneficios de la zanahoria que no conocía. *El País.* https://elpais.com/elpais/2014/07/21/buenavida/1405934369_335839.html#:~:text=Gracias%20a%20su%20alto%20contenido,recomendable%20si%20se%20padece%20gastritis

Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Salud & Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2020). *Encuesta nacional de la situación nutricional 2015*. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/libro-ensin-2015.pdf





Título

Superficie de semilla, pericarpo con patrones de ornamentación

Técnica

Microscopía de barrido SEM (*scanning electron microscope*) con agrupación de imágenes del detector de electrones secundarios y del detector de electrones retrodispersados, con coloreado digital.

Autoría

Nydia Yadira Arias Morales
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez
Colorización y diseño: Jaime Wilches

Descripción

Lo que se reconoce como semilla de zanahoria en realidad es un fruto seco denominado mericarpo (esquizocarpos), que mide entre 2 y 3 milímetros de largo, tiene forma ovalada o plana convexa y presenta un color marrón claro o grisáceo. Se caracteriza por ser ovalado, plano por una cara y tener 5 costillas longitudinales con pequeños tricomas o pelos en la superficie externa.

Capítulo III

Diversidad genética de la zanahoria

Luis Felipe López Hernández
Andrés Javier Cortés Vera

Resumen

El presente capítulo revisa el contexto genético evolutivo de la zanahoria (*Daucus carota* L. subsp. *sativus*), desde su domesticación en Asia Menor hasta su expansión y diversificación agronómica alrededor del mundo. Se refuerza la evidencia filogenética que demuestra una evolución reticulada dentro del género *Daucus*, con hibridación e introgresión entre especies silvestres y cultivadas. Igualmente, se discute la diversificación adaptativa de *D. carota*, su amplia plasticidad ecológica y la relevancia de la variabilidad genética silvestre como fuente de tolerancia a estreses abióticos y resistencia a enfermedades. En últimas, estos procesos han permitido enriquecer el *pool* genético disponible para el premejoramiento de la especie. A un nivel más metodológico, el capítulo también presenta avances genómicos recientes para el cultivo, concretamente el ensamblaje del genoma de la zanahoria y la identificación de genes clave en rutas como la biosíntesis de carotenoides y compuestos bioactivos, así como genes asociados a respuestas frente a sequía, salinidad y patógenos. Esta línea base permite a futuro el uso de selección asistida por marcadores, *speed breeding* y edición genética (CRISPR-Cas9), con la promesa de acelerar el desarrollo de cultivares más nutritivos, resistentes y adaptados al cambio climático. Finalmente, este compendio identifica rutas de investigación inminentes para potenciar el recurso genómico en zanahoria. En concreto, se hace énfasis en la imperiosa necesidad de mejorar la anotación funcional, integrar datos multiómicos, potenciar el germoplasma silvestre, y promover la selección y adopción de nuevas variedades capaces de responder a los retos productivos, adaptativos y climáticos que aquejan el norte de Suramérica, en concreto Colombia, traduciendo así los avances genómicos de última generación para la especie en soluciones agrícolas y nutricionales sostenibles.

Introducción – Contexto botánico de la zanahoria [*Daucus carota* L., subsp. sativus (Hoffm.) Schübl. & G. Martens] (Apiaceae)

La zanahoria brinda un viaje botánico fascinante a través del tiempo, que nos lleva desde las humildes raíces silvestres de la antigua Persia hasta los modernos vegetales que adornan nuestras mesas en la actualidad. La zanahoria silvestre, científicamente nombrada de acuerdo con la tradición Linneana como *Daucus carota* L. (Apiaceae), ha experimentado una evolución notable desde sus orígenes en Asia Menor, donde su cultivo (*i.e.*, subsp. *sativus*, de un total de 23 subespecies) se remonta a unos cinco mil años atrás (Iorizzo et al., 2013). Esta hortaliza ha sido testigo de la influencia de diversas culturas y civilizaciones a lo largo de los siglos, lo que ha contribuido a su domesticación y selección (Alam & Purugganan, 2024; Purugganan, 2022), transformándola gradualmente en la variedad de formas, tamaños y colores que hoy conocemos.

En la época de los antiguos griegos y romanos, la zanahoria era apreciada por su sabor y valor nutricional, así como por su supuesta capacidad para curar enfermedades. Se creía que era un tratamiento efectivo para una amplia gama de afecciones, desde problemas digestivos hasta afecciones oculares. Durante la Edad Media, la zanahoria continuó siendo importante en la medicina popular, ya que se creía que su consumo podía mejorar la visión nocturna. Esta creencia, aunque exagerada, no es completamente imprecisa debido a su alto contenido en betacaroteno, el precursor de la vitamina A (Que et al., 2019).

En Europa, la zanahoria volvió a florecer durante el Renacimiento, gracias a los esfuerzos de botánicos y agrónomos que descubrieron sus propiedades culinarias y ornamentales. No obstante, durante los siglos posteriores, con la llegada de la Ilustración y el surgimiento de la ciencia moderna, se llevaron a cabo investigaciones más detalladas sobre su cultivo y mejoramiento genético. Estos avances permitieron que la especie se adaptara a diferentes condiciones climáticas y geográficas, lo que popularizó su cultivo en el mundo.

La zanahoria experimentó una nueva revolución en el siglo XX, con la llegada de la agricultura industrial y los avances en biotecnología, que introdujeron variedades híbridas y métodos de cultivo más eficientes. Hoy la zanahoria sigue siendo uno de los alimentos más consumidos en todo el mundo, precisamente por su versatilidad en la cocina y sus beneficios para la salud (Que et al., 2019). Su historia botánica nos recuerda la estrecha relación entre la humanidad y las plantas, así como los mecanismos de selección artificial que han reformado a nuestro mundo gastronómico de nuevas maneras.

En este contexto, el presente capítulo se propone revisar la diversidad genética de *Daucus carota* desde una perspectiva evolutiva y genómica, abordando su historia filogenética, la diversificación adaptativa y los avances recientes en genómica y biotecnología aplicados al mejoramiento del cultivo. Estos desarrollos adquieren una relevancia particular en el contexto

colombiano, donde la zanahoria constituye un cultivo hortícola estratégico para sistemas productivos de pequeña y mediana escala, especialmente en regiones altoandinas caracterizadas por una alta heterogeneidad ambiental. Sin embargo, el mejoramiento genético del cultivo en el país enfrenta el desafío estructural de una limitada disponibilidad de germoplasma local caracterizado, lo que ha conllevado una alta dependencia de materiales introducidos. En este escenario, la creciente disponibilidad de recursos genómicos para la especie ofrece oportunidades concretas para orientar programas de mejoramiento hacia la adaptación local, la resiliencia frente a estreses abióticos y bióticos, y la mejora del valor nutricional, mediante el uso estratégico de diversidad *ex situ*, enfoques genómicos y esquemas de premejoramiento que contribuyan a una agricultura más sostenible y pertinente para el país.

Diversificación filogenética e hibridación en el género *Daucus*

El estudio de los patrones filogenéticos de la zanahoria muestra una intrincada red de relaciones evolutivas entre las diferentes especies (de un total de 213) del género *Daucus*. La sistemática filogenética ha reconstruido árboles filogenéticos a través del análisis de secuencias de ADN y la comparación morfológica. Estos árboles revelan la diversificación y dispersión de estas plantas a lo largo del tiempo geológico (Iorizzo et al., 2013). La zanahoria doméstica, *Daucus carota* subsp. *sativus*, tiene un ancestro común con varias especies silvestres que aún existen en las regiones de Asia Central y del Mediterráneo, con las que ha habido hibridación (Magnussen & Hauser, 2007).

La hibridación entre diferentes especies de *Daucus* ha sido develada por la investigación de patrones de flujo genético al interior de las filogenias, lo que ha complicado aún más la comprensión de su historia evolutiva. Se ha encontrado evidencia de introgresión genética, en la que los genes de una especie se han transferido a otra mediante hibridación y posterior retrocruzamiento del híbrido *F1* con algunas de las especies parentales (López-Hernández et al., 2023). Estos resultados han contribuido a la diversidad genética natural dentro del género *Daucus*, y demuestran la importancia de la conservación de las especies silvestres de zanahoria por su novedad intrínseca y su potencial para enriquecer el *pool* genético de las variedades cultivadas.

Los estudios filogenéticos también han proporcionado información importante para el mejoramiento genético de la zanahoria cultivada, permitiendo a los fitomejoradores identificar genes de interés (algunos de los cuales han permeado la barrera interespecífica) relacionados con características deseables como el rendimiento, la resistencia a enfermedades y la calidad del tubérculo (Selvakumar et al., 2023). Desde la ciencia básica, esta noción se ha podido apalancar para desarrollar variedades de zanahoria más resistentes y nutritivas, adaptadas a los desafíos agrícolas del siglo XXI, al comprender mejor la relación entre las diferentes especies de *Daucus* y su evolución a lo largo del tiempo.

En otras palabras, el estudio de los patrones filogenéticos de la zanahoria no solo nos ha permitido reconstruir su evolución reticulada (Magnussen & Hauser, 2007), sino que también revela posibles perspectivas para las variedades de zanahorias del futuro (Iorizzo et al., 2013). Recientes esfuerzos se han empeñado en potenciar oportunidades para la conservación (Cortés et al., 2022), el mejoramiento (Cortés & López-Hernández, 2021) y la explotación sostenible hortícola, al desentrañar la compleja red de relaciones filogenéticas en *Daucus*.

Diversificación adaptativa en *Daucus carota* L.

Según Cortés et al. (2018), la diversificación ecológica ha permitido a las variedades modernas abarcar un abanico de hábitats y ecosistemas (Joly-Lopez et al., 2016; Purugganan & Fuller, 2009). La zanahoria ha demostrado una notable capacidad de adaptación a contrastantes condiciones ambientales, desde las estepas secas de Asia Central hasta las plantaciones de Europa y América del Norte. Su amplia distribución en todo el mundo se debe a su capacidad para crecer en una variedad de suelos y climas, lo que la convierte en un componente importante de los sistemas agrícolas y ecológicos en muchas regiones (Iorizzo et al., 2013).

Además de ser útil como cultivo agrícola, la zanahoria es importante como planta silvestre en varios ecosistemas. *Daucus carota* puede encontrarse en una variedad de hábitats en su forma silvestre, desde praderas y pastizales hasta márgenes de caminos y terrenos baldíos (Que et al., 2019). Su presencia no solo alimenta a herbívoros, sino que también ofrece refugio y hábitat a una variedad de invertebrados, incluidos insectos polinizadores.

La variabilidad genética ofrece a su vez una amplia base genómica para la diversidad ecológica, que es esencial para la capacidad de adaptación (Gutaker & Purugganan, 2023) y supervivencia en diversos entornos (Nicotra et al., 2010). Las características morfológicas y fisiológicas de la zanahoria silvestre, que van desde raíces pequeñas y delgadas hasta formas grandes y robustas, han demostrado un componente de heredabilidad (h^2) intraespecífico base para la adaptación local, lo que en últimas redunda en diversidad de nichos ecológicos (Cañas-Gutiérrez et al., 2022; Reyes-Herrera et al., 2020). Esta variabilidad genética es un recurso valioso para el mejoramiento genético



de la zanahoria cultivada, porque proporciona variación de base (*standing variation*) para tolerancia a estreses abióticos (Cortés et al., 2020), así como resistencia a enfermedades con incidencia *in situ* (Guevara-Escudero et al., 2021; Que et al., 2019).

La diversidad ecológica de la zanahoria es un componente esencial de su diversificación natural. La importancia de esta especie como planta silvestre en los ecosistemas naturales y su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales destacan la imperiosa necesidad de conservar, comprender y apalancar la diversificación adaptativa (Meyer & Purugganan, 2013) y la base genética de adaptación (López-Hernández et al., 2023).

Reconstrucción de la constitución genómica de *Daucus carota* L.

La genómica moderna del siglo XXI ha permitido reconstruir el genoma de la zanahoria ($2n = 2x = 18$). La secuenciación y ensamblaje del genoma de la zanahoria presentó una serie de desafíos para los equipos que buscan desentrañar su estructura y arquitectura funcional (Iorizzo et al., 2016), debido a su complejidad en tamaño (473 Mb) y heterocigosidad, tal como lo demostraron los genomas de otras especies cultivadas como el maíz o el arroz. Afortunadamente, el genoma de la zanahoria se ha mapeado utilizando técnicas avanzadas de secuenciación de ADN, lo que ha revelado una sorprendente diversidad genética y una compleja arquitectura genómica.

La presencia de genes relacionados con la biosíntesis de compuestos bioactivos como los carotenoides y los polifenoles es una de las características más innovadoras del genoma de la zanahoria (Iorizzo et al., 2016). Estos compuestos son responsables de la diversidad de colores de la zanahoria (figura 3.1) y sus beneficios para la salud, como una mejora visual y una reducción del riesgo de enfermedades crónicas. El estudio de estos genes y las redes metabólicas (Iorizzo et al., 2016) en las que se embeben no solo revela cómo se acumulan los compuestos bioactivos en la zanahoria, sino que también brinda oportunidades para el mejoramiento genético que busca seleccionar por su contenido nutricional y sus propiedades funcionales.

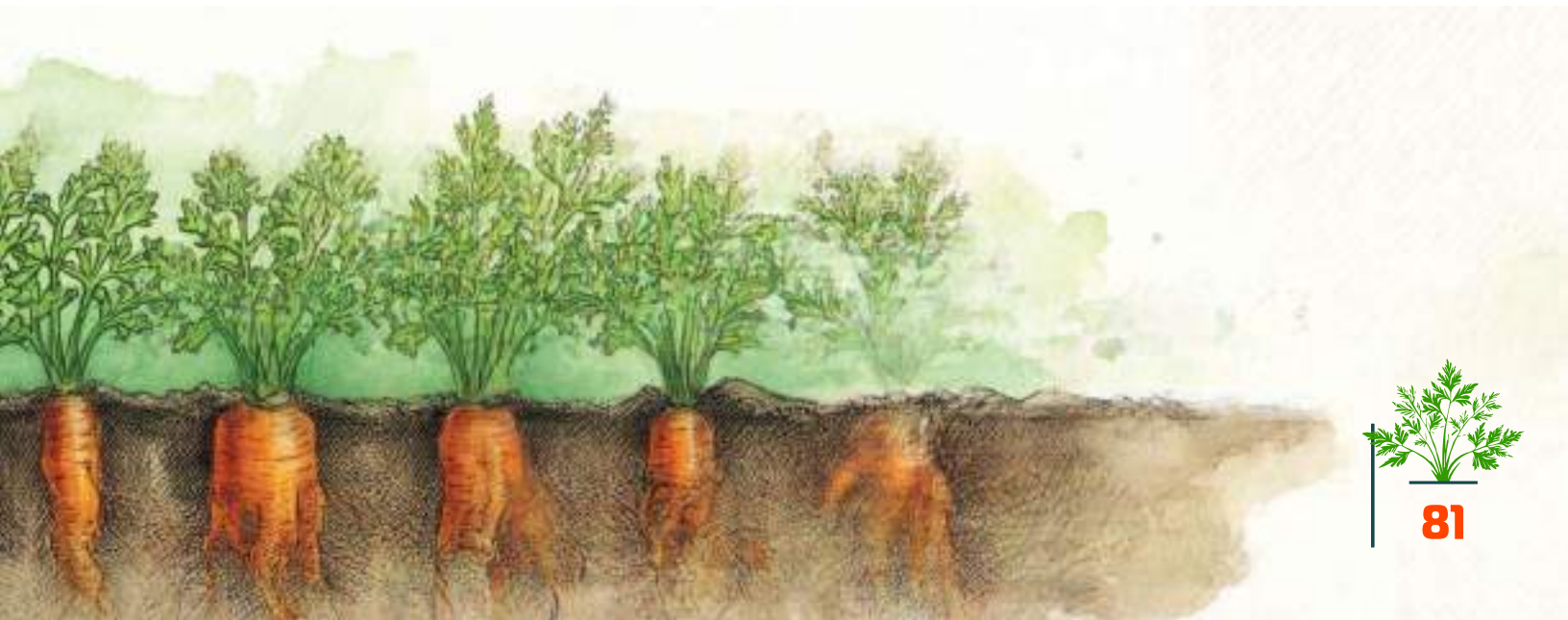




Figura 3.1. Diversidad observada en los colores de zanahoria. a. Bangor; b. Mello Yello; c. Olimpo; d. 5300; e. Deep Purple; f. White Satin.

Foto: Jaison Martínez Saldarriaga

El genoma de la zanahoria, adicionalmente, ofrece información genética relacionada con su adaptación a diferentes ambientes, a través del paradigma de *Genome - Environment Association* (GEA) (Cortés et al., 2022), además de su valor para la salud humana. Se han descubierto genes que están relacionados con la respuesta al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, así como con la resistencia a enfermedades y plagas. Estos genes son útiles para mejorar la zanahoria cultivada, especialmente ahora que el cambio climático y la presión ambiental aumentan a una tasa nunca antes vista.

En últimas, el genoma de la zanahoria es una mina en bruto para comprender su biología, evolución y potencial de mejoramiento genético (Iorizzo et al., 2016). Se espera que a medida que se avance en la reconstrucción funcional del genoma de la zanahoria, surjan nuevas oportunidades para desarrollar variedades más nutritivas, resistentes y sostenibles, que contribuyan a la seguridad alimentaria y la salud humana a nivel global.

Herramientas para la inducción de mutaciones de novo en zanahoria

La mutagénesis permite la inducción de mutaciones *de novo* (Holme et al., 2019), en contraposición al recurso de *standing variation* ya disponible en los genomas modernos (Cortés et al., 2018). De este modo, se puede manipular con mayor precisión el ADN de la zanahoria para producir variedades mejoradas con características innovadoras (Stein & Nothnagel, 2006). La inducción de cambios en el ADN de la zanahoria se ha producido a través de técnicas clásicas de la mutagénesis, como la radiación ionizante o la aplicación de agentes químicos mutagénicos, que producen mutaciones aleatorias en el genoma, que a su vez pueden provocar nuevas variaciones fenotípicas. El tamaño, la forma, el color y la resistencia a enfermedades son rasgos que pueden verse modulados por mutaciones de manera pleitrópica (Du et al., 2025), es decir que una misma mutación puede ser responsable de varios efectos fenotípicos de manera concurrente.

La mutagénesis en la zanahoria tiene múltiples usos, incluida la creación de variedades con mayor contenido de compuestos bioactivos, como carotenoides y antioxidantes. Los fitomejoradores apoyados en biotecnólogos pueden producir variedades con colores más intensos y concentraciones más altas de nutrientes beneficiosos para la salud, mediante la inducción de mutaciones en genes relacionados con la biosíntesis de estos compuestos (Selvakumar et al., 2023). Estas variedades mejoradas pueden brindar a los consumidores beneficios adicionales por su valor nutricional (Stein & Nothnagel, 2006).

La mutagénesis también ayuda a la zanahoria a ser más resistente a enfermedades y plagas. Es factible la producción de nuevas variedades más resistentes a las infecciones por hongos, bacterias y virus al inducir mutaciones en los genes involucrados en la interacción planta-patógeno (Stein & Nothnagel, 2006). Este método, en conjunción con las “ómicas” (Cortés et al., 2023), permite dejar de depender de los pesticidas químicos, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Si bien la mutagénesis es una herramienta poderosa para el mejoramiento genético de la zanahoria (Selvakumar et al., 2023), capaz de brindar oportunidades para desarrollar variedades con mejor nutrición, resistencia a enfermedades y calidad agronómica, su uso puede verse limitado al catalogarse erróneamente por parte del público como un organismo genéticamente modificado (OGM). Se espera que, a medida que avanza la comunicación social de la investigación en este campo (Meyer et al., 2022), surjan nuevas técnicas y métodos que puedan aprovechar al máximo el potencial de la mutagénesis para satisfacer las necesidades de la agricultura y la alimentación del siglo XXI.

La frontera de la manipulación genética – Edición genética

La edición genética ha surgido en la última década como una herramienta revolucionaria para modificar con precisión el ADN vegetal y animal (Barrera-Redondo et al., 2020). Su prospecto para mejorar características específicas de interés agronómico y nutricional no será ajeno a la zanahoria. El método más prominente de edición genética es el CRISPR-Cas9 (Doudna & Charpentier, 2014), acuñado en la divulgación científica popular como "tijeras moleculares". Si bien por el momento la tecnología está en fase de prueba en varios cultivos, a futuro CRISPR-Cas9 y *speed breeding* (Bohra et al., 2021) permitirán alterar específicamente el genoma de la zanahoria, como ya lo han venido demostrando Klimek-Chodacka et al. (2018) usando protoplastos (Meyer et al., 2022), que se han enfocado en genes relacionados con el contenido de carotenoides o la resistencia a enfermedades.

La edición genética tiene muchos beneficios sobre los métodos tradicionales de mejoramiento genético, porque abre la posibilidad de modificar el genoma de manera específica sin necesidad de introducir genes de otras especies (via *Agrobacterium*, OGM *s.s.*). Esto reduce tiempo y recursos para generar nuevas variedades y evita posibles problemas regulatorios con los OGM (Doudna & Charpentier, 2014). Por lo anterior, la edición genética permitirá a los fitomejoradores del siglo XXI producir variedades de zanahoria con características mejoradas de manera más rápida y predecible (Dunemann et al., 2022).

Mediante la edición genética en zanahoria se podrían abordar demandas intrínsecas a la agricultura y la alimentación, como el aumento de la productividad, la mejora de la calidad nutricional y la adaptación al cambio climático. Por ejemplo, consorcios de investigación desarrollarían variedades de zanahoria más resilientes y productivas en diferentes entornos agrícolas, mediante la edición de genes relacionados con la resistencia a enfermedades o la tolerancia a condiciones ambientales adversas. Esto amortiguaría los efectos negativos de la heterogeneidad ambiental, la inseguridad alimentaria y la insostenibilidad de los sistemas alimentarios (Cortés & Du, 2023).

Tiempos excitantes se avecinan, y la edición genética se posicionará como una herramien-

ta poderosa para el mejoramiento de la zanahoria, ya que permite desarrollar variedades con características mejoradas de manera precisa y eficiente. Se espera que, a medida que avanza la investigación en este campo, surjan nuevas oportunidades para aprovechar todo el potencial de la edición genética y abordar los desafíos emergentes en la agricultura y la alimentación. Si bien a nivel territorial la implementación de la edición genética en zanahoria aún está por verse en el corto plazo, el vertiginoso avance de la tecnología tanto a nivel internacional como nacional, junto con su regulación gubernamental cada vez más clara y concertada, prometen un apalancamiento de la innovación más contundente a escala local en el mediano y largo plazo, o al menos de sus productos derivados.

Brechas en la investigación sobre la diversidad genética de la zanahoria

Pese a los promisorios avances previamente descritos en el campo de la genética de la zanahoria, es de reconocer que persisten brechas significativas en la caracterización funcional de genes involucrados en rasgos agronómicos complejos, especialmente aquellos asociados con la adaptación a condiciones ambientales extremas y la acumulación de compuestos bioactivos. Lo anterior se debe, en parte, a que si bien los avances en la secuenciación del genoma de la zanahoria han sido substanciales, la anotación funcional sigue siendo incompleta, y muchas rutas metabólicas relevantes permanecen poco descritas. Además, la integración efectiva de datos multiómicos (*i.e.*, genómicos, transcriptómicos, metabolómicos) en programas de mejoramiento aún enfrenta limitaciones computacionales y metodológicas. Asimismo, la baja representación de germoplasma silvestre en bancos de germoplasma, junto con cuellos de botella en su caracterización y utilización, limita el completo aprovechamiento de la variación genética disponible. En concreto, aunque se han hecho importantes descubrimientos científicos, muchas variedades silvestres siguen sin estudiarse, y podrían contener claves genéticas para enfrentar futuras crisis alimentarias. La edición genética, aunque prometedora, también enfrenta vacíos regulatorios y técnicos para su aplicación efectiva en zanahoria, haciéndola poco accesible en muchas regiones. También existen desafíos en llevar estos avances a los agricultores, especialmente a pequeños productores, quienes podrían beneficiarse más de nuevas variedades resilientes y sostenibles. A continuación, hacemos una prospección de posibles alternativas para superar estas brechas, lo cual requerirá una colaboración más estrecha entre ciencia, política y sociedad para que el conocimiento acumulado se traduzca en soluciones reales y equitativas (Kholova et al., 2024; Peláez et al., 2022).



Para no olvidar...

» La diversidad de especies del género Daucus (más de 200) ofrece recursos genéticos valiosos para enfrentar desafíos como el cambio climático, enfermedades emergentes y adaptación ecológica.

» La hibridación natural entre especies ha enriquecido la base genética de la zanahoria. Así, procesos como la introgresión y el retrocruzamiento han permitido el flujo de genes entre especies silvestres y cultivadas, generando rasgos agronómicos útiles.

» La diversidad adaptativa de la zanahoria le permite crecer desde desiertos hasta zonas templadas, gracias a su capacidad de adaptación ecológica y morfológica, que la convierte en un cultivo estratégico para sistemas agrícolas resilientes, biodiversos y sostenibles.

» El mapa genético de la zanahoria es una herramienta para desarrollar variedades del futuro. Su genoma ha sido secuenciado (473Mb), revelando genes relacionados con calidad, tolerancia al estrés y productividad, lo que facilita su mejoramiento moderno.



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Conclusiones y perspectivas de los autores

» La historia botánica de la zanahoria, desde sus orígenes silvestres hasta su domesticación y mejoramiento moderno, refleja una compleja interacción entre procesos evolutivos naturales y selección humana en los que la genética media como base subyacente. Los avances en filogenia, genómica y biotecnología han revelado un rico mosaico de diversidad genética y funcional que puede ser aprovechada para enfrentar los desafíos actuales de la agricultura. La comprensión profunda de su evolución reticulada, adaptación ecológica y arquitectura genómica no solo ha permitido desarrollar variedades mejoradas, sino que ha sentado las bases para innovaciones más precisas a través de la mutagénesis y la edición genética. Sin embargo, el aprovechamiento de estas herramientas dependerá de un equilibrio cuidadoso entre innovación científica, aceptación social y sostenibilidad ambiental. Es así como la zanahoria se proyecta como un cultivo emblema para el mejoramiento participativo, la biofortificación y la sostenibilidad agrícola del siglo XXI. La zanahoria, por tanto, no es solo un cultivo de importancia nutricional y económica, sino también un sistema modelo para repensar el futuro del fitomejoramiento genético en una era de transformación global.

Perspectivas

» La diversidad genética de la zanahoria ofrece un terreno promisorio para integrar datos genómicos, transcriptómicos y ambientales mediante enfoques de genética cuantitativa, selección asistida por marcadores y datos ómicos (Arenas et al., 2025; Bedoya-Londoño et al., 2025), y edición de precisión. El aprovechamiento de la variación genética *in situ* y *de novo*, sumado al avance de herramientas como CRISPR-Cas9 (Doudna & Charpentier, 2014), permitirá diseñar variedades adaptadas a estreses bióticos y abióticos con mayor eficiencia. Además, la incorporación de análisis de asociaciones genoma-ambiente (GEA) y genoma-fenotipo (GWAS) facilitará la identificación de loci adaptativos (Kholova et al., 2024; Peláez et al., 2022). Integrar estas aproximaciones de fitomejoramiento acelerado (*speed breeding*) posibilitará el desarrollo estratégico de cultivares de zanahoria más nutritivos, resilientes y sostenibles.

» En últimas, la zanahoria representa un modelo ideal para integrar enfoques clásicos y modernos del mejoramiento vegetal en un contexto de cambio climático, crisis alimentaria y transición agroecológica. La continua exploración de su diversidad genética y ecológica, junto con el desarrollo de herramientas de edición genética y mutagénesis, abre posibilidades sin precedentes para customizar variedades más nutritivas, resilientes y sostenibles. Además, el creciente entendimiento de la relación genotipo-ambiente permitirá cultivar zanahorias adaptadas a sistemas agrícolas más diversos y menos dependientes de insumos externos. A nivel territorial, el reto estará en traducir estos avances científicos en aplicaciones concretas que beneficien tanto a agricultores como a consumidores, mediante políticas públicas informadas y marcos regulatorios actualizados que reconozcan la especificidad de estas nuevas tecnologías.

Referencias

Alam, O., & Purugganan, M. D. (2024). Domestication and the evolution of crops: variable syndromes, complex genetic architectures, and ecological entanglements. *Plant Cell*, *36*(5), 1227-1241. https://doi.org/10.1093/plcell/koae013

Barrera-Redondo, J., Pinero, D., & Eguiarte, L. E. (2020). Genomic, transcriptomic and epigenomic tools to study the domestication of plants and animals: a field guide for beginners. *Front Genet*, *11*, 742. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00742

Bohra, A., Kilian, B., Sivasankar, S., Caccamo, M., Mba, C., McCouch, S. R., & Varshney, R. K. (2021). Reap the crop wild relatives for breeding future crops. *Trends in Biotechnology*, *40*(4), 412-431. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.08.009

Cañas-Gutiérrez, G. P., Sepúlveda-Ortega, S., López-Hernández, F., Navas-Arboleda, A. A., & Cortés, A. J. (2022). Inheritance of yield components and morphological traits in avocado cv. Hass from "Criollo" "Elite Trees" via half-sib seedling rootstocks. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 843099. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.843099

Cortés, A. J., Castillejo, M. Á., & Yockteng, R. (2023). 'Omics' approaches for crop improvement. *Agronomy*, *13*(5), 1401. https://doi.org/10.3390/agronomy13051401

Cortés, A. J., Cornille, A., & Yockteng, R. (2022). Evolutionary genetics of crop-wild complexes. *Genes*, *13*(1). https://doi.org/10.3390/genes13010001

Cortés, A. J., & Du, H. (2023). Molecular genetics enhances plant breeding. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(12), 9977. https://doi.org/10.3390/ijms24129977

Cortés, A. J., Garzón, L. N., Valencia, J. B., & Madriñán, S. (2018). On the causes of rapid diversification in the páramos: isolation by ecology and genomic divergence in *Espeletia*. *Frontiers in Plant Science*, *9*(1700). https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01700

Cortés, A. J., & López-Hernández, F. (2021). Harnessing crop wild diversity for climate change adaptation. *Genes*, *12*(5), 783. https://doi.org/10.3390/genes12050783

Cortés, A. J., López-Hernández, F., & Blair, M. W. (2022). Genome-environment associations, an innovative tool for studying heritable evolutionary adaptation in orphan crops and wild relatives. *Frontiers in Genetics*, *13*, 910386. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.910386

Cortés, A. J., López-Hernández, F., & Osorio-Rodriguez, D. (2020). Predicting thermal adaptation by looking into populations' genomic past. *Frontiers in Genetics*, *11*, 564515. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.564515

Cortés, A. J., Skeen, P., Blair, M. W., & Chacón-Sánchez, M. I. (2018). Does the genomic landscape of species divergence in *Phaseolus* beans coerce parallel signatures of adaptation and domestication? *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1816. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01816

Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). Genome editing. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, *346*(6213), 1258096. https://doi.org/10.1126/science.1258096

Dunemann, F., Krüger, A., Maier, K., & Struckmeyer, S. (2022). Insights from CRISPR/Cas9-mediated gene editing of centromeric histone H3 (CENH3) in carrot (*Daucus carota* subsp. sativus). *bioRxiv*, *22*(9), 508489. https://doi.org/10.1101/2022.09.19.508489

Guevara-Escudero, M., Osorio, A. N., & Cortés, A. J. (2021). Integrative pre-breeding for biotic resistance in forest trees. *Plants*, *10*(10), 2022. https://doi.org/10.3390/plants10102022

Gutaker, R. M., & Purugganan, M. D. (2023). Adaptation and the Geographic Spread of Crop Species. *Annual Review of Plant Biology*, *75*, 679-706. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-060223-030954

Holme, I. B., Gregersen, P. L., & Brinch-Pedersen, H. (2019). Induced genetic variation in crop plants by random or targeted mutagenesis: convergence and differences. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1468. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01468

Iorizzo, M., Ellison, S., Senalik, D., Zeng, P., Satapoomin, P., Huang, J., Bowman, M., Iovene, M., Sanseverino, W., Cavagnaro, P., Yildiz, M., Macko-Podgorni, A., Moranska, E., Grzebelus, E., Grzebelus, D., Ashrafi, H., Zheng, Z., Cheng, S., Spooner, D., Van Deynze, A., & Simon, P. (2016). A high-quality carrot genome assembly provides new insights into carotenoid accumulation and asterid genome evolution. *Nature Genetics*, *48*(6), 657-666. https://doi.org/10.1038/ng.3565

Iorizzo, M., Senalik, D. A., Ellison, S. L., Grzebelus, D., Cavagnaro, P. F., Allender, C., Brunet, J., Spooner, D. M., Van Deynze, A., & Simon, P. W. (2013). Genetic structure and domestication of carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) (Apiaceae). *American Journal of Botany*, *100*(5), 930-938. https://doi.org/10.3732/ajb.1300055

Joly-Lopez, Z., Flowers, J. M., & Purugganan, M. D. (2016). Developing maps of fitness consequences for plant genomes. *Current Opinion in Plant Biology*, *30*, 101-107. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.02.008

Klimek-Chodacka, M., Oleszkiewicz, T., Lowder, L. G., Qi, Y., & Baranski, R. (2018). Efficient CRISPR/Cas9-based genome editing in carrot cells. *Plant Cell Reports*, *37*(4), 575-586. https://doi.org/10.1007/s00299-018-2252-2

López-Hernández, F., Burbano-Erazo, E., León-Pacheco, R. I., Cordero-Cordero, C. C., Villanueva-Mejía, D. F., Tofiño-Rivera, A. P., & Cortés, A. J. (2023). Multi-Environment genome-wide association studies of yield traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) × tepary bean (*P. acutifolius* A. Gray) interspecific advanced lines in humid and dry colombian caribbean subregions. *Agronomy*, *13*(5), 1396. https://doi.org/10.3390/agronomy13051396

Magnussen, L. S., & Hauser, T. P. (2007). Hybrids between cultivated and wild carrots in natural populations in Denmark. *Heredity (Edinb)*, *99*(2), 185-192. https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800982

Meyer, C. M., Goldman, I. L., Grzebelus, E., & Krysan, P. J. (2022). Efficient production of transgene-free, gene-edited carrot plants via protoplast transformation. *Plant Cell Reports*, *41*(4), 947-960. https://doi.org/10.1007/s00299-022-02830-9

Meyer, R. S., & Purugganan, M. D. (2013). Evolution of crop species: genetics of domestication and diversification. *Nature Reviews Genetics*, *14*(12), 840-852. https://doi.org/10.1038/nrg3605

Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M. D., Richards, C. L., Valladares, F., & van Kleunen, M. (2010). Plant phenotypic plasticity in a changing climate. *Trends in Plant Science*, *15*(12), 684-692. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008

Purugganan, M. D. (2022). What is domestication? *Trends in Ecology & Evolution*, *37*(8), 663-671. https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.04.006

Purugganan, M. D., & Fuller, D. Q. (2009). The nature of selection during plant domestication. *Nature*, *457*(7231), 843-848. https://doi.org/10.1038/nature07895

Que, F., Hou, X. L., Wang, G. L., Xu, Z. S., Tan, G. F., Li, T., Wang, Y. H., Khadr, A., & Xiong, A. S. (2019). Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, *6*, 69. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6

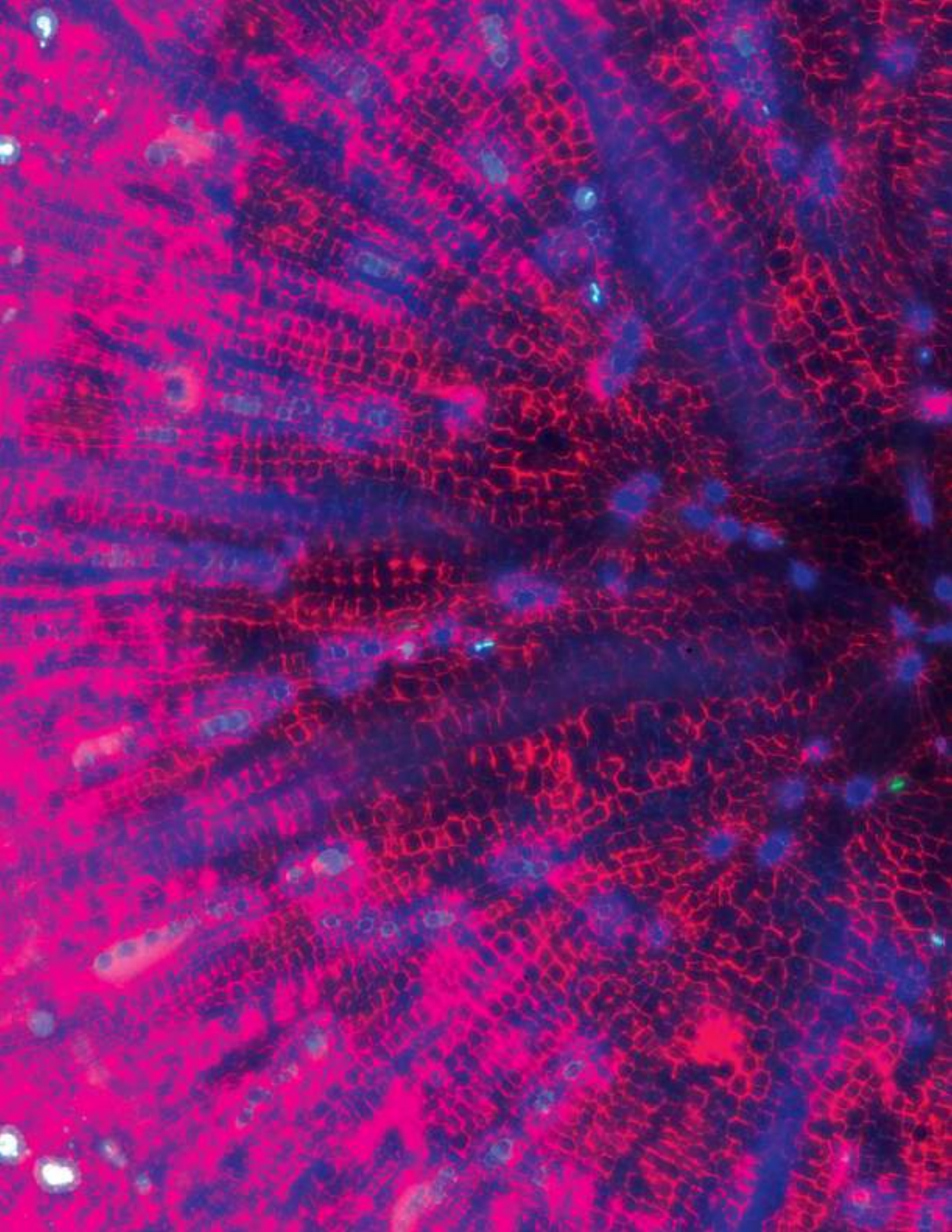
Reyes-Herrera, P. H., Muñoz-Baena, L., Velásquez-Zapata, V., Patiño, L., Delgado-Paz, O. A., Díaz-Diez, C. A., Navas-Arboleda, A. A., & Cortés, A. J. (2020). Inheritance of rootstock effects in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 555071. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.555071

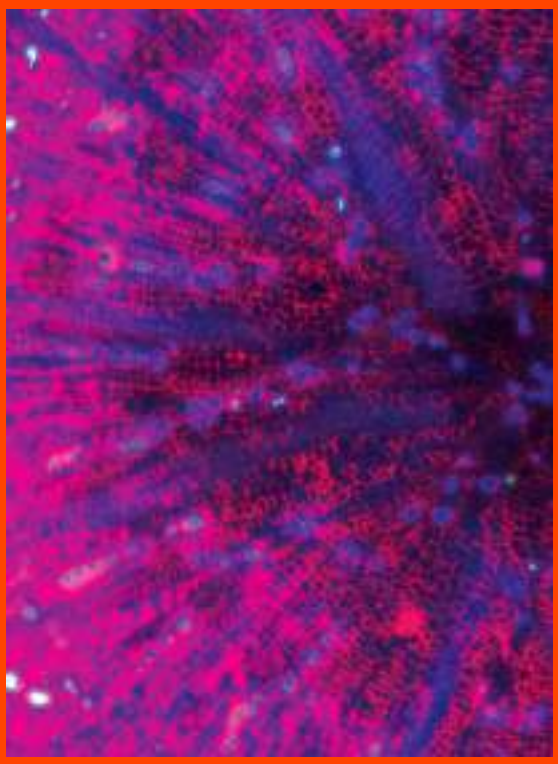
Selvakumar, R., Patel, V., Singh, B. K., & Kalia, P. (2023). Carrot: breeding and genomics. *Vegetable Science*, *50*(Special), 221-230. https://doi.org/10.61180/vegsci.2023.v50.spl.08

Stein, M., & Nothnagel, T. (2006). Some remarks on carrot breeding (*Daucus carota sativus* Hoffm.). *Plant Breeding*, *114*(1), 1-11. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00750.x



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez





Título

Tejido de redes Koinonia hacia el interior de la zanahoria

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 1.600 fotos de 40 micras de profundidad.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Paola Andrea Hormaza Martìnez
Juan Camilo Henao Rojas

Descripción

Corte transversal de la parte comestible de la zanahoria, es decir, la raíz. En la fotografia se observa cambium y haces vasculares.

Capítulo IV

Clasificación taxonómica y descripción botánica

Jorge Jaramillo Noreña
Cristian Domínguez Pulgarín
Carolina Ortiz Muñoz
Carolina Zuluaga Mejía

Origen y distribución de la zanahoria

El género *Daucus* L., al cual pertenecen las zanahorias silvestres y cultivadas, es uno de los géneros más importantes, debido a su relevancia productiva a nivel mundial y regional, y porque posee alrededor de 40 especies silvestres que podrían servir como fuentes potenciales de diversidad genética para el mejoramiento de cultivos (Kadluczka et al., 2022). Las especies silvestres de *Daucus* están ampliamente distribuidas en las partes templadas del hemisferio norte, más comúnmente en la región mediterránea, que se considera el centro de la diversidad de este género. Así, el origen y la distribución de la zanahoria pueden abordarse desde diferentes enfoques. En coherencia con lo presentado en el capítulo anterior, donde se analiza el origen desde una perspectiva genética y evolutiva, en este apartado se presenta una aproximación histórico-geográfica que permite comprender la domesticación y posterior dispersión del cultivo.

De esta forma, es importante la identificación botánica, morfológica y taxonómica, porque permite generar alternativas de mejoramiento que aborden la creciente necesidad de una población en constante crecimiento. Así, se generan herramientas para los fitomejoradores con acceso a nuevos recursos genéticos que puedan usarse en programas de mejoramiento de cultivos, los cuales se convierten en un reservorio de genes para la adaptabilidad a una amplia gama de hábitats, condiciones ambientales y sensibilidad o respuesta a cambio climático desde la fenología y su efecto en la producción (Godwin et al., 2024; Prohens et al., 2017; Dempewolf et al., 2017; Brozynska et al., 2016).

Este capítulo tiene como objetivo describir el origen, la distribución geográfica y los principales aspectos taxonómicos y botánicos de la zanahoria (*Daucus carota* L.), proporcionando un marco de referencia que complemente el análisis genético y evolutivo presentado en el capítulo III. A partir

de una revisión histórica y descriptiva, se abordan los procesos de domesticación, dispersión y clasificación del cultivo, con el fin de contextualizar su diversidad y facilitar la comprensión de sus características morfológicas y agronómicas.

La zanahoria, cuyo nombre científico *Daucus carota* L. fue asignado por el botánico Carlos Linneo en el año 1753, es una planta originaria de Afganistán, que se extendió a Europa, el Mediterráneo y Asia, donde se cruzó con materiales silvestres de estas regiones (Rubatzky et al., 1999). Es propia de clima frío, aunque se cultiva también en el trópico y subtrópico.

En general, se distinguen dos tipos de zanahorias: las orientales o asiáticas, caracterizadas por tener raíces de color amarillo y púrpura, y las occidentales, con raíces de color anaranjado (figura 4.1). En Turquía, ambos tipos de zanahoria crecen juntos y se cruzan de forma libre, mientras que en Japón el cruce se realiza de forma artificial entre las zanahorias (International Plant Genetic Resources Institute [IPGRI], 1998).









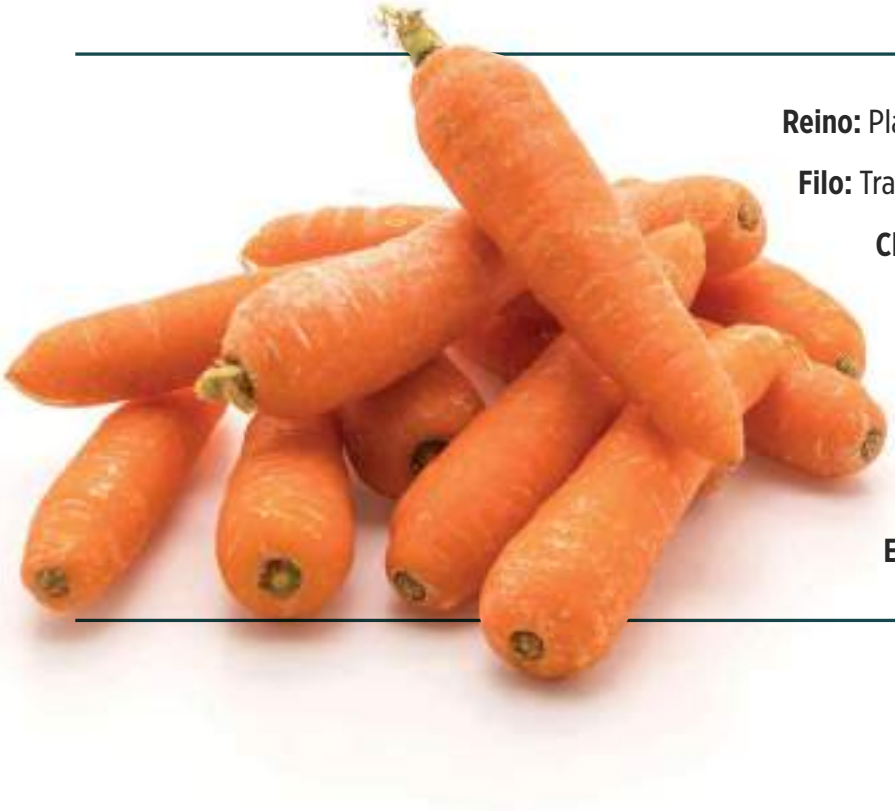
Figura 4.1. Tipos de zanahoria según su coloración. a. Zanahorias orientales o asiáticas; b., c. y d. Zanahorias occidentales.

Fotos: Carolina Ortiz

A partir del siglo XII y hasta el siglo XV, los árabes introdujeron zanahorias de color púrpura y amarillo a Europa Occidental, expandiendo su cultivo en Francia, España, Italia, Gran Bretaña, Holanda y Alemania. A finales del siglo XVII, en Europa Occidental aparecieron las zanahorias de raíces blancas, probablemente derivadas de los tipos púrpura o de los amarillos. Las zanahorias anaranjadas o caroténicas parecen ser consecuencia de la selección que los agricultores europeos realizaron en las de color amarillo durante los siglos XVII y XVIII (Oliva, 1990).

Taxonomía de la zanahoria *Daucus carota* L.

Esta hortaliza pertenece a la familia Apiaceae (anteriormente llamada Umbelliferae), en la cual también se encuentran el cilantro (*Coriandrum sativum*), el perejil (*Petroselinum* spp.) y el apio (*Apium graveolens*). La zanahoria se clasifica dentro del género *Daucus*, que incluye unas 60 especies. Generalmente, las variedades de uso comercial corresponden a la especie *Daucus carota* var. Sativa (Morales Payán, 2008). Según Hassler (2004; 2023), la clasificación taxonómica de la zanahoria es:



Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Apiales

Familia: Apiaceae

Subfamilia: Apioideae

Género: *Daucus*

Especie: *Daucus carota*



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción botánica

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una planta herbácea de ciclo bienal. Durante el primer año desarrolla el crecimiento vegetativo y forma la raíz napiforme y de reserva, mientras que, en el segundo año, bajo condiciones de vernalización, utiliza las reservas de la raíz para la emisión del tallo floral y la producción de semilla, proceso típico de zonas templadas (Alessandro & Gabriel, 2011). En Colombia, el cultivo se orienta a la producción de raíces para consumo en fresco y agroindustria, y se cosecha durante el primer ciclo vegetativo, con un periodo productivo aproximado de 120-130 días, sin que se complete la fase reproductiva. Debido a la ausencia de condiciones agroecológicas adecuadas para la vernalización, la producción comercial de semilla no es viable; sin embargo, esta puede realizarse de manera puntual con fines de investigación y mejoramiento genético.

Morfología de la zanahoria

Anatomía de la raíz de zanahoria

La raíz principal o de almacenaje es el órgano de reserva de la planta. Es una raíz tipo axonomorfa (pivotante), dominante, compuesta en su centro por el floema (en la parte más externa) y el xilema o corazón (en la parte interna), y tiene raíces secundarias laterales pequeñas en los costados (figura 4.2) (Rubatzky et al., 1999).

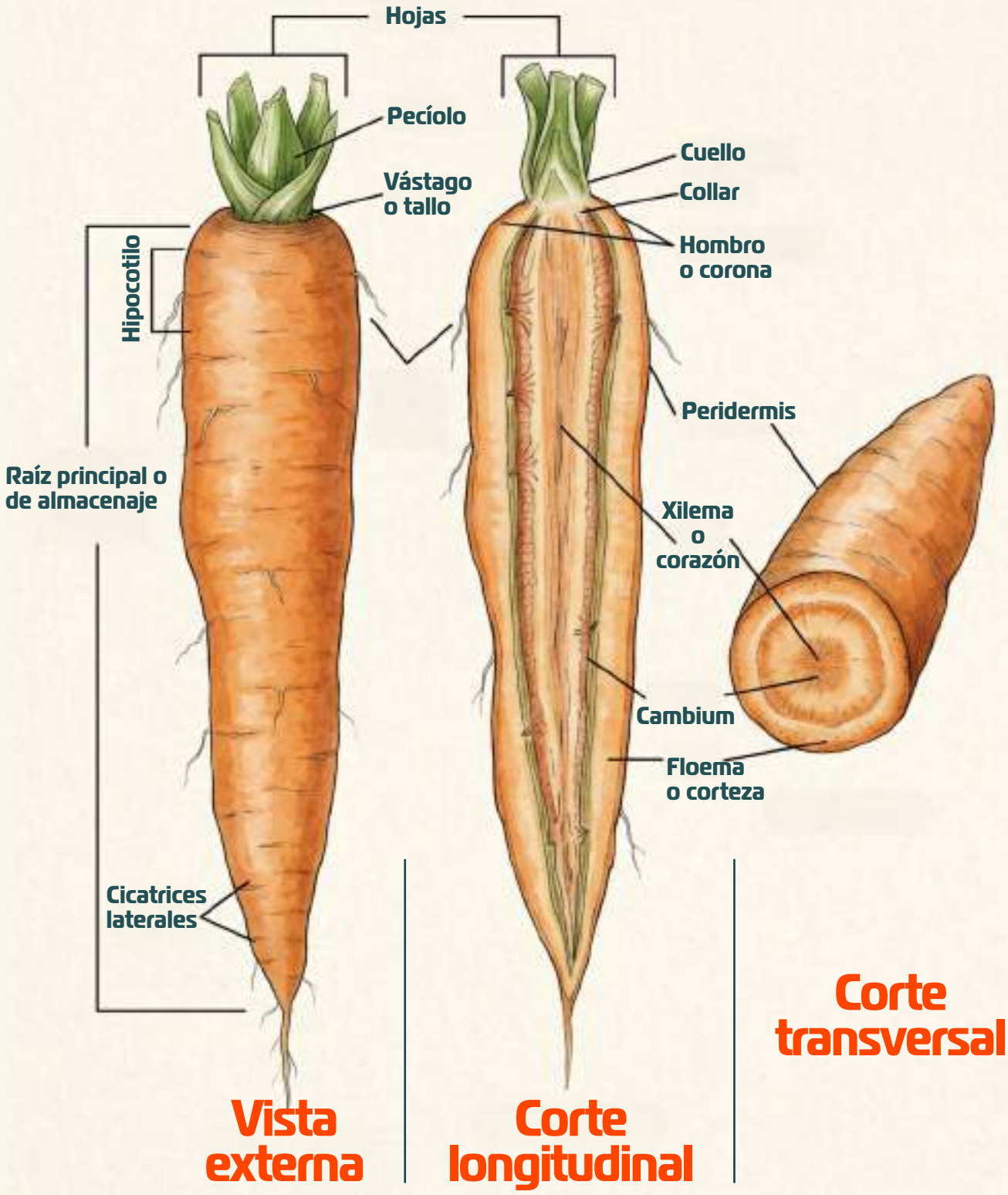


Figura 4.2. Anatomía de la raíz de zanahoria.

Ilustración: Carolina Ortiz, adaptada de Rubatzky et al. (1999)

Comúnmente, se encuentran zanahorias con una longitud de 10 a 25 cm, pero puede ser mayor o menor según la variedad. Su forma napiforme puede variar entre cónica, redondeada y cilíndrica, y otras formas intermedias (figura 4.3). El diámetro de la parte superior o corona va de 1 a 5 cm, dependiendo la variedad (IPGRI, 1998).

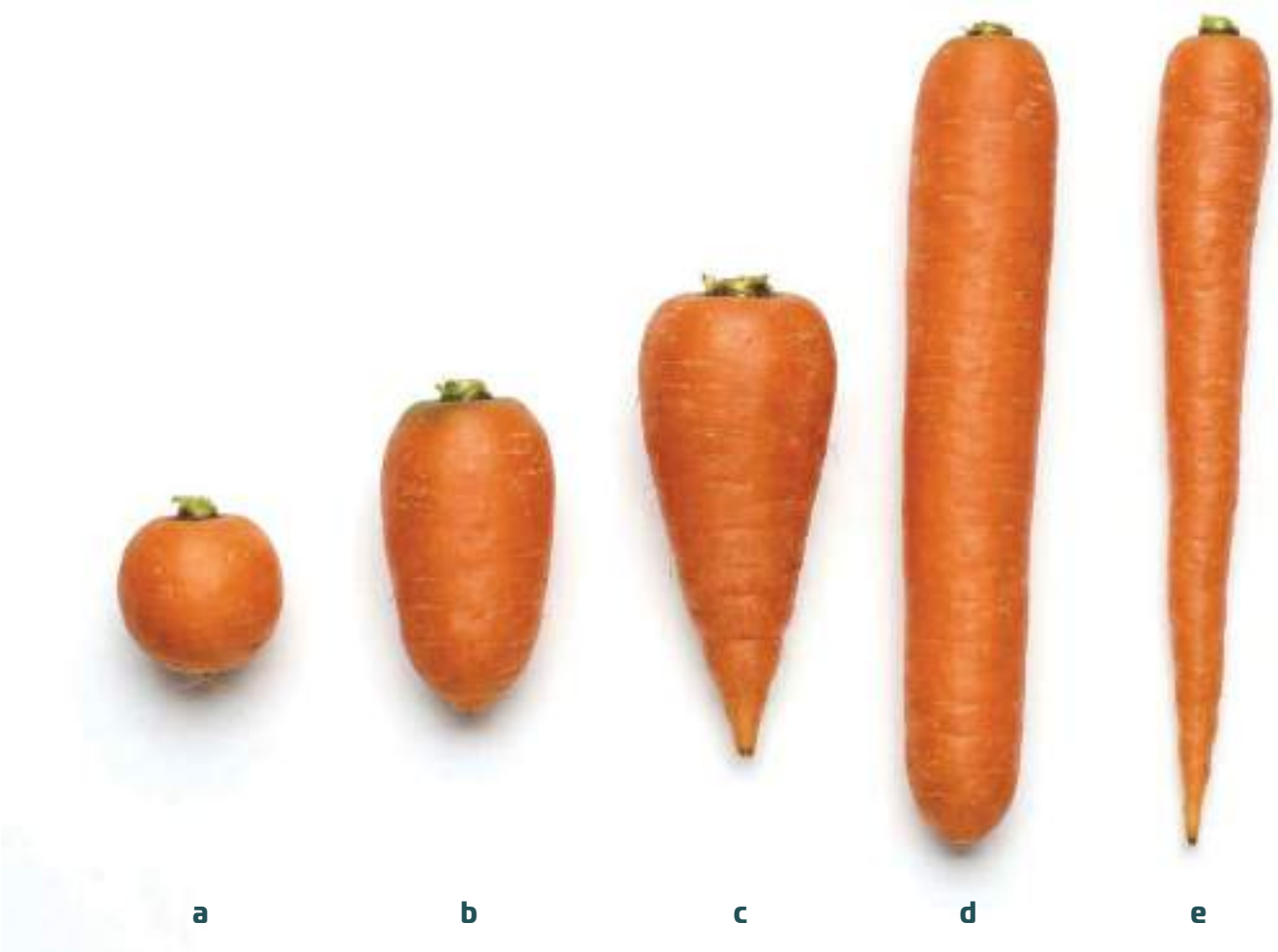


Figura 4.3. Formas de la raíz de zanahoria vista desde la sección longitudinal. a. Redonda; b. Oboval; c. Triangular invertida; d. Oblonga; e. Puntiaguda.

Ilustración: Carolina Ortiz, adaptada de IPGRI (1998)

Los pigmentos que otorgan los diferentes colores a la zanahoria (figura 4.4) son indicadores de sus compuestos; así, las zanahorias naranjas poseen betacarotenos, las rojas licopenos, las amarillas xantofilas, las púrpuras antocianinas y las blancas no tienen ningún pigmento (Jiménez, 2011).



Figura 4.4. Zanahorias con diferentes pigmentaciones.

Foto: Carolina Zuluaga

Tipos de zanahoria de acuerdo con la morfología de la raíz

Según sus características externas, la zanahoria se puede clasificar por parámetros de color, forma y tamaño. A continuación, se muestran estas clasificaciones.

Según color: se agrupan en blancas, amarillas, anaranjadas, rojas y violáceas (Valadez, 1993).

Según forma: se clasifican en cónicas o cilíndricas, con el extremo superior redondeado y el inferior en cono o puntiagudo. El IPGRI (1998) muestra cinco formas (figura 4.4).

Según tamaño: existen largas (mayores de 20 cm de longitud), semilargas (15 a 20 cm), semicortas (10 a 12 cm) y cortas (menor a 10 cm) (Reina & Bonilla Olaya, 1997).

Morfología del tallo

El tallo suele ser similar a un disco o corona de pocos milímetros sobre la parte superior de la raíz y a ras del suelo, por eso los entrenudos no se visibilizan (figura 4.5a); de estos nudos nacen las hojas (figura 4.5b).





Figura 4.5. Tallo de la zanahoria.

Fotos: Jorge Eliécer Jaramillo, Cristian Domínguez, Carolina Ortiz y Carolina Zuluaga

Morfología de las hojas

Las hojas son verdes grisáceo brillante, pubescentes, con el limbo oval dividido en lóbulos que alcanzan el nervio medio, los pecíolos son largos y acanalados (figuras 4.6a y 4.6b), la primera hoja verdadera emerge de 7 a 14 días después de la germinación, y en su etapa vegetativa las hojas forman una roseta (figuras 4.6c y 4.6d) o penacho (Guenkov, 1983; McCollum, 1992).









Figura 4.6. Hoja de la zanahoria. a. Hoja de zanahoria mostrando nerviación pinnada y limbo dividido; b. Hoja de zanahoria con pecíolo largo y acanalados saliendo del tallo; c. Hojas de zanahoria en etapa vegetativa muy joven; d. Zanahoria en etapa juvenil con hojas formando una roseta.

Fotos: Jorge Eliécer Jaramillo, Cristian Domínguez, Carolina Ortiz, Carolina Zuluaga y Paola Andrea Hormaza







Figura 4.7. Flor de la zanahoria. a. Flores verdosas; b. Flores blancas; c. Forma de sombrilla.

Fotos: Carolina Ortiz

Morfología de la flor

Son flores pentámeras, pequeñas generalmente blancas o con tonalidades verdosas o moradas (figura 4.7a), pueden ser hermafroditas y masculinas (plantas andromonoicas), sus sépalos son diminutos de color verde, los pétalos blancos y emarginados, los estambres alternipétalos insertos en el margen del disco epígino, los filamentos son filiformes, las anteras son bitecas dehiscentes por hendiduras longitudinales, y el ovario es ínfero, bilocular, con los lóculos uniovulados. Los dos estilos simples están sostenidos por un estilopodio cónico (Maroto, 1995).

Las flores se agrupan en estructuras llamadas inflorescencias, comúnmente en forma de sombrillas (figuras 4.7b y 4.7c). Según Guenkov (1983), estas sombrillas, también conocidas como umbelas, son compuestas. Cada planta presenta una umbela central o primaria, correspondiente al tallo principal, y las ramificaciones sucesivas del tallo generan umbelas de segundo, tercero y hasta séptimo orden. El número de ramificaciones, órdenes y umbelas puede variar entre plantas y depende de las condiciones ambientales (Oliva, 1990). Las umbelas primarias, siendo las más grandes, pueden medir hasta 15 cm de diámetro y suelen tener más flores por umbela.

La zanahoria puede presentar androesterilidad, donde las anteras no producen polen. Se distinguen dos tipos: el de anteras marrones, donde las anteras degeneran y marchitan antes de la antesis, y el petaloide, donde los estambres se sustituyen por pétalos. Esta condición de esterilidad se aprovecha en la producción de híbridos (Agrotendencia TV, 2022).

El periodo de floración de cada umbela, que es la apertura total de sus flores, suele durar entre 7 y 10 días, espaciándose entre las umbelas de distintos órdenes más o menos por 7 días, lo que significa que el proceso de floración de una planta de zanahoria puede extenderse entre 30 y 50 días, dependiendo del número de umbelas por planta. El desarrollo y la apertura de las flores dentro de cada umbela ocurre de afuera hacia adentro, de manera centrípeta.

La polinización es entomófila, se realiza con insectos, como señala García de Souza (2002). La floración es un proceso que se lleva a cabo en las zonas productoras de semilla de zanahoria; en Colombia, hasta el momento, no se conoce producción de semillas de zanahoria y la siembra de este cultivo se realiza con semilla de híbrida.

Morfología del fruto

Es oval y se compone de un esquizocarpo dividido en dos aquenios unidos aplanados en la zona de unión, conocido como diaquenio, con una longitud de 2 a 4 mm, y cubierto de pelos curvados. Cuando el fruto madura, los mericarpios se separan y cada uno se convierte en una semilla (NatureGate, s. f.).

En Colombia, la zanahoria no completa su fase reproductiva bajo condiciones de campo, debido principalmente a la ausencia de un periodo de vernalización asociado a la latitud tropical y a la falta de estaciones marcadas. Por esta razón, no es viable la introducción de variedades con fines de producción comercial de semilla, actividad que se concentra en regiones templadas donde se cumplen los requerimientos fisiológicos del cultivo.

Morfología de la semilla

Los mericarpios del fruto se separan al alcanzar la madurez, y cada uno forma lo que comúnmente se conoce como semilla. Estas son muy pequeñas, con una superficie convexa en un lado y casi plana en el otro (figuras 4.8a y 4.8b). Las semillas de las umbelas terciarias maduran unas tres semanas o más después de las primarias. Cada planta puede producir entre 10 y 30 gramos de semillas, siendo 1 gramo equivalente a 1.000 semillas. Sin embargo, solo alrededor del 10 % es viable, como indican Galindo & Saboyá (2020). La planta de la zanahoria en Colombia no fructifica, ya que la semilla sembrada es híbrida.

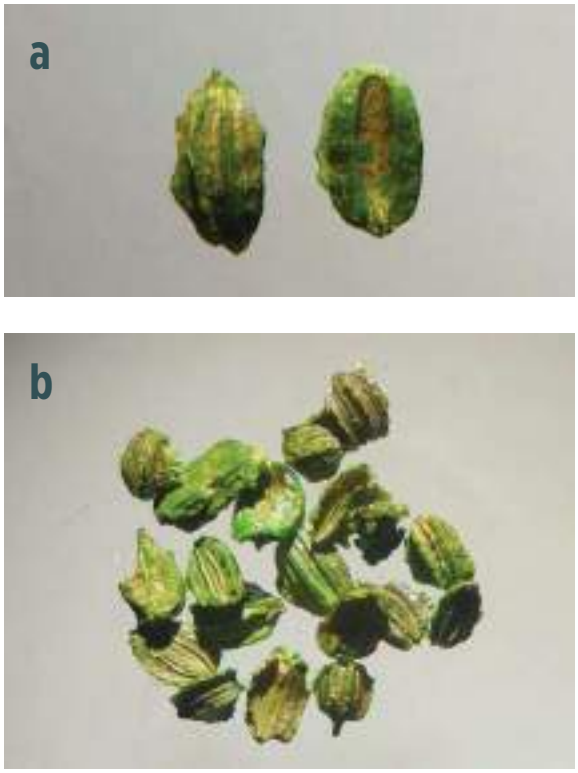


Figura 4.8. Semilla de zanahoria. a. Vista frontal y dorsal de una semilla; b. Varias semillas.

Fotos: Carolina Ortiz



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Para no olvidar...



» La historia, origen, clasificación y morfología de la zanahoria (Daucus carota L.) permite comprender la importancia agrícola y alimentaria de esta hortaliza, su riqueza genética y diversidad fenotípica.

» La planta de zanahoria es de tipo herbácea, con ciclo anual para comercialización de raíz y ciclo bienal hasta la extracción de semillas.

» En Colombia, el ciclo de producción comercial de raíces es de 120-130 días, ya que no se poseen condiciones agroecológicas para la producción de semilla.

» La longitud de la zanahoria es de 10 a 25 cm, según la variedad. Su forma napiforme puede variar desde cónica, redondeada o cilíndrica, y otras formas intermedias (figura 4.3).

» Los pigmentos que otorgan los diferentes colores a la zanahoria son indicadores de sus compuestos; así, las zanahorias naranjas poseen betacarotenos, las rojas licopenos, las amarillas xantofilas, las púrpuras antocianinas y las blancas no tienen ningún pigmento (Jiménez, 2011).

Conclusiones y perspectivas de los autores

» La clasificación entre zanahorias orientales y occidentales refleja una evolución cultural y genética compleja, con un legado que incluye desde raíces púrpuras y amarillas hasta los tradicionales materiales anaranjados, seleccionados por su alto contenido de caroteno. Asimismo, la estructura taxonómica de la especie y su pertenencia a la familia Apiaceae subrayan su vínculo con otras hortalizas de importancia como el apio, el perejil o el cilantro, con las que comparte características morfológicas y fisiológicas clave.

» Desde la perspectiva morfológica, la diversidad de formas, colores y tamaños, así como la complejidad de estructuras como la raíz, las hojas, el tallo y la flor, evidencian el potencial de la zanahoria tanto para la investigación botánica como para la selección y mejoramiento genético.

» Es fundamental fortalecer los estudios sobre diversidad genética y comportamiento adaptativo de los materiales de siembra presentes en el país, así como impulsar estrategias de mejoramiento participativo que consideren las características morfológicas y fisiológicas deseadas por los productores y el mercado.

» La zanahoria representa un cultivo versátil, adaptado a múltiples regiones del mundo, con una riqueza genética y morfológica notable. Su estudio detallado sienta las bases para avanzar en su aprovechamiento sostenible, su mejoramiento y su proyección dentro de sistemas agrícolas más resilientes e integrados.

Referencias

Alessandro, M. S., & Gabriel, E. L. (2011). Panorama varietal del cultivo de zanahoria en Argentina. *Horticultura Argentina*, *30*(72), 14-19. https://www.horticulturaar.com.ar/es/articulos/panorama-varietal-del-cultivo-de-zanahoria-en-argentina.html

Brozynska, M., Furtado, A., & Henry, R. J. (2016). Genomics of crop wild relatives: expanding the gene pool for crop improvement. *Plant Biotechnology Journal*, *14*(4), 1070-1085. https://doi.org/10.1111/pbi.12454

Agrotendencia TV. (2022). *Cultivo de zanahoria: pasos, proceso, plagas e importancia* [Video]. https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/hortalizas/cultivo-de-zanahoria/

Dempewolf, H., Baute, G., Anderson, J., Kilian, B., Smith, C., & Guarino, L. (2017). Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Science*, *57*(3), 1070-1082. https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0885

Galindo, J. y Saboyá, J. (2020). *Zanahoria (Daucus carota L.): manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87660

García de Souza, M. (2002). *El cultivo de zanahoria*. Universidad de la República de Uruguay. https://es.scribd.com/document/346769890/El-Cultivo-de-Zanahoria

Gaviola, J. C. (2013). *Manual de producción de Zanahoria*. Estación Experimental.

Godwin, A., McGill, C., Ward, A., Sofkova-Bobcheva, S., & Pieralli, S. (2023). Phenological phase affects carrot seed production sensitivity to climate change - A panel data analysis. *Science of The Total Environment*, *892*, 164502. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164502

Guenkov, G. (1983). *Fundamentos de la horticultura cubana*. Pueblo y Educación.

Hassler, M. (2004; 2023). *World plants. Synonymic checklist and distribution of the world flora*. Versión 15.2. www.worldplants.de

International Plant Genetic Resources Institute [IPGRI]. (1998). *Descriptores de la zanahoria silvestre y cultivada (Daucus carota L.)*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos de Roma.

Jiménez Apaza, S. K. (2011). *Caracterización y evaluación morfológica de zanahoria variedad altiplano (Daucus carota) frente a una variedad local en diferentes pisos ecológicos* [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés.

Kadluczka, D., & Grzebelus, E. (2022). Comparative fruit morphology and anatomy of wild relatives of carrot (Daucus, Apiaceae). *Agriculture*, *12*(12), 2104. https://doi.org/10.3390/agriculture12122104

Maroto, J. (1995). *Horticultura herbácea especial* (4.ª ed.). Mundi Prensa.

McCollum, J. P. (1992). *Producing vegetable crops*. The Interstate Printers & Publis hers, Inc.

Morales Payán, J. P. (2008). *Guía técnica cultivo de zanahoria*. Cedaf.

NatureGate. (s. f.). *Zanahoria, Daucus carota - Flores*. https://luontoportti.com/es/t/1846/zanahoria

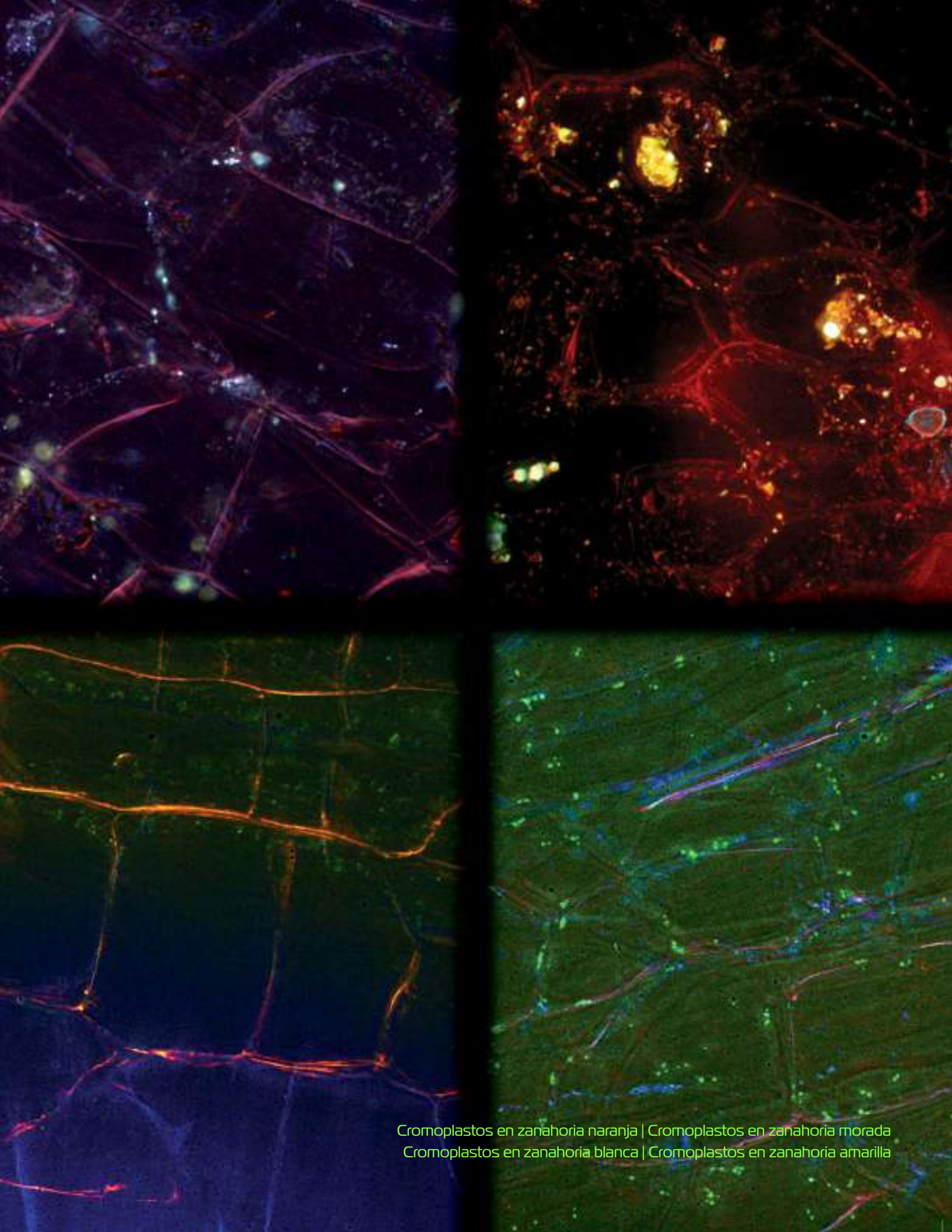
Oliva, R. N. (1990). *Actas Curso Taller en Tecnología de producción de semillas hortícolas para pequeños agricultores. Zanahoria*. INTA Argentina.

Prohens, J., Gramazio, P., Plazas, M., Dempewolf, H., Kilian, B., Díez, M. J., Fita, A., Herráiz, F. J., Rodríguez-Burruezo, A., Soler, S., Knapp, S., & Vilanova, S. (2017). Introgressiomics: a new approach for using crop wild relatives in breeding for adaptation to climate change. *Euphytica*, *213*(7), 158. https://doi.org/10.1007/s10681-017-1938-9

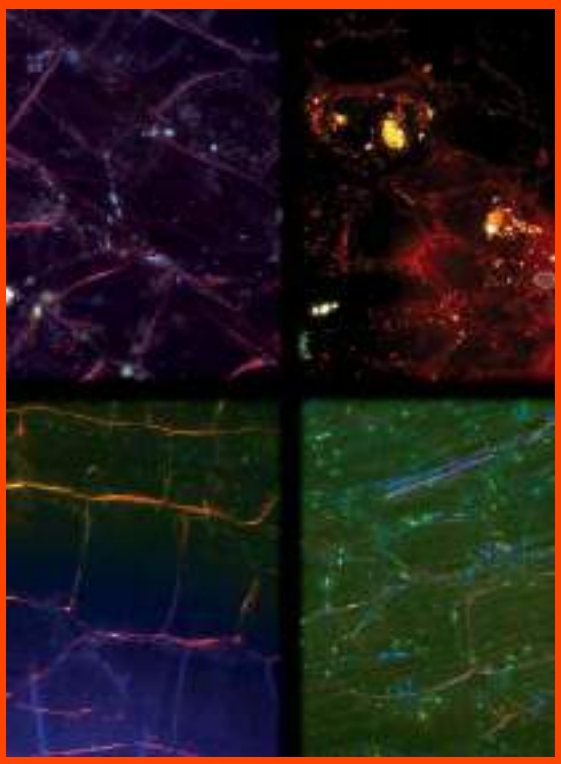
Reina, C. E., & Bonilla Olaya, J. F. (1997). *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la zanahoria (Daucus carota L) que se comercializa en la ciudad de Neiva*. Universidad Surcolombiana.

Rubatzky, V. E., Quiros, C. F., & Simon, P. W. (1999). *Carrots and related vegetable Umbelliferae* (pp. ix+-294). https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19990309628

Valadez, A. (1993). *Producción de hortalizas. Noriega.*



Cromoplastos en zanahoria naranja | Cromoplastos en zanahoria morada
Cromoplastos en zanahoria blanca | Cromoplastos en zanahoria amarilla



Título

Cromoversidad

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 120 fotos de 60 micras de profundidad. Colores propios de la autofluorescencia del tejido.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Juan Camilo Henao-Rohas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Cromoplastos y distribución de pigmentos al interior de la raíz de la zanahoria entre variedades de diferentes colores: naranja, morada, blanca y amarilla.

Capítulo V

Principales variedades de zanahoria

Jorge Jaramillo Noreña
Carolina Ortiz Muñoz
Cristian Domínguez Pulgarín
Carolina Zuluaga Mejía

Introducción

La tendencia mundial en el cultivo de la zanahoria está basada en el mejoramiento de la calidad de las raíces, raíces sin hombros verdes, uniformidad en el color de la raíz, baja residualidad de agrotóxicos, incremento de la producción orgánica y cultivares con mayor valor nutricional y medicinal. También se buscan materiales con mayor contenido de carotenoides y resistencia o tolerancia a enfermedades, tolerancia a altas temperaturas, mayor contenido de sólidos solubles y fitofármacos o fitoquímicos como flavonoides, carotenoides, cumarinas, monoterpenos, politerpenos, ácido fenólico y poliacetilenos para prevención de enfermedades como el cáncer. Otro campo de acción es la tendencia de consumo de hortalizas gourmet en las que se encuentran cultivares mejorados de diferentes colores y miniatura.

En Colombia, la totalidad de la semilla utilizada para el cultivo de zanahoria es de origen importado, principalmente de Estados Unidos y países europeos como Holanda. Las casas de semillas realizan procesos de evaluación y adaptación de los materiales a las condiciones agroclimáticas locales antes de su liberación comercial. Sin embargo, el uso creciente de cultivares híbridos de alto potencial productivo implica mayores exigencias técnicas y económicas para su manejo, lo que en muchos casos limita la expresión de su potencial genético por parte de los productores.

A nivel global, el mercado de semillas de zanahoria presenta una amplia diversidad de materiales que difieren en forma, color, tamaño y

uso, agrupados históricamente en diferentes tipos varietales. Para el consumo en fresco, el tipo Nantes predomina a nivel mundial, debido a la alta calidad y uniformidad de sus raíces (IPGR, 1998). En América del Sur son comunes los tipos Chantenay y Danvers, mientras que en Europa del Este predominan los tipos Flakkee, en Asia los Kuroda y en América del Norte los Imperator. En el ámbito industrial, los tipos Amsterdam y Flakkee son los más utilizados (Saavedra et al., 2019).

En el contexto colombiano, las preferencias del consumidor se orientan hacia zanahorias con raíces bien desarrolladas, cilíndricas, lisas y uniformes, con longitudes entre 15 y 20 cm, diámetros de 3 a 4 cm, ausencia de raíces secundarias y una coloración naranja intensa. En el departamento de Antioquia, los cultivares más utilizados para el consumo en fresco corresponden principalmente a materiales de tipo Berlicum, así como a híbridos comerciales como Larga Vida, Belgrado y Extremo (Quintero & Franco, 2023).

En este capítulo se emplean los términos variedad, tipo varietal, cultivar e híbrido, los cuales presentan diferencias conceptuales relevantes. En sentido estricto, una variedad corresponde a una población genéticamente estable y reproducible por semilla, mientras que un cultivar es un material vegetal obtenido mediante mejoramiento genético, identificado por un nombre comercial y con características agronómicas definidas. En el caso de la zanahoria, denominaciones como Nantes, Chantenay, Danvers, Kuroda, Imperator o Flakkee corresponden a tipos varietales o grupos morfológicos, definidos por la forma, tamaño, color y uso de la raíz, y no necesariamente a variedades comerciales específicas.

Dado que en Colombia la producción de zanahoria se basa casi exclusivamente en cultivares híbridos (F1) importados, pertenecientes a estos tipos varietales, en el presente capítulo se describen inicialmente los principales tipos varietales como marco de referencia agronómico y comercial, y posteriormente se presentan los cultivares e híbridos comerciales utilizados en el país.

Descripción de los principales tipos varietales de zanahoria

Nantes: corresponde a uno de los tipos varietales más populares de zanahoria a nivel mundial, originario de Occidente. Se distingue de otras variedades convencionales por su alto contenido de azúcar, su centro es más suave, la raíz es un poco más corta y la punta achatada. Su origen se remonta a Francia. Las plantas de esta variedad tienen un follaje de color verde oscuro y pueden alcanzar una altura de hasta 30 cm. Las raíces son cilíndricas, miden entre 15 y 18 cm de longitud, con un diámetro de 3 a 4 cm, y presentan un color naranja oscuro (Villeneuve, 2020). Los cultivares del tipo Nantes suelen ser susceptibles a enfermedades del follaje, por lo que no se recomienda su cultivo en la estación lluviosa y calurosa. Su ciclo vegetativo oscila entre 90 y 110 días (Heirloom Carrot Seeds, s. f.).

Chantenay: probablemente las más pequeñas, aunque un poco más largas que las de tipo París (Anagnoste et al., 2010). Se presentan en varios colores, principalmente naranja, mora-



do, amarillo o blanco. Originarios de Occidente, tienen una forma alargada, más ancha en la parte superior y terminan en una punta redondeada. Su interior es más claro que otras variedades. Se caracterizan por su forma cónica, con un tamaño típico de 15 a 18 cm y un grosor de 6 a 8 cm. Aunque su crecimiento es lento al principio, se acelera cuando la raíz llega a la madurez, alcanzando un alto rendimiento (Agroactivocol, s. f.).

Danvers: estas zanahorias se caracterizan por tener una longitud que va desde media hasta larga, con un cuello ancho y terminación puntiaguda (Burns, 2023). Se adaptan mejor a altitudes entre 1.800 y 2.400 m s. n. m., y se recomienda una densidad de siembra de 8 a 10 libras. La siembra debe ser directa, con una distancia de 10 centímetros entre plantas y 45 centímetros entre surcos. El periodo de germinación oscila entre 8 y 10 días, mientras que el tiempo de cosecha se sitúa entre 110 y 120 días después de la siembra. Cada gramo contiene alrededor de 800 a 825 semillas, y se estima una producción de 25 a 30 toneladas por hectárea (Fercon, s. f.).

Flakkee: esta variedad se distingue por tener raíces grandes de 18-22 cm de longitud, alargadas y con forma cilíndrica algo cónica, de terminación obtusa y diámetro grueso (Ding & Liu, 2024). Tiene un sabor muy dulce y buena conservación. Posee hojas de mayor tamaño en comparación con la mayoría de las variedades de zanahorias (follaje bien desarrollado) y es de ciclo de desarrollo y crecimiento tardío, aunque depende de la altura sobre el nivel del mar donde se siembre. Es una variedad muy rústica, opción popular en la industria debido a su alto contenido de fibra (Agrobesser, s. f.).

Amsterdam: este tipo de zanahorias es cultivado a gran escala y se distingue por carecer de corazón, lo que la hace más dulce, y por su carne de color naranja intenso, lo que la hace ideal para uso industrial en alimentos como pulpa, compotas y jugos (Saavedra, 2019). Tiene forma cilíndrica de unos 15 cm de largo y puntiaguda algo estilizada (Stelmach et al., 2021). Se cosecha a los 100-120 días después de sembrada y comparte su origen occidental con las zanahorias Nantes (Garden Seeds Market, s. f.a). La

aprovechan para producir zanahorias miniatura y en fresco se comercializa con las hojas, debido a su exuberante follaje.

París: destacan de otras variedades por ser despuntadas y por su tamaño pequeño y compacto, que se asemeja a los rábanos. También son conocidas como "Mercado de París" y tienen su origen en Europa. Esta variedad necesita alrededor de 60-75 días para alcanzar su madurez y tolera suelos pesados. Su raíz crujiente, aunque pequeña y redonda, tiene un aroma y sabor dulce (Magic Garden Seeds, s. f.).

Kuroda: las plantas de esta variedad exhiben un follaje vigoroso, con hojas que pueden alcanzar hasta los 50 cm de altura. Sus raíces son de color rojo anaranjado y cónica, de longitudes de entre 15 a 20 cm (Islam et al., 2025). Este grupo de cultivares muestra una tolerancia notable a temperaturas elevadas y buena resistencia a enfermedades del follaje cuando se siembran en verano en regiones cálidas. El ciclo vegetativo de estas zanahorias es de aproximadamente 100 días (Saenzfety, s. f.).

Imperator: es una variedad tardía, excelente opción para los cultivadores aficionados. Sus raíces largas, cilíndricas y jugosas, de color naranja intenso (Ding & Liu, 2024), las hace apetitosas, sumando a ello su delicioso sabor. El abundante follaje de las plantas facilita su cosecha. Esta zanahoria se recomienda especialmente para el procesamiento y almacenamiento prolongado, ya que proporciona un material excelente para la elaboración de jugos orgánicos (Garden Seeds Market, s. f.b).

Zanahorias miniatura (*baby carrot*): la zanahoria baby, como se les conoce popularmente, tiene su origen en 1986 en California (Estados Unidos), gracias al agricultor Mike Yurosek, quien propuso un uso para aprovechar la zanahoria de descarte (feas y deformes), transformándolas en lo que hoy se conoce como las *baby carrots*. El aspecto atractivo de esa zanahoria lo logró utilizando un cortador industrial, sacando trozos uniformes y lisos de aproximadamente 5 cm (Peterson, 2008). Gracias a este invento, el consumo de este vegetal aumentó un 30 % en Estados Unidos, y 10 años más tarde, en 1997, los estadounidenses consumían un 117 % más de zanahorias (Milenio, 2021).

Otra manera de producir zanahorias miniatura es sembrándolas a densidades muy altas (generalmente unos 3 centímetros entre planta, en hileras a unos 10 centímetros sobre la cama) (aproximadamente de 70 días después de siembra). Esto evita que se engrosen y se estimula su crecimiento hacia abajo, logrando una forma delgada y alongada. Cuando han llegado al tamaño adecuado para el mercado de miniaturas, estas se cosechan estando aún las raíces en formación. Sin embargo, utilizar este método para producir las zanahorias baby es más costoso (Morales-Payán, 2008).

Las variedades que se suelen usar para producir este tipo de zanahoria son de color anaranjado oscuro, con sabor suave, de superficie lisa, delgadas, cilíndricas y de corazón pequeño, y su tamaño suele ser de 7 a 10 cm. Algunas variedades que pueden usarse para este propósito son mini pak, mini core, mino cos, mini express, mokum, caropak y spartan winner (Morales-Payán, 2008).

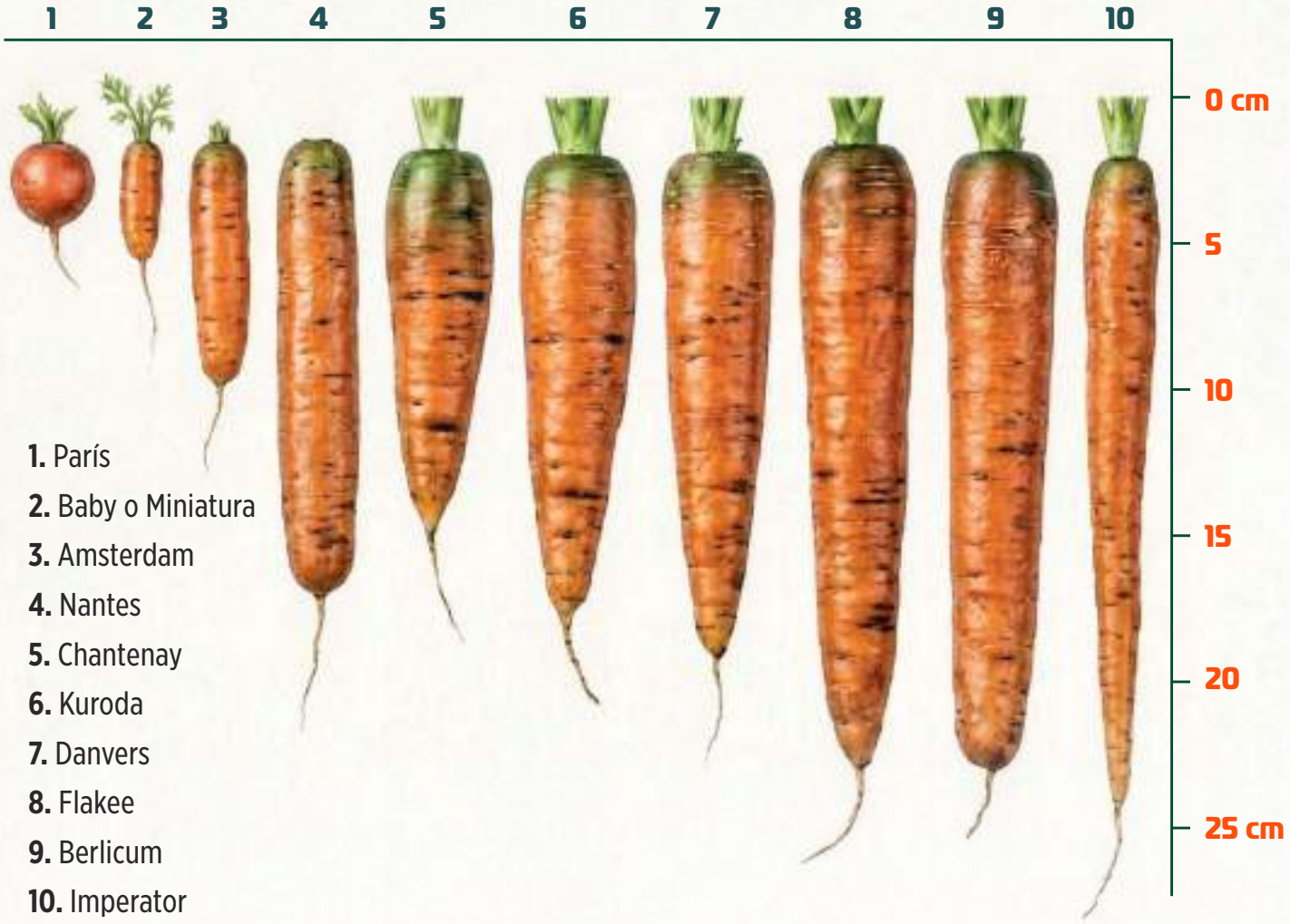


Figura 5.1. Tipos o variedades de zanahorias más sembrados y consumidos en la agricultura.

Fuente: Elaboración propia con base en Estrada (2008)

Variedades e híbridos comerciales en Colombia

En Colombia, la producción de zanahoria se basa en el uso de cultivares híbridos comerciales, desarrollados por casas de semillas internacionales, los cuales pertenecen a diferentes tipos varietales previamente descritos.

Danvers 126: las zanahorias de este tipo se caracterizan por su longitud de media a larga, de unos 15 a 17 cm, con un cuello ancho de entre 5 y 6 cm y un extremo puntiagudo (figura 5.2). Tienen una piel lisa y un follaje grande y resistente, lo que les confiere una buena tolerancia al calor. Esta variedad es más usada para consumo en fresco (Fercon, 2015).



Figura 5.2. Zanahoria de la variedad Danvers.

Foto: Cristian Domínguez

Chantenay: estas zanahorias se caracterizan por tener una corona ancha, de aproximadamente 5 a 6 cm de diámetro y una forma cónica corta. Su ciclo de vida es de alrededor de 80 días y alcanzan un tamaño de unos 13 cm. Tienen un corazón o médula grande y conservan un color fresco, con una piel rugosa y hojas de gran tamaño (figura 5.3). Esta variedad se utiliza para consumo en fresco e industrial (Fercon, 2015).



Figura 5.3. Zanahoria de la variedad Chantenay.

Foto: Cristian Domínguez

Bangor: se trata de un híbrido del tipo Berlicum. La raíz es naranja y de forma cilíndrica, mide entre 18 y 30 centímetros de longitud y pesan entre 250 y 450 gramos (figura 5.4). El follaje es vigoroso y muestra una alta tolerancia a enfermedades, así como una baja susceptibilidad a la corona verdosa y a las rajaduras. Este cultivar ofrece un alto rendimiento y una calidad notable, además de ser adecuado para el almacenamiento prolongado. Por lo general, está listo para la cosecha entre 90 y 140 días después de la germinación (Ávila, 2015).



Figura 5.4. Zanahoria híbrida Berlicum.

Foto: Cristian Domínguez

Olimpo: desarrollada por Vilmorin y el equipo técnico de Brimport Seed en Venezuela. Se trata de un híbrido F1 del tipo Kuroda. Es altamente productiva y muestra una excelente uniformidad, con un bajo porcentaje de rajado y una buena capacidad de poscosecha, con hojas de color verde oscuro y porte erguido. Destaca por su alto contenido de materia seca y betacaroteno, y su color es poco variable entre el corazón y la pulpa. Se caracteriza por tener una piel muy fina y un color naranja intenso en las raíces, con un desarrollo vegetativo alto y erecto que proporciona una cobertura óptima sobre las raíces para evitar el hombro verde o el daño solar. Las raíces son uniformes, de buen vigor y muestran una buena tolerancia a problemas fitosanitarios, como el tizón foliar y el oídio. Tienen forma cónica, una coloración naranja intensa, con una longitud de raíz que oscila entre los 12 y 16 cm y un diámetro basal de 3,5 a 4,5 cm (figura 5.5). Esta variedad muestra una excelente adaptabilidad a altitudes de 1.800 a 2.700 m s. n. m., con un tiempo aproximado de cosecha de 110 a 130 días después de la siembra y una densidad de siembra de 900.000 a 1.000.000 de semillas por hectárea (Brimportseed, s. f.).



Figura 5.5. Zanahoria híbrida Olimpo.

Foto: Cristian Domínguez

Extremo: variedad tipo Berlicum, es la zanahoria híbrida F1 con mayor tolerancia a la alternaria en el mercado colombiano, por lo que presenta alta productividad. Plantas rústicas, de porte erecto, de rápido establecimiento, muy vigorosas y de buen comportamiento frente a problemas sanitarios. Raíces con fuerte inserción de hojas, cilíndricas, rectas, de alta uniformidad, lenticelas poco notorias, coloración muy intensa y baja formación de hombro verde. La longitud de la raíz es de 15 a 23 cm, con diámetro de 4 a 6 cm (figura 5.6). Posee una adaptabilidad a terrenos entre los 1.600 y 2.700 m s. n. m. Además, tiene una tolerancia intermedia a la alternaria (*Alternaria dauci*) y al Damping Off (*Pythium* spp.). Los días para cosecha van entre los 120 y 150 días después de siembra. La densidad de siembra es de 900.000 a 1.000.000 de semillas/ha (Saenzfety, s. f.).



Figura 5.6. Zanahoria híbrida Extremo.

Foto: Cristian Domínguez

Xela: es una variedad de zanahoria Berlicum que destaca por su excelente germinación, resistencia al rajado y buena poscosecha. La planta es vigorosa y muestra un alto potencial de rendimiento, incluso a densidades de siembra bajas. Su madurez es de media a tardía y presenta un buen formato y uniformidad en las raíces. Además, muestra un buen comportamiento frente a enfermedades foliares. El ciclo desde la siembra hasta la cosecha es de aproximadamente 100 a 120 días. Las raíces son cilíndricas y de color naranja, con una longitud promedio de 20 a 25 cm (figura 5.7). Esta variedad también muestra una resistencia intermedia a enfermedades como *Alternaria dauci* y *Phytophtora megasperma* (Impulsemillas, s. f.).



Figura 5.7. Zanahoria de la variedad Xela.

Foto: Cristian Domínguez



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Análisis comparativo de materiales de siembra y contexto de mercado

La selección del material de siembra en zanahoria constituye una decisión estratégica dentro de la cadena productiva, ya que influye directamente en el rendimiento, la calidad de la raíz y la aceptación comercial del producto. En el contexto colombiano, donde la producción depende casi exclusivamente de cultivares híbridos (F1) importados, el conocimiento de las características agronómicas, comerciales y de uso de los distintos tipos varietales y cultivares disponibles resulta fundamental para productores y técnicos.

Aunque no existen estadísticas oficiales desagregadas por cultivar o híbrido a nivel nacional, diversos informes de comercio exterior evidencian la importancia económica del mercado de semillas hortícolas, dentro del cual la zanahoria representa una fracción relevante de las importaciones de semillas en Colombia (Centro Virtual de Negocios [CVN], 2020, 2023). A escala global, el mercado de semillas de zanahoria muestra una tendencia de crecimiento sostenido, impulsada por la demanda de cultivares de alto rendimiento, calidad uniforme y adaptación a distintos sistemas productivos (Verified Market Reports, 2024; Spherical Insights, 2025).

En este contexto, el cuadro comparativo que se presenta a continuación integra información agronómica, de uso y de mercado de los principales tipos varietales, cultivares e híbridos de zanahoria, con el fin de facilitar la comparación de criterios clave para la elección del material de siembra, tal como la finalidad productiva, las ventajas agronómicas y su relevancia dentro de las cadenas de valor hortícolas (WiseGuyReports, 2024).

Tabla 5.1. Cuadro comparativo de materiales de siembra de zanahoria en Colombia

Material / Cultivar / Híbrido	Tipo (Concepto)	Uso principal	Ventajas agronómicas	Consideraciones de mercado / uso en Colombia
Nantes (tipo varietal)	Tipo varietal	Fresco / general	Raíz uniforme, buena calidad organoléptica	Muy popular globalmente, base de muchos híbridos comerciales
Chantenay (tipo varietal)	Tipo varietal	Fresco / Industrial	Buena adaptabilidad, forma robusta	Amplio uso local y regional
Danvers (tipo varietal)	Tipo varietal	Fresco / Industrial	Buena tolerancia al manejo y almacenamiento	Referencia histórica de mercado
Imperator (tipo varietal)	Tipo varietal	Fresco / Procesado	Alta productividad, forma cilíndrica larga	Muy representativo del mercado de semillas global (WiseGuy Reports)
Bangor F1 (Berlicum)	Híbrido (F1)	Fresco	Alta uniformidad y vigor	Muy usado en Colombia
Extremo F1	Híbrido (F1)	Fresco	Tolerancia a alternaria, alta productividad	Indicador de preferencia regional
Xela F1	Híbrido (F1)	Fresco	Buena poscosecha y vigor	Utilizado con éxito localmente
Híbridos miniatura (varios)	Híbridos / cultivares	Consumidor gourmet	Producto diferenciado para nichos	Mercado creciente por tendencias gourmet

Fuente: Elaboración propia



Para no olvidar...

- En Colombia, las características de la zanahoria apetecidas por el consumidor se basan en raíces de color naranja intenso, bien desarrolladas, cilíndricas, lisas, uniformes, con longitud de 15 cm a 20 cm y diámetro y de 3 cm a 4 cm.

- En Antioquia, las variedades más usadas para el consumo en fresco son las zanahorias Larga vida, Bangor, Belgrado y Extremo (Quintero & Franco, 2023).

- Las variedades de zanahorias usadas para consumo en fresco son: Nantes, por su alto contenido de azúcar, su centro es más suave; Chantenay, debido a su tamaño y variedad de colores, como naranja, morado, amarillo o blanco, y Danveres, por su adaptación a condiciones de altitud, alta densidad de siembra y producciones elevadas.

- Las variedades usadas para uso industrial son: Flakkee, por sus raíces grandes (18-22 cm de longitud), alta rusticidad y ciclo de desarrollo y crecimiento tardío; Amsterdam, porque es más dulce, de color naranja intenso, ideal para pulpa, compotas y jugos, y Bangor, por su alta tolerancia a enfermedades, baja susceptibilidad a corona verdosa y a las rajaduras, y capacidad de almacenamiento prolongado.



Conclusiones y perspectivas de los autores

» La zanahoria (*Daucus carota* L.) presenta gran diversidad genética, morfológica y funcional resultado de siglos de domesticación, selección y mejoramiento genético en diferentes regiones del mundo. La descripción de los tipos varietales y sus características agronómicas permite comprender su adaptación a diversos usos: desde el consumo en fresco hasta el procesamiento industrial, pasando por tendencias modernas como las hortalizas gourmet y las zanahorias miniatura.

» Los programas de mejoramiento generan cultivares con mayores rendimientos, contenido nutricional y adaptabilidad a condiciones climáticas adversas.

» Existe un interés creciente por variedades con alto contenido de carotenoides, fitocompuestos funcionales y tolerancia a enfermedades, mostrando una clara convergencia entre los objetivos agronómicos y las demandas del consumidor.

» En el contexto colombiano, persiste la dependencia casi total de la semilla importada, especialmente de híbridos provenientes de Estados Unidos y Europa. Esto plantea retos importantes para la sostenibilidad y la autonomía tecnológica del sector.

» Además del fortalecimiento de capacidades locales en evaluación varietal y manejo agronómico, debe reconocerse que las condiciones ambientales de Colombia, como la ausencia de estaciones marcadas y periodos de vernalización, limitan la posibilidad de producir semilla de zanahoria a nivel nacional.

» La evaluación agronómica de los híbridos disponibles en el mercado bajo las condiciones agroclimáticas en el país muestra su adaptación de los diferentes materiales, y el acompañamiento técnico a productores es base para lograr un manejo eficiente y rentable de estos cultivares, reduciendo el riesgo agronómico y garantizando una producción estable, sin sacrificar el acceso a materiales genéticamente superiores.

Referencias

Agroactivocol, (s. f.). *Ficha técnica de zanahoria Chantenay Royal*. https://agroactivocol.com/products/zanahoria-chantenay-royal?srsltid=AfmBOoqGCENi7sJLLIpAynYO7yVOcmiHipfiW3m3lbwg1FW6T4k9047E

Agrobesser, (s. f.). *Zanahoria Olimpo, semilla de zanahoria Flakkee*. https://agrobesser.com/semillas/zanahoria-olimpo-100000-semillas-semilla-de-zanahoria-flakkee-conico-vilmorin-347.html

Anagnoste, I., Câmpeanu, G., Atanasiu, N., & Neața, G. (2010). *Determination of the production performance of new carrot cultivars in Constanta area*. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143217956

Ávila-Cubillos, E. (2015). *Manual del cultivo de zanahoria*. Cámara de Comercio de Bogotá. http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bedri. (s. f). *Zanahoria*. https://www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/Z/ZA/Zanahoria.html

Bejogt. (s. f.). *Zanahoria Berlicum F1*. https://www.bejogt.com/zanahoria/berlin-f1

Brimportseed, (s. f.). *Zanahoria Olimpo F1 Vilmorin*. http://brimportseed.com/semillas/zanahoria-olimpo-f1-vilmorin/

Burns, E. E. (2023). Carrots. En *Processing vegetables* (pp. 117-127). Routledge.

Centro Virtual de Negocios [CVN]. (2020). *Importación de semillas en Colombia: un mercado en crecimiento*. https://www.cvn.com.co/en/importacion-de-semillas-en-colombia-un-mercado-en-crecimiento/

Centro Virtual de Negocios [CVN]. (2023). *Colombia importó semillas hortícolas por más de 120 toneladas en 2022*. https://www.linkedin.com/pulse/importaci%C3%B3n-de-semillas-en-colombia-super%C3%B3/

Ding, H., & Liu, M. (2024). From root to seed: Unearthing the potential of carrot processing and comprehensive utilization. *Food Science & Nutrition*, *12*(11), 8762-8778. https://doi.org/10.1002/fsn3.4542

Estrada Trinidad, M. (2008). *Aislamiento, evaluación y caracterización de fracciones antimicrobianas de las diversas partes de la zanahoria* [Tesis de grado]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/251/1/Aislamiento%20evaluacion%20y%20caracterizacion.pdf

Fercon. (2015). *Catálogo de productos*. https://fercon.com.co/catalogo2015/down/Catalogo_Productos_Fercon_2015_book.pdf

Fercon, (s. f.). *Ficha técnica de zanahoria Danver*. https://fercon.com.co/producto/zanahoria-danvers/?srsltid=AfmBOopmn6LxX0fNbfBX1t85Fu2S7D-zCSrv7Nof10NiLUikWiQ7gqDG

Garden Seeds Market. (s. f.a). *Zanahoria Amsterdam*. https://gardenseedsmarket.com/zanahoria-amsterdam-semillas-en-cinta.html

Garden Seeds Market. (s. f.b). *Zanahoria "Imperator"*. https://gardenseedsmarket.com/zanahoria-imperator-variedad-tardia.html

Impulsemillas. (s. f.). *Zanahoria híbrida Xela F1*. https://www.impulsemillas.com/producto/zanahoria-hibrida-xela-f1/

Instituto Internacional de Recursos Genéticos [IPGR]. (1998). *Descriptores de la zanahoria silvestre y cultivada (Daucus carota L.)*. Bioversity International.

Islam, A., Rashid, M. H. A., Hossain, M. M., Rabbani, M. G., & Zahura, M. F. T. (2025). Evaluation of carrot cultivars for higher growth, yield and postharvest quality. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *23*(3), 342-358. https://doi.org/10.3329/jbau.v23i3.84454

Magic Garden Seeds. (s. f.). *Zanahoria redonda "Mercado de París" (Daucus carota) semillas*. https://www.magicgardenseeds.es/Zanahoria-redonda-Mercado-de-Paris-Daucus-carota-semillas

Milenio. (2021). *¿Las modificaron genéticamente? Te contamos el curioso origen de las zanahorias baby*. https://www.milenio.com/virales/curiosidades/zanahorias-baby-historia-y-como-nacieron

Morales-Payán, J. P. (2008). *Guía técnica cultivo de zanahoria*. CEDAF. https://intranet.cedaf.org.do/digital/zanahoria.pdf

Peterson, T. (2008). Bringing up baby (carrots). *Gastronomica*, *8*(4), 55-59. https://doi.org/10.1525/gfc.2008.8.4.55

Quintero, L. M., & Franco, G. (2023). *Caracterización de subproductos agrícolas en fincas productoras de zanahoria* [Documento interno]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Saavedra, G., & Kehr, E. (2019). Zanahoria. *Boletín INIA*, *411*, 71-120. https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/e7b0239a-d9aa-4736-a760-000c351eb65d/content

Saenz Fety. (s. f.). *Olimpo F1. Ficha técnica*. https://saenzfety.com/producto/zanahoria-olimpo-f1/

Spherical Insights. (2025). *Global carrot seed market size, growth and forecast to 2033*. https://www.sphericalinsights.com/reports/carrot-seed-market

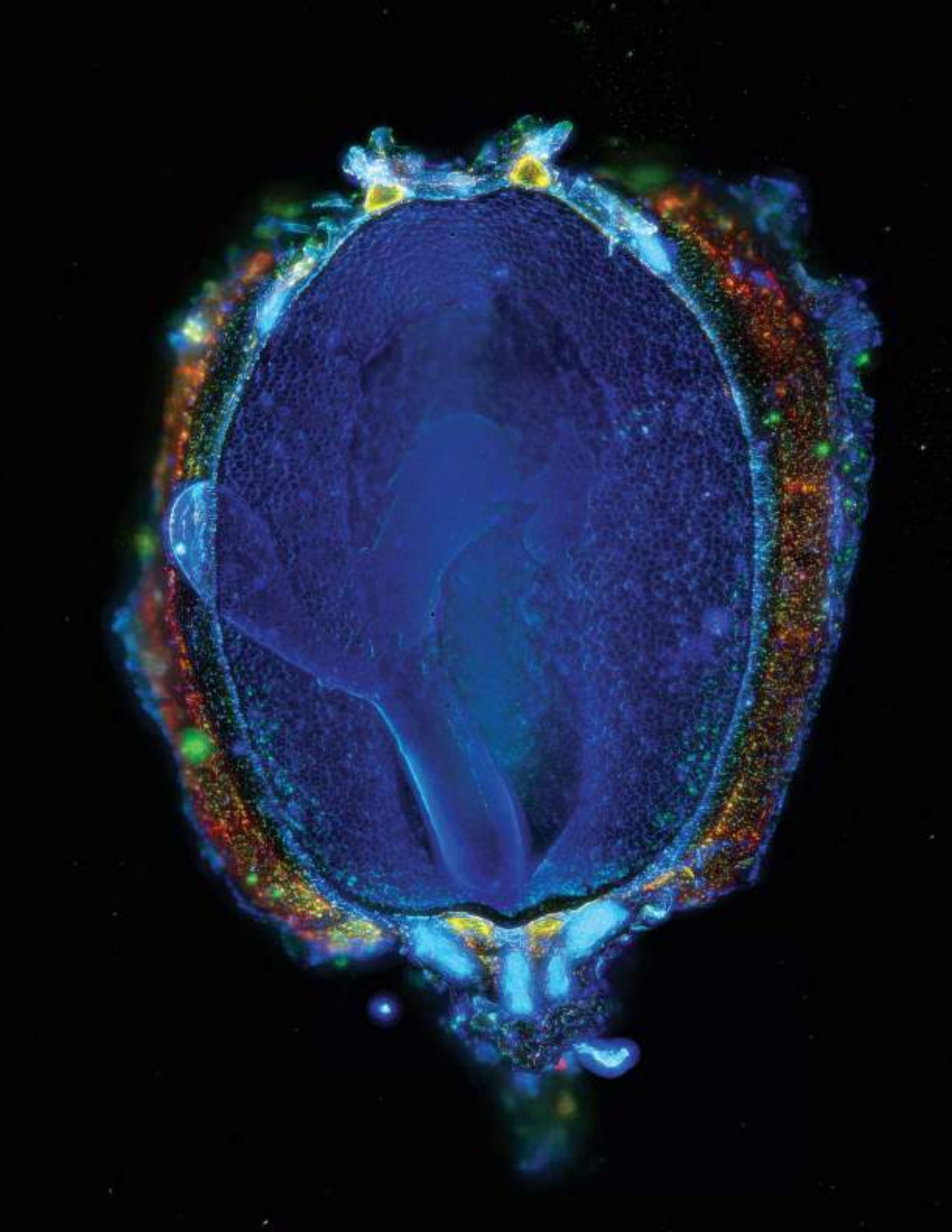
Stelmach, K., Macko-Podgórni, A., Allender, C., & Grzebelus, D. (2021). Genetic diversity structure of western-type carrots. *BMC Plant Biology*, *21*(1), 200. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02980-0

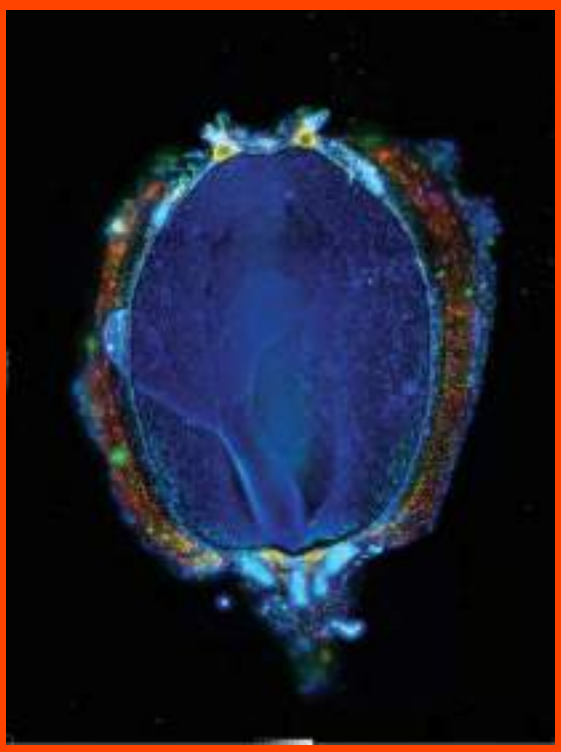
True Leaf Market. (s. f.). Heirloom Carrot Seeds - Scarlet Nantes. https://www.trueleafmarket.com/products/carrot-scarlet-nantes

Verified Market Reports. (2024). *Carrot seed market size, industry outlook and forecast 2033*. https://www.verifiedmarketreports.com/product/carrot-seed-market/

Villeneuve, F. (2020). Carrot growth and development. En E. Geoffriau, & P. W. Simon (Eds.), *Carrots and related apiaceae crops* (pp. 76-91). CABI. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9781789240955.0076

WiseGuyReports. (2024). *Carrot seeds market: trends, segmentation and growth analysis*. https://www.wiseguyreports.com/es/reports/carrot-seeds-market





Título

Lo inmutable del inicio

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 640 fotos de 80 micras de profundidad.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao-Rojas

Descripción

Semilla de zanahoria después de la imbibición, pero previa a la protrusión de la raíz. En la parte más externa se observa el pericarpo (cubierta del fruto), dos cotiledones y el eje hipocótilo-radícula, que coincide con el anillo periférico de color cian verde amarillo brillante que rodea la imagen.

Capítulo VI

Manejo agronómico del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en el departamento de Antioquia

Jorge Jaramillo Noreña
Carolina Zuluaga Mejía
Cristian Domínguez Pulgarín
Carolina Ortiz Muñoz

Preparación del suelo

La preparación adecuada del suelo es fundamental para el buen desarrollo del cultivo de zanahoria. Antes de sembrar las semillas, es crucial asegurarse de que el suelo esté bien drenado, aireado y suelto hasta una profundidad de al menos 20 centímetros. Esto facilita el crecimiento de las raíces y ayuda a prevenir la compactación del suelo. Las herramientas agrícolas utilizadas para la preparación del suelo son los arados, diseñados para labrarlo y prepararlo.

La selección del tipo de implemento para la preparación del terreno debe realizarse considerando principalmente la textura y la condición física del suelo. En suelos de textura franca a franco-arenosa, con buena estructura y adecuada aireación, pueden emplearse implementos de preparación convencional o reducida, como rastras o cultivadores, que permitan obtener un perfil suelto sin alterar excesivamente la estructura. En suelos de textura más fina (franco-arcillosa a arcillosa) o con evidencias de compactación, resulta necesario el uso de implementos de mayor capacidad de penetración, como cinceles o subsoladores, que faciliten la ruptura de capas endurecidas y mejoren la porosidad del suelo. En todos los casos, la elección del implemento debe ajustarse a la humedad del suelo al momento del laboreo, evitando intervenciones en condiciones excesivamente húmedas que incrementen el riesgo de compactación. A continuación, se describen algunos tipos comunes de arados y herramientas (Contreras, 2004).

Arado de vertedera

Es el tipo de arado en que se rompe y se voltea el suelo, formando un canal que permite la aireación y la circulación del agua de lluvia hasta las capas profundas, así como la incorporación de los restos de cosecha para su descomposición en condiciones anaerobias.

Arado de disco

Este tipo de laboreo del suelo rompe y voltea el suelo produciendo esponjamiento y aireación (figura 6.1). La incorporación de los restos de cosecha es menor que en el de vertedera.



Figura 6.1. Arado de disco.

Foto: Cristian Domínguez

Arado de rastra

Mientras que el arado de disco convencional presenta un soporte por cada disco, fijado al bastidor principal del arado, en el de rastra los discos se soportan en un eje a forma de rastrillo (Restrepo, 1974). Su utilización tiene marcada similitud con los rastrillos en lo referente a mezclar e incorporar malezas y residuos presentes en el terreno (figura 6.2.).



Figura 6.2. Arado de rastra.

Foto: Cristian Domínguez

Subsolador o descompactador

Esta herramienta fisura el suelo rompiendo capas compactadas sin que se produzca la inversión del perfil. Se debe trabajar por lo menos 10 cm por debajo de la capa que se pretende romper. La diferencia en la profundidad de trabajo permite emplear subsoladores para trabajo muy profundo, y descompactadores para trabajo a menor profundidad (figura 6.3).



Figura 6.3. Subsolador para preparación del suelo.

Foto: Cristian Domínguez

Rotovator

Se utiliza para dar profundidad al suelo y descompactar, buscando mejorar las condiciones físicas del suelo; es ideal para las labores pesadas de arar, rastrillar y preparar el suelo para la siembra (figura 6.4).



Figura 6.4. Rotovator.

Foto: Cristian Domínguez

Arado manual

Es otra técnica que no utiliza maquinaria sino herramientas manuales como el azadón, principalmente usada por pequeños productores en pequeñas áreas de trabajo. Antes de realizar cualquier labor de preparación del suelo, es importante que se encuentre en un estado deformable para que el arado pueda trabajar de forma óptima, el cual se consigue óptimamente en un estado de humedad del suelo a capacidad de campo. Adicionalmente, el tractor debe circular a una velocidad entre 4 y 7,5 km/h.

Establecimiento del cultivo

El cultivo de zanahoria y su rendimiento están determinados tanto por las condiciones climáticas como por el estado del suelo, la variedad elegida y el manejo del cultivo. Esta interacción permite el adecuado desarrollo de la raíz y promueve la expresión del potencial genético para cada zona específica (Gaviola, 2013).

El terreno debe estar mullido hasta una profundidad de 25 a 30 cm, pero no se debe pulverizar, ya que esto promueve la generación de costras en la superficie y pérdida de la aireación del suelo. Después de mullir el terreno, se realiza la nivelación y el surcado (Morales-Payán, 2008).

La preparación del suelo es un factor decisivo para la formación de la raíz, tanto para prevenir la malformación como para evitar la formación de hombros verdes generada por la exposición de las zanahorias al sol cuando no están bien cubiertas. La semilla de la zanahoria es muy pequeña y el crecimiento de las plántulas es lento al comienzo. Esto condiciona la preparación del suelo, en la medida en que debe quedar suelto para permitir el desarrollo inicial del cultivo; para esto se recomienda una arada y dos pases de rastrillo, para que no queden terrones grandes. Posteriormente, se procede a nivelar para prevenir el encharcamiento y garantizar una germinación uniforme (Gaviola, 2013).

La intensidad del laboreo debe definirse a partir del tipo de material de zanahoria y de la textura del suelo. Materiales de raíz larga, como los del tipo Flakkee y Berlikum, requieren perfiles de suelo más profundos, sueltos y homogéneos; en suelos de textura franca a franco-arenosa, se recomienda una profundidad efectiva trabajada de 30 a 35 cm, mientras que en suelos de textura más fina se requiere mayor cuidado en la calidad del laboreo para evitar deformaciones de la raíz.

Materiales de raíz media, como los del tipo Nantes, y de raíz media a corta, como Kuroda, presentan requerimientos intermedios y pueden desarrollarse adecuadamente en perfiles de 25 a 30 cm, siempre que se garantice una buena estructura y aireación. Por su parte, materiales de raíz corta y cónica, como los del tipo Chantenay, toleran perfiles ligeramente menos profundos, sin que ello exima la necesidad de suelos bien estructurados. En todos los casos, la intensidad del laboreo debe ajustarse a la condición real del suelo, evitando el sobrelaboreo y la degradación estructural.

Distancias de siembra

La densidad de siembra está determinada por las necesidades del mercado, como longitud y calibre de la raíz comercial, así como por las posibles condiciones de clima esperadas durante el desarrollo del cultivo, del potencial del terreno y del híbrido a utilizar (Vilmorin, s. f.).

Krarup y Duran (1982) afirman que se usan diversas distancias de siembra, tanto entre hileras como entre plantas, para la producción de semilla de zanahoria. Existe tal variabilidad en las distancias de plantación entre hileras, que usan distancias tan cortas como 0,15 a 0,25 m y tan amplias como 0,9 m. Las distancias entre plantas que se sugieren también son muy variables, desde 0,3 m hasta 0,9 m (Watkins & García, citados por Krarup & Duran, 1982).

En el cultivo de zanahoria se utilizan diferentes densidades de siembra, especialmente entre plantas, dependiendo del grosor de la raíz y el tipo de zanahoria, siendo menores para zanahorias tipo miniatura y mayor para raíces gruesas, para consumo en fresco o para la agroindustria como las de tipo Chantenay y Danvers, la distancia final entre cada planta debe estar entre los 8 y 15 cm (Lardizábal, 2013).

Para realizar la siembra se requieren camas altas de por lo menos 40 a 90 cm de ancho, separadas entre sí 40 a 45 cm y trazadas con curvas de nivel para evacuar los excesos de agua en temporada de lluvias. Así se promueve la aireación y el buen drenaje, alcanzando un crecimiento adecuado de la zanahoria y facilitando la aplicación de riego y demás labores del cultivo (Lardizábal, 2013). La siembra se realiza de manera directa y generalmente a mano; sin embargo, puede realizarse de forma mecánica. Se requieren aproximadamente de 8 a 10 libras de semilla por hectárea y se deben sembrar a una profundidad de 1 a 1,5 cm. La densidad de siembra final de zanahoria es de 400.000 a 1.200.000 plantas por hectárea, dependiendo de la distancia de siembra y el tipo de material. Para la siembra mecánica se utilizan máquinas sembradoras, las cuales se describen a acontinuación.

Mecánicas propulsadas: se puede utilizar con tractores; requieren menor inversión que en las sembradoras neumáticas; ganancia en tiempo comparado con las sembradoras manuales; requieren poco mantenimiento (Vilmorin, s. f.).

Neumáticas: ahorro de semillas y tiempo, no hay que clarear; precisión en la disposición de la semilla; gran variedad de dispositivos de siembra; mayor homogeneidad de raíces (Vilmorin, s. f.).

Mecánicas empujadas: en situaciones donde la mecanización no es posible porque hay cultivos en terrazas, parcelas muy pequeñas o un fuerte desnivel, la sembradora mecánica empujada (figura 6.5) representa una alternativa interesante en comparación con la siembra manual. Es más regular que la siembra manual; requiere baja inversión, economía de semillas, simple de utilizar y requiere poco mantenimiento (Vilmorin, s. f.).



Figura 6.5. Sembradora mecánica.

Foto: Jorge Jaramillo

La densidad de siembra en zanahoria debe definirse en función del tipo de material, el sistema de siembra y los objetivos de calidad del producto. En el Oriente antioqueño predominan materiales de los tipos Berlikum, Nantes y Kuroda, con requerimientos diferenciados. Materiales de raíz larga y mayor volumen, correspondientes al tipo Berlikum, se manejan usualmente con densidades más bajas, entre 0,8 y 1,1 millones de plantas por hectárea, favoreciendo raíces de mayor calibre. Materiales de raíz media, como los del tipo Nantes, se establecen en rangos intermedios, entre 1,1 y 1,4 millones de plantas por hectárea, buscando un balance entre rendimiento y uniformidad. Por su parte, materiales de raíz media a corta, como los del tipo Kuroda, toleran densidades más altas, entre 1,3 y 1,6 millones de plantas por hectárea, priorizando la uniformidad del producto.

El sistema de siembra influye directamente en la posibilidad de alcanzar estas densidades. La siembra mecanizada permite un control más preciso y homogéneo de la distancia entre plantas, facilitando el establecimiento de mayores densidades efectivas y una población más uniforme, lo que se traduce en raíces de tamaño más homogéneo, mayor número de raíces comerciales por hectárea y mejor aprovechamiento del área. En contraste, la siembra manual presenta mayor variabilidad en el espaciamiento, lo que suele limitar la densidad real del cultivo y aumentar la heterogeneidad del tamaño de las raíces. En este sentido, la adopción de siembra mecanizada constituye una oportunidad de mejora tecnológica clave para incrementar la competitividad del sistema productivo.

Siembra

Una buena productividad en el cultivo de zanahoria depende de las labores realizadas antes de la siembra y el manejo de los primeros días de germinación. La selección adecuada del terreno, la preparación, el control de malezas y el uso de semilla de calidad son indispensables para tener una buena rentabilidad (figura 6.6). La siembra de la zanahoria se recomienda en eras, de longitud variable y de un ancho de 1,20 m, con una altura de 30 a 40 cm.





Figura 6.6. Usos de suelo en diferentes lotes. a. Lote de zanahoria en el Oriente antioqueño; b. Preparación del suelo para siembra de zanahoria.

Fotos: Carolina Ortiz

La siembra se realiza en línea continua, ubicando las semillas en el terreno para darle las mejores condiciones y capacidades para germinar (figuras 6.6a y 6.6b). La distribución de semillas se puede hacer manualmente o con el uso de una sembradora manual o mecánica. En el Oriente antioqueño es muy común la siembra manual, aunque es más laboriosa, menos eficiente e implica un mayor gasto de semillas, hasta 6 k/ha (Lardizábal, 2013). No obstante, también presenta ventajas como menos evaporación, facilita el control de arvenses y se requiere menos material mecánico para la preparación del terreno. Para calcular adecuadamente la distancia entre semillas, se utiliza un marcador de madera, con dientes que van distanciados el uno del otro con la distancia definida entre plantas (figuras 6.7a y 6.7b).

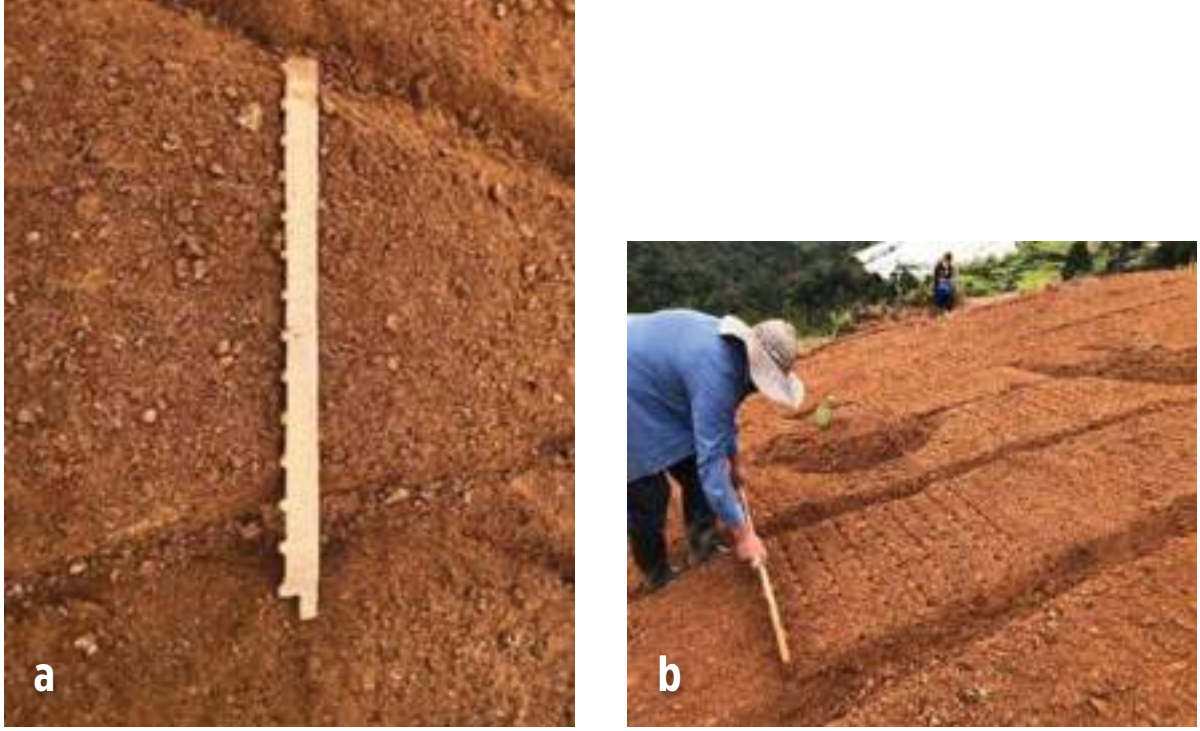


Figura 6.7. Sistemas manuales de siembra. a. Marcador de madera usado para siembra; b. Marcación en campo para siembra.

Fotos: Carolina Ortiz

Para la distribución de la semilla, en la siembra manual se puede hacer con la ayuda de un tarro pequeño con un agujero de 4 a 5 mm de diámetro en el fondo (figura 6.8). Al agitar la lata o frasco lleno de semillas en la línea del surco, las semillas caerán por el orificio hacia el surco de siembra.



Figura 6.8. Recipiente tipo tarro usado para siembra de semillas de zanahoria en el Oriente antioqueño.

Foto: Cristian Domínguez

Luego de ubicar las semillas en los surcos, se deben cubrir con una pequeña capa de gallinaza compostada no mayor a 2 cm. Otra opción para la siembra es el uso de sembradoras mecánicas que tienen la ventaja de abrir los surcos, distribuir las semillas y cubrir los surcos simultáneamente con gran eficiencia (Vilmorin, s. f.).

Por su pequeño tamaño, es fundamental tener en cuenta la profundidad a la que se siembran las semillas en el suelo o sustrato. Una siembra inadecuada puede provocar etiolación de las plántulas durante la germinación, lo que retrasaría su emergencia o podría ocasionar la descomposición de las semillas debido a su exposición a factores ambientales adversos.

Prácticas culturales del cultivo

Raleo

Es la eliminación de las plántulas que han germinado de más, y busca aumentar la disponibilidad de espacio, agua, luz y nutrientes por planta, lo que permite obtener raíces de mayor tamaño y calidad (figura 6.9). Se realiza a los 25 o 30 días después de la siembra, dejando un espacio entre 4 y 5 cm entre plantas. Cabe mencionar que un retraso en la realización del raleo implica una reducción en la producción (Reina & Bonilla Olaya, 1997).



Figura 6.9. Práctica de raleo.

Foto: Cristian Domínguez

Aporque

Es la acumulación de suelo hacia la parte del tallo de la zanahoria, como se observa en la figura 6.10, para cubrir la raíz y evitar los hombros verdes (el color verde que adquiere la cabeza o corona de la zanahoria al descubrirse por los rayos solares), resecamiento y exposición de la raíz al viento. Se puede realizar a los 30 días después de la siembra o con la fertilización (Lobo & Mejía, 1983). El aporque no es muy común entre los productores del Oriente antioqueño principalmente después la fertilización, así, el productor luego de aplicar el fertilizante lo cubre con materia orgánica, como se observa en la figura 6.11.



Figura 6.10. Práctica de aporque.

Foto: Cristian Domínguez



Figura 6.11. Aplicación de materia orgánica sobre el fertilizante.

Foto: Cristian Domínguez

Control de arvenses

El crecimiento de la zanahoria al inicio es lento, las plántulas compiten con las arvenses por los recursos necesarios para su desarrollo como los nutrientes, agua, luz y espacio de crecimiento, siendo necesario mantener el cultivo lo más limpio de estas, especialmente en las etapas iniciales. La labor de desyerba es la labor más costosa, pues requiere alrededor de 60 jornales por hectárea y deben realizarse por lo menos dos desyerbas durante el cultivo, la primera tres semanas después de la siembra y la segunda a los tres meses **(**Gaviola, 2013)**.**

El uso de herbicidas selectivos facilita esta labor y reduce hasta en un 90 % la mano de obra a utilizar. Entre la tercera y la sexta semana después de la emergencia de la zanahoria es el periodo crítico de competencia de la zanahoria con las malezas por nutrientes, luz y agua. El cultivo de zanahoria puede coexistir con la maleza hasta la tercera semana después de la emergencia. Se recomienda evitar sembrar en áreas donde hayan existido especies de malezas perennes. El control de malezas se puede realizar por diferentes métodos culturales, manuales o mecánicos, e incluso biológicos (Vilmorin, s. f.)

Los métodos culturales consisten en arar y rastrillar la zona antes de sembrar, para favorecer la aparición de las malezas y posteriormente eliminarlas mediante el deshierbe o la incorporación al suelo cuando se levantan las camas. La eliminación manual o mecánica se realiza durante el raleo, con ayuda de una azada estrecha entre las hileras de las plantas. Este método presenta el inconveniente de no eliminar las malas hierbas entre las plantas de las hileras, dañando así las raíces de la zanahoria.

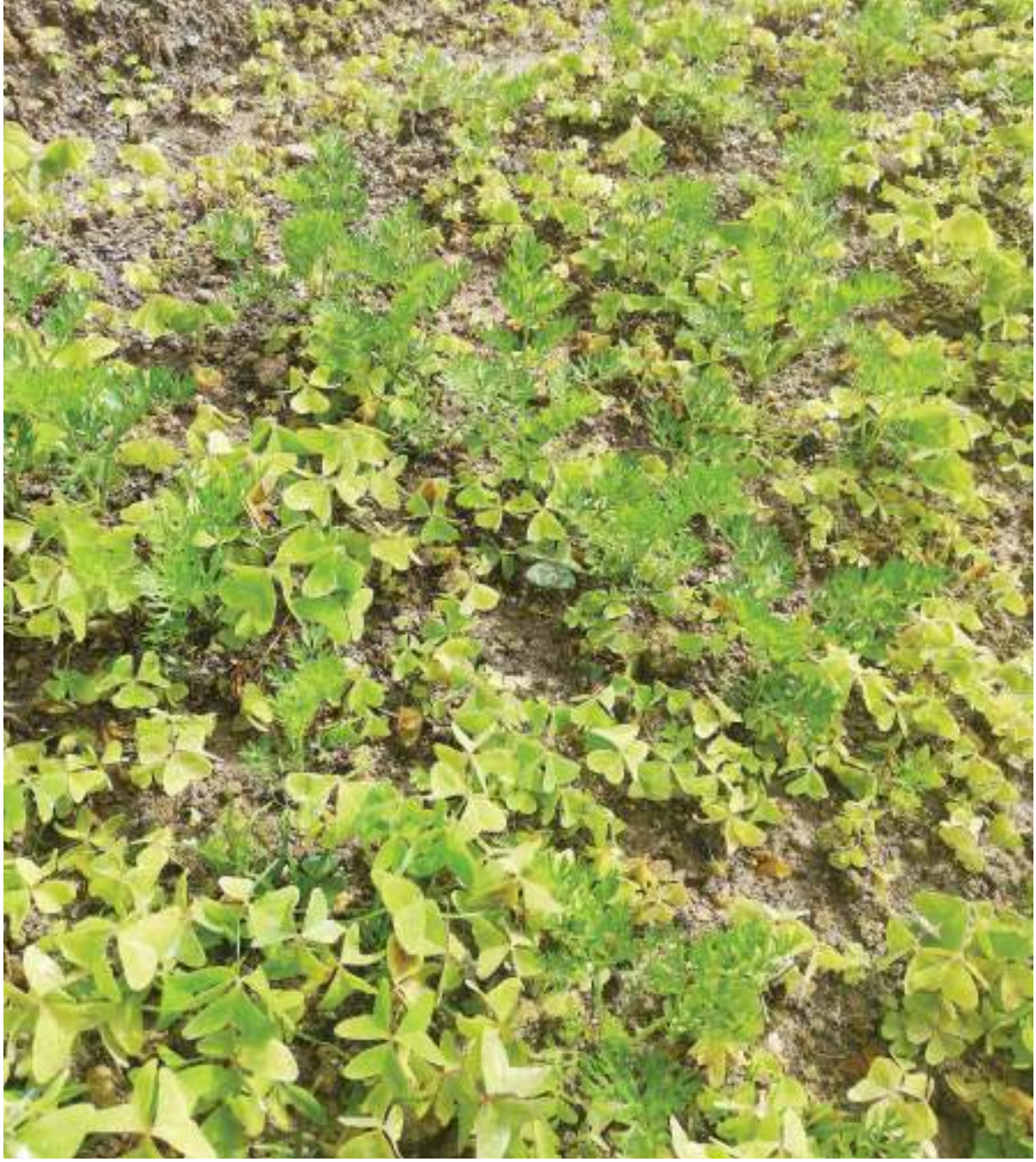


Figura 6.12. Control químico de arvenses.

Foto: Carolina Ortiz

Respecto al control químico, como se puede observar en la figura 6.12, se pueden utilizar varios productos, la selección se hace según las especies de malezas presentes y las características del producto como su principio activo, momento de aplicación y efecto residual. La dosis depende del tipo de suelo; por ejemplo, en suelos arenosos y con alto contenido de materia orgánica, se debe utilizar la dosis más baja recomendada. Algunos herbicidas recomendados para zanahoria se presentan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Herbicidas recomendados para el manejo de arvenses en el cultivo de la zanahoria

Ingrediente activo, concentración y formulación	Dosis	Modo de acción	Tipo de maleza que controla y época de control	Objetivo (arvenses para controlar)
Metribuzin 480 g/L suspensión concentrada (SC)	0,6 a 0,7 L/ha	Sistémico + Contacto	Hoja ancha, hoja angosta y gramíneas	**Altamisa** (*Ambrosia artemisiifolia*), **Batatilla** (*Ipomoea* sp.), **Calzón de pastor** (*Capsella bursa-pastoris*), **Cebadilla** (*Bromus catharticus*), **Cenizo** (*Chenopodium album*), **Chilinchil** (*Cassia tora*), **Golondrina** (*Veronica persica*), **Gualola** (*Polygonum* sp.), **Guasca** (*Galinsoga ciliata*), **Mastuerzo** (*Lepidium bipinnatidum*), **Miona** (*Spergula arvensis*), **Nabo** (*Brassica* spp.), **Pajarera** (*Stellaria media*), **Pata de gallina** (*Eleusine indica*), **Piojillo** (*Poa annua*).
Linuron 500 g/kg Polvo mojable (WP)	1,5 a 2 kg/ha	Sistémico + Contacto	Hoja ancha y gramíneas Malezas en pre y posemergencia (máximo 3 hojas verdaderas)	**Corazón herido** (*Poligonium mepalence*), **Lengua de vaca** (*Rumex crispus*), **Diente de león** (*Taraxacum officinales*), **Falso trébol** (*Oxalis* sp.), **Trébol** (*Trifolium pratense* L.)
Clethodim 240 g/L Concentrado emulsionable (EC)	0,5 L/ha	Sistémico	Gramíneas	**Kikuyo** (*Pennisetum clandestinum*), **Paja poa** (*Poa annua*), **Pasto lanudo** (*Holcus lanatus*), **Alpiste silvestre** (*Phalaris minor*), **Triguillo** (*Andropogon repens*), **Raigras** (*Lolium perenne*)
Haloxyfop-R-metil éster 108 g/L Concentrado emulsionable (EC)	0,6 a 0,8 L/ha	Sistémico	Gramíneas	**Kikuyo** (*Pennisetum clandestinum*), **Rye gras** (*Lolium hybridum*)

Fuente: Elaboración propia

Rotación de cultivos

El cultivo de zanahoria no debe sembrarse repetidamente en la misma parcela, para asegurar una producción de raíces sanas y con la calidad requerida por los mercados. Lo ideal es realizar la rotación del lote mínimo 3 años y máximo 5 años (Vilmorin, s. f.).

La inadecuada rotación de cultivos conlleva la aparición de problemas fitosanitarios causados por bacterias; así, cultivar la misma especie durante varios años en el mismo lote puede causar un desequilibrio, ya que no todas las especies extraen la misma cantidad de nutrientes del suelo y se pueden manifestar deficiencias. Para el caso de la zanahoria, es recomendable rotar con cultivos como papa, espinaca, cilantro, crucíferas como repollo, brócoli, coliflor, rábano, remolacha, y hortalizas de hoja como lechugas foliares y de cabeza (Gaviola, 2013).

Manejo del suelo y fertilización del cultivo

La nutrición es una de las prácticas más importantes cuando se quiere expresar el potencial productivo de una planta, ya que pone a disposición los elementos en la cantidad que se requiere para que los cultivos lleven a cabo sus funciones fisiológicas de forma correcta y oportuna (figura 6.13). El suelo, bajo condiciones naturales, suele presentar concentraciones adecuadas de nutrientes. Sin embargo, en áreas intervenidas por actividades agrícolas, es común la aplicación de fertilizantes minerales sin un criterio técnico basado en análisis de suelos. Esta práctica puede generar desbalances nutricionales que, con el tiempo, reducen la productividad y aumentan los costos de producción debido a la baja eficiencia en el uso de los insumos aplicados (Osorio, 2012).

Osorio (2012) indica que la fertilización y la aplicación de enmiendas constituye entre el 20 y el 35 % de los costos de producción, aunque pueden alcanzar hasta el 40 % en sistemas productivos intensivos bajo condiciones protegidas. Por esto, la adecuada fertilización basada en un diagnóstico previo puede representar el éxito del cultivo al aumentar la disponibilidad de nutrientes en el suelo mediante una nutrición balanceada y oportuna, considerando el equilibrio en la relación suelo, planta y ambiente.

Al implementar una fertilización balanceada, oportuna y específica, se podrán suplir los requerimientos nutricionales tanto de elementos mayores y secundarios como de micronutrientes y aminoácidos o compuestos bioestimulantes y hormonales.



Figura 6.13. Fertilización química en el cultivo de zanahoria.

Foto: Cristian Domínguez

Del mismo modo, se podrán acortar los ciclos fenológicos y acelerar la cosecha reduciendo costos, evitar o mitigar condiciones de estrés en la planta al tener un aporte energético oportuno en momentos de mayor desgaste o consumo y, por último, se podrá conseguir una nutrición adecuada orientada a la sanidad vegetal y a la calidad de la cosecha.

Diagnóstico de la fertilidad

Para realizar un buen diagnóstico de la fertilidad del cultivo, es fundamental considerar diversos criterios, entre ellos los factores que limitan la producción, la función de los elementos esenciales, los procesos que afectan la disponibilidad y el manejo de nutrientes, las herramientas de diagnóstico disponibles y los síntomas visuales de deficiencia o exceso de nutrientes observables en campo. Estas herramientas permiten reunir información clave para tomar decisiones informadas respecto a los productos, dosis y momentos óptimos de aplicación.

Además, es recomendable establecer un cronograma de muestreo periódico de los suelos. En general, las muestras deben tomarse al menos una vez al año, preferiblemente antes del inicio de la temporada de siembra, para evaluar las condiciones iniciales y ajustar las estrategias de manejo. En sistemas intensivos o bajo condiciones de alta variabilidad, puede ser necesario incrementar la frecuencia a dos o más muestreos por año (Osorio, 2012).



Factores que limitan la producción en el sistema productivo

Para el establecimiento del plan de nutrición del cultivo, es importante conocer no solo las características de los componentes del sistema productivo tales como el ambiente, el suelo y el cultivo, sino también las interacciones entre estos (tabla 6.2). El suelo es el medio en el que se establecen y desarrollan los cultivos para producir y alimentar al ser humano y los animales, siendo vital identificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas para determinar su manejo. La interacción de estas características determina los factores limitantes para la producción de cultivos, además de orientar los planes de fertilización química y orgánica de manera racional. En la tabla 6.2, se citan algunos de los factores relacionados con componente de los sistemas de producción que es preciso tener en cuenta para el establecimiento de un plan de nutrición.



Foto: Carolina Ortiz

Tabla 6.2. Factores ambientales, edáficos y del cultivo relacionados con la disponibilidad y manejo de nutrientes

Factores ambientales	Factores del suelo	Factores del cultivo
» Altitud y latitud. » Precipitación: cantidad y distribución. » Temperatura ambiente. » Luz: cantidad, intensidad y duración. » Humedad relativa. » Viento: velocidad y distribución. » Concentración de CO en la atmósfera. » Balance hídrico, ambiental y edáfico. » Eventos por cambio climático (heladas, sequías, inundaciones).	» Material parental y mineralogía de arcillas. » Procesos físicos: desarrollo estructural, tipo de textura, profundidad efectiva radical, compactación, retención de humedad, drenaje interno, temperatura de suelo y aireación. » Procesos químicos: acidez, alcalinidad (carbonatos y sodios), salinidad, sulfatación, capacidad de intercambio catiónico (CIC), condiciones redox, relaciones iónicas, fijación del P, K, NH4+, sinergismos y antagonismos iónicos. » Procesos biológicos (materia orgánica y ciclaje de nutrientes). » Manejo agronómico (labranza, riego, drenaje, fertilización).	» Potencial genético (variedades, híbridos). » Escala fenológica. » Densidad de siembra. » Requerimientos nutricionales. » Requerimiento hídrico. » Épocas de siembra. » Rotación de cultivos. » Residuos de cosecha. » Abonos verdes y coberturas.

Fuente: Microfertisa (2016)

Función de los nutrientes esenciales para las plantas

Los elementos esenciales son indispensables para el óptimo desarrollo de la planta, ya que cumplen funciones de tipo estructural en la constitución de la pared celular. Funciones morfológicas como división celular y formación de tejidos como hojas y raíces, y funciones metabólicas para la activación enzimática actúan como precursores en la formación de hormonas y en la síntesis de clorofila. Es necesario conocer las funciones que cumple cada elemento esencial para establecer criterios de manejo en el plan de fertilización del cultivo (tabla 6.3). Conocer el papel de estos micronutrientes y cuáles son los síntomas de su deficiencia es fundamental para su diagnóstico y corrección oportuna.

Tabla 6.3. Funciones de los nutrientes minerales en las plantas

Funciones	Elementos esenciales													
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Cl	Ni
División celular	■	■		■			■					■		
Fecundación: sostenimiento de flor y fruto		■	■				■	■				■		
Desarrollo radicular	■	■		■			■					■		
Consistencia de tejidos			■	■		■	■	■		■				
Fotosíntesis y activación metabólica	■	■			■	■		■	■	■		■		
Síntesis de hormonas	■	■		■			■			■		■		
Formación de estructuras: síntesis de proteínas	■	■	■		■	■	■	■		■		■		
Síntesis y acumulación de azúcares		■	■		■		■					■		

Continúa en la siguiente página

Síntesis de grasas y aceites					■	■		■		■				
Síntesis de vitaminas	■					■					■			
Metabolismo y asimilación de nitrógeno						■			■	■	■	■		■
Metabolismo y asimilación de azufre	■										■			
Transporte de carbohidratos			■				■							
Nodulación y fijación de N						■			■	■	■			
Regulación de la respiración		■	■	■		■		■	■	■		■		
Hidratación y turgencia, permeabilidad de las membranas		■	■										■	
Aceleración de la maduración		■				■	■			■				
Activación enzimática			■			■		■	■	■	■	■	■	■
Calidad de cosecha		■	■	■			■							
Reducción de nitratos y nitritos									■	■	■			
Transferencia de energía		■			■				■					
Protección contra enfermedades		■	■				■	■		■		■	■	
Protección de los tejidos promotores de antioxidantes								■	■	■	■	■		
Color de frutos, formación de carotenos		■	■		■				■	■				

Fuente: Microfertisa (2016)

Factores y procesos del suelo que inciden en la disponibilidad de nutrientes

En el suelo interactúan un gran número tanto de elementos como de microorganismos mediante procesos fisicoquímicos y biológicos que facilitan o limitan la absorción de nutrientes por parte de la planta. Algunos de los procesos más importantes son: reacción del suelo, salinidad, lixiviación, fijación, precipitación química, volatilización, inmovilización.

Reacción del suelo

Se refiere a la relación entre acidez y alcalinidad en el suelo, y que condiciona diferentes procesos químicos, físicos y microbiológicos que tienen lugar en él (figura 6.14).

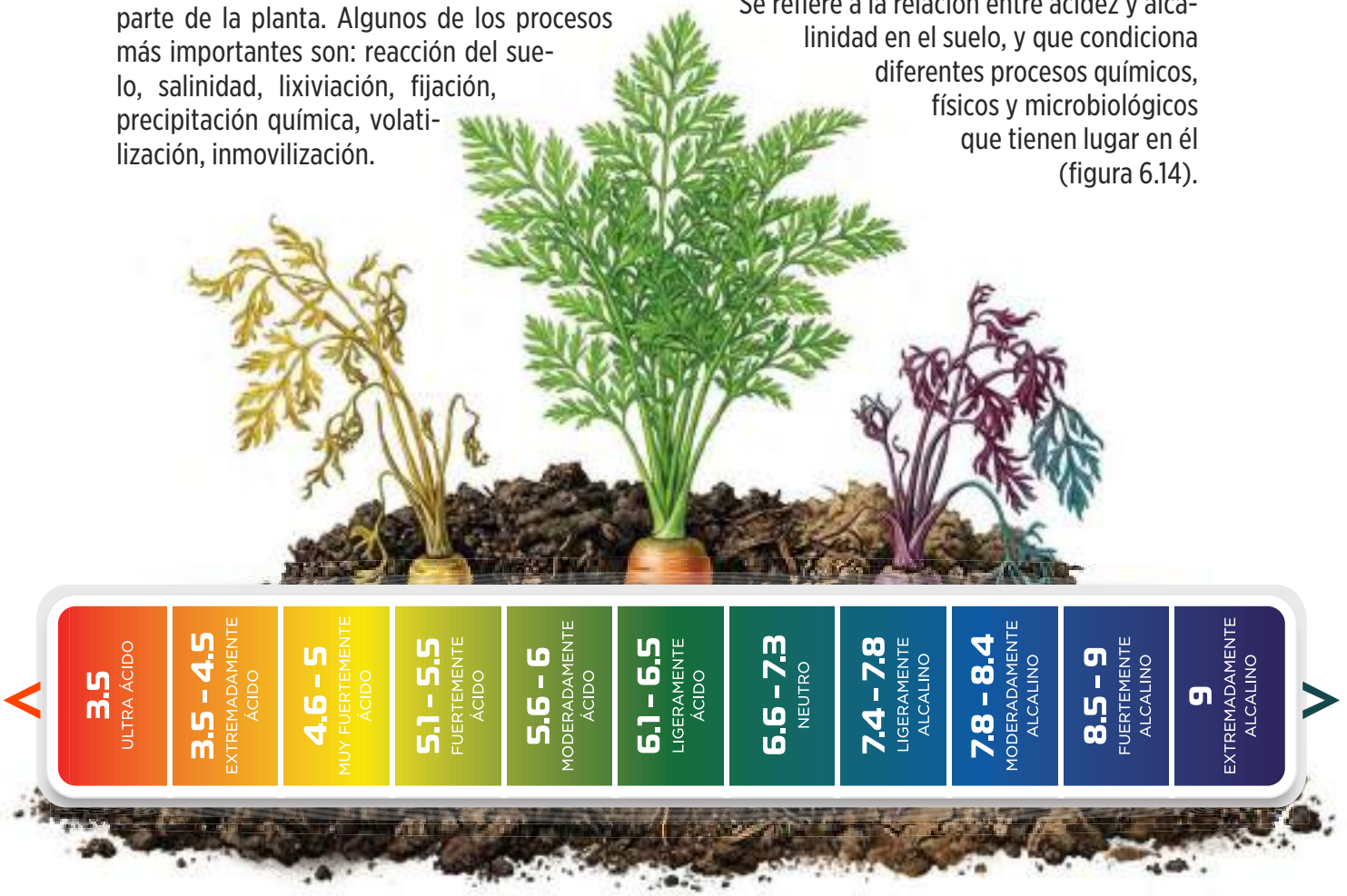


Figura 6.14. Paleta indicadora de niveles de pH y la reacción en el suelo.

Fuente: Microfertisa (2006)

El pH es un factor determinante en el sistema productivo, ya que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo para el crecimiento del cultivo. La mayoría de los nutrientes, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, están más disponibles en suelos ligeramente ácidos a neutros (pH 6 a 7) (figura 6.15). Cuando el suelo es demasiado ácido o alcalino, estos nutrientes se vuelven menos accesibles para las plantas, lo que afecta negativamente su crecimiento, desarrollo y rendimiento.

Las condiciones de acidez suelen presentarse en ambientes con alto régimen de lluvias, donde se lavan las bases del suelo, y la alcalinidad se presenta en regiones con ausencia de lluvias, por lo que se saturan bases.

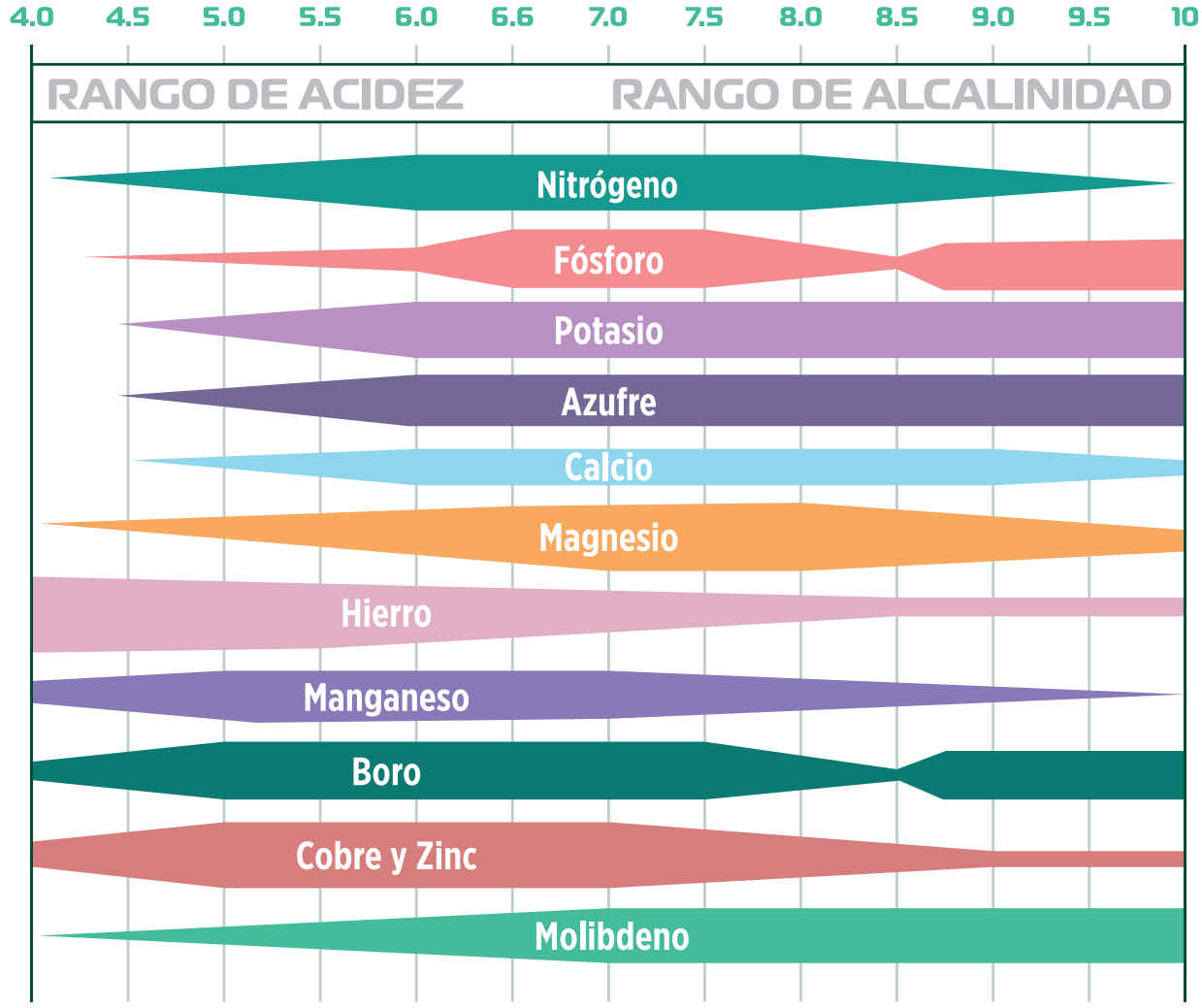


Figura 6.15. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes.

Fuente: Hoef et al. (2000)

La reacción del suelo condiciona ciertos procesos que ocurren en él, como la mala nitrificación, que se presenta en valores de pH extremos, la deficiencia de P, Fe, Mn, Zn, Cu y B por insolubilización en pH altos o la fijación de elementos como P y Mo en valores de pH muy bajos (figura 6.16).

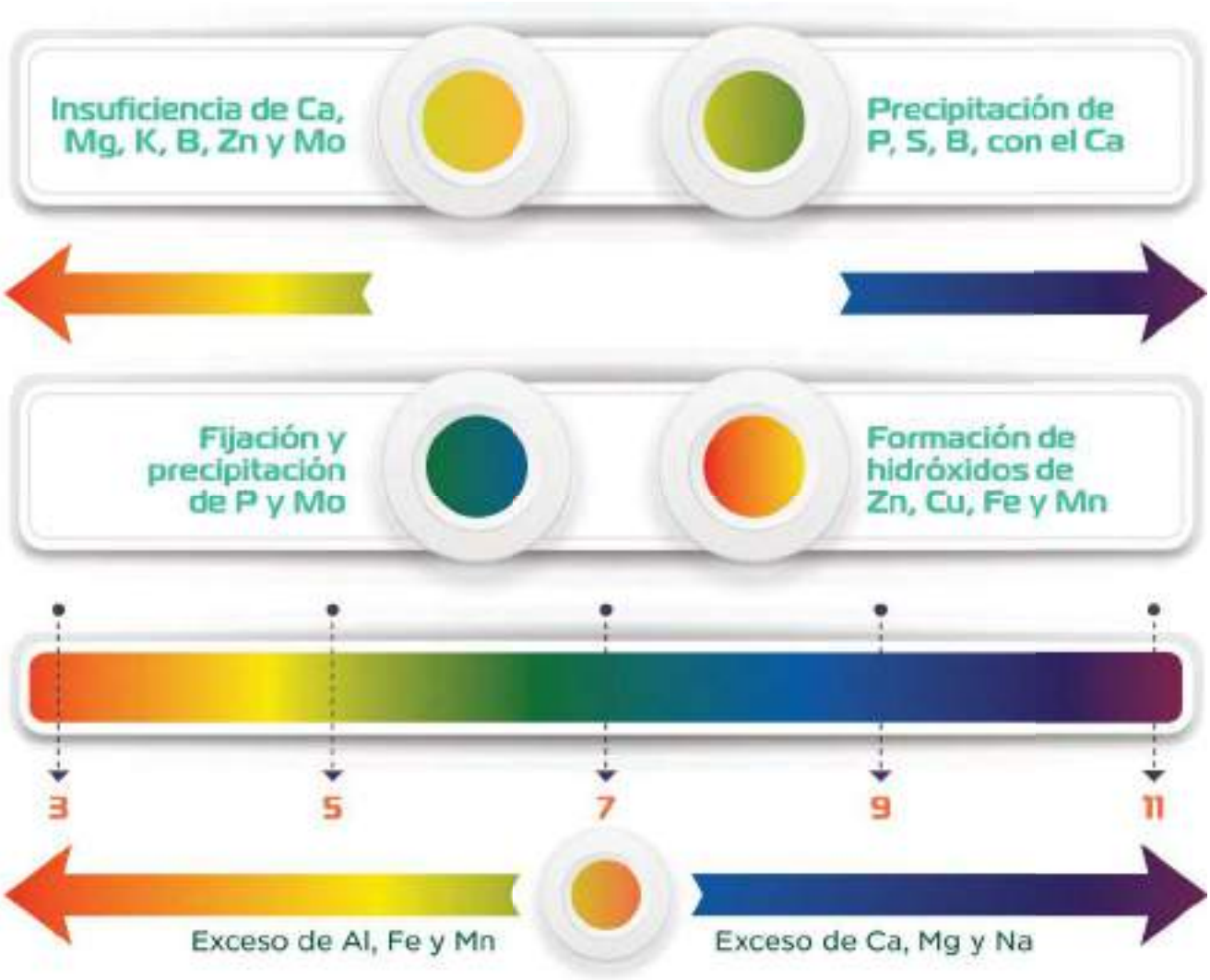


Figura 6.16. Reacción del pH del suelo en la fijación y precipitación de nutrientes.

Fuente: Elaboración propia con base en Microfertisa (2016)

Aplicación de enmiendas correctoras de pH

La tabla 6.4 muestra algunas enmiendas utilizadas para corregir el pH del suelo. Es muy común en el Oriente antioqueño la aplicación de cal agrícola y cal dolomita a razón de 1 a 2 t/ha.

Tabla 6.4. Enmiendas aplicadas para corregir pH

Enmienda	Composición (%)							Equivalente químico (EQ $CaCO_3$)	t/ha requerido para neutralizar 1 meq Al+3/100 g suelo
	$CaCO_3$	$MgCO_3$	CaO	$Ca(OH)_2$	MgO	P_2O_5	S		
Cal viva			75					134	0,75
Cal hidratada o apagada				80				110	0,9
Cal dolomita	55	33						94	1,06
Fosfosilicato de calcio			48		1,2	10		89	1,12
Roca fosfórica			40		0,5	23-30		73	1,37
Escoria básica siderúrgica			59		11			132	0,75
Yeso (sulfato de calcio) $CaSO_4.2H_2O$			27-36			0,5	15	51-64	1,5-1,9

Fuente: Elaboración propia

Salinidad del suelo

El exceso de electrolitos libres en el suelo que disminuyen o dificultan el desarrollo normal del cultivo se conoce como salinidad. Este fenómeno genera dos efectos indeseados: toxicidad en la planta por altas concentraciones de iones como Na y/o aumento de la presión osmótica en la zona de raíces, que impide la toma de agua y nutrientes, además de estropear las propiedades físicas del suelo como la estructura, la permeabilidad y la infiltración.

La salinidad de los suelos se expresa como conductividad eléctrica (CE) y se mide en $dS.m^{-1}$ o mmhos.cm-1, cuya medida máxima en suelos aptos para agricultura es de $4dS.m^{-1}$. Al igual que con el pH, es importante conocer los procesos que dan origen a la salinización. Este desorden generalmente se presenta o está asociado a aplicaciones intensivas y desbalanceadas de fertilizantes, al uso de aguas no aptas para riego o a la acumulación de elementos en el suelo asociados al sodio.

Dependiendo de factores como la causa de la salinidad, su concentración y el tipo de fertilizantes predominantes en el cultivo, hay deficiencias de nutrientes cuando se fertiliza de forma excesiva con nitratos. Los elementos más susceptibles de presentar deficiencias son calcio, hierro, manganeso y azufre.

La conductividad eléctrica (CE) de una mezcla de suelo con agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Normalmente, el suelo contiene cantidades mínimas de sales, que son necesarias para el buen desarrollo de los cultivos (tabla 6.5). Sin embargo, es un parámetro que se debe mantener monitoreado, pues un exceso de sales afecta el crecimiento de las plantas al generar un desequilibrio en el movimiento del agua del suelo hacia la planta. El exceso de sales puede ser una característica natural del suelo, pero también puede ser el resultado de su manejo con la fertilización y el riego, por lo que es muy importante mantener monitoreada la conductividad eléctrica en el desarrollo del cultivo. Su medición se hace con un conductímetro en una mezcla de agua con suelo.

Tabla 6.5. Rangos de conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad
0 - 0,98	No salino
0,98 - 1,71	Muy ligeramente salino
1,71 - 3,16	Ligeramente salino
3,16 - 6,07	Moderadamente salino
mayor a 6,97	Fuertemente salino

Fuente: Elaboración propia con base en USDA (1999)

La tolerancia a la salinidad es la capacidad que tiene un cultivo para soportar la salinidad del suelo sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y producción. La USDA (1999) indica que la zanahoria requiere un pH entre 6 y 7, en cuanto a salinidad dice que es sensible y se encuentra que a partir de valores superiores a 1 ds/m la zanahoria empieza a perder su productividad hasta en un 14 %, por lo que disminuye sus rendimientos.

Requerimientos nutricionales de la zanahoria

A nivel de grupos de plantas, de especies e incluso de variaciones intraespecíficas como híbridos, variedades, cultivares, líneas, clones, etc., se presentan diferencias en los requerimientos nutricionales. Es determinante conocer que los niveles de extracción de nutrientes de un cultivo dependerán del manejo de diferentes factores como la selección de la variedad o híbrido —para el caso de la zanahoria—, la oferta ambiental —en términos de disponibilidad de agua, temperatura, disponibilidad de nutrientes, el tipo de suelo— y diversos ítems de manejo agronómico como la densidad de siembra, el tipo de preparación de suelo, el manejo de plagas y enfermedades, el rendimiento esperado, entre otros.

En el caso de la zanahoria, se estima que para la obtención de 30 toneladas por hectárea, el cultivo extrae 120 kg de nitrógeno, 60 kg de fósforo (P_2O_5), 260 kg de potasio (K_2O), 180 kg de calcio, 12 kg de magnesio y 10 kg de azufre (Microfertisa, 2016). Esto es representativo y se aproxima a los rendimientos promedio de la zanahoria en Colombia, aunque Sosa et al. (2013) reportan niveles de extracciones de 206 kg de nitrógeno, 36,6 kg de fósforo (P_2O_5) y 354,2 kg de potasio (K_2O) para rendimientos de 74,3 t/ha en México. Según antecedentes en campo (Microfertisa, 2016), en Colombia se estima que, para la obtención de 40 a 50 toneladas por hectárea en el cultivo de zanahoria, se necesita aportar 200 a 220 kg de nitrógeno, 120 a 180 kg de fósforo (P2O5), 250 a 300 kg de potasio (K_2O), 60 a 170 kg de calcio (CaO), 20 a 40 kg de magnesio (MgO), 20 a 30 kg de azufre, 0 a 3 kg de boro, 0 a 4 kg de zinc, 0 a 1,5 kg de cobre, 0 a 6 kg de hierro y 0 a 6 kg de manganeso.

Si bien se pueden calcular las necesidades de fertilización de cultivos según los niveles de extracción de la especie, también es posible hacerlo mediante ensayos de respuesta de la producción asociada a los antecedentes de la fertilización del cultivo, teniendo en cuenta que las respuestas entre un ciclo y otro pueden variar de acuerdo con la oferta climática del momento, el tipo de suelo y la especie, variedad o híbrido, para el caso de la zanahoria.

Para estimar la cantidad de fertilizante necesaria para suplir el requerimiento nutricional del cultivo, es fundamental considerar la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes en la solución del suelo, entendida como la proporción de los iones nutritivos aplicados que es efectivamente absorbida por la planta. Dicha eficiencia está condicionada por procesos que afectan la disponibilidad de los nutrientes, como la fijación, la lixiviación, la volatilización y las interacciones suelo-planta. En la tabla 6.6 se presentan, a manera de referencia, valores promedio de eficiencia de aprovechamiento de algunos nutrientes, entendida como la fracción del nutriente aplicado que es efectivamente absorbida por el cultivo. Por ejemplo, de cada 100 kg de potasio (K) aplicados al suelo, entre 55 y 70 kg pueden ser aprovechados por la planta. Estos valores no son constantes y están fuertemente condicionados por factores de manejo del cultivo, como la fuente del fertilizante, la dosis aplicada, el momento y método de aplicación, las características del suelo y la interacción con otros nutrientes, aspectos que determinan la disponibilidad del ion nutritivo en la solución del suelo.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Tabla 6.6. Factor de eficiencia en porcentaje de los nutrientes aplicados en un suelo promedio

Macronutrientes	Nutrientes secundarios	Micronutrientes
N: 40 - 80	Ca: 55 - 75	B: 10 - 20
P: 10 - 20	Mg: 55 - 60	Fe: 5 - 8
K: 55 - 70	S: 50 - 70	Mn: 5 - 8
		Mo: 2 - 5
		Cu: 10 - 20
		Zn: 10 - 20

Fuente: Guerrero (2001)

Igualmente, es importante conocer la concentración de nutrientes de cada fertilizante que se pretende usar, pues aunque 2 o más fuentes pueden aportar el mismo elemento, no lo hacen. Por ejemplo, 100 kg de urea aportan 46 kg de nitrógeno, y 100 kg de sulfato de amonio aportan solo 21 kg. Para hacer más fácil el cálculo de las cantidades de nutrientes que aportan algunos de los principales fertilizantes o de la cantidad de fertilizante que se necesita para alcanzar determinada cantidad de un elemento, se pueden utilizar factores de conversión (tabla 6.7).

Tabla 6.7. Factores de conversión de fuente de fertilizante a cantidad de nutriente y viceversa

Fertilizante (A)	Concentración (%)	Nutriente (B)	Pasar de A a B, multiplicar por:	Pasar de B a A, multiplicar por:
Macronutrientes				
Urea	46	N	0,46	2,174
Sulfato de amonio (SAM)	21	N	0,21	4,762
	24	S	0,24	4,16
Nitrato de calcio	15,5	N	0,155	6,452
	26	CaO	0,26	3,846
Ácido fosfórico	52 - 60	P_2O_5	0,5	1,9
Fosfato monoamónico (MAP)	50	P_2O_5	0,5	2
	10	N	0,1	10
Fosfato diamónico (DAP)	46	P_2O_5	0,46	2,174
	18	N	0,18	5,556
Superfosfato triple	46	P_2O_5	0,46	2,174
	13,6	Ca	0,136	7,353
	1,4	S	0,014	71,43
Cloruro de potasio (KCl)	60	K_2O	0,6	1,667
Sulfato de potasio	50	K_2O	0,5	2
	18	S	0,18	5,555
Nitrato de potasio	44	K_2O	0,44	2,273
	13	N	0,13	7,692

Fuente: Microfertisa (2016)

Deficiencias nutricionales en el cultivo de la zanahoria

Las hortalizas se diferencian de otros cultivos por una serie de factores que pueden afectar su estado nutricional, aunque requieren de los mismos elementos esenciales que el resto de las plantas. En general, se cosechan en un estado fisiológico inmaduro, por lo que presentan un alto contenido de agua, lo cual se relaciona con la calidad del producto, expresada en jugosidad (Osorio, 2012).

Para garantizar su calidad, el crecimiento vegetal debe ser rápido e ininterrumpido, especialmente en la fase juvenil de la planta. Para esto, se requiere usar dosis adecuadas de fertilizantes según la etapa fisiológica del cultivo para tener disponibilidad suficiente nutrientes en la solución del suelo, con el fin de promover un crecimiento vigoroso y una buena calidad del producto.

Nitrógeno: su deficiencia impide el normal crecimiento de las plantas. Las hojas más viejas se tornan amarillas de una forma uniforme y, si la deficiencia se incrementa, las hojas toman un color rojizo. La falta de fertilizantes nitrogenados adecuados, la presencia de altos niveles de material vegetal sin descomponer en el suelo, la compactación del suelo, la intensa lluvia y condiciones poco favorables para la descomposición de la materia orgánica son factores que aumentan la probabilidad de esta deficiencia. Para prevenirla, se puede aplicar fertilizante nitrogenado en las dosis requeridas.

Fósforo: cuando la planta no suple su requerimiento de este elemento, las hojas más viejas toman un color marrón violáceo. Entre más aumenta esta deficiencia, el dosel de las hojas se amarillenta y se presenta defoliación, y las raíces no presentan un normal desarrollo. La disponibilidad de fósforo para las plantas está influenciada por varios factores, como su almacenamiento en el suelo, el tipo y la cantidad de arcilla presentes, el momento y la forma de aplicación del fertilizante fosfatado, así como la aireación, compactación, humedad del suelo y temperatura ambiente. Para prevenir la deficiencia de fósforo, se puede aplicar un fertilizante fosfatado soluble uniformemente en el suelo y luego incorporarlo con una rastra.

Potasio: esta deficiencia se evidencia en las hojas más viejas al presentar los márgenes quemados; cuando la deficiencia aumenta, a estas hojas se les unen los pecíolos, se secan y mueren. Las condiciones que aumentan el riesgo de deficiencia de potasio incluyen suelos arenosos con alta lixiviación y elevados niveles de otros cationes como magnesio y amonio.

Calcio: su deficiencia se manifiesta mediante necrosis en los puntos de crecimiento de las hojas jóvenes, y en el pecíolo se pueden ver indicios de áreas coalescentes. Otro síntoma se

observa cuando las hojas mueren, a pesar de mantener su color verde. Aunque la deficiencia de raíces no es muy frecuente en condiciones de campo, puede ser causada por el rápido crecimiento de las plantas a altas temperaturas, la baja humedad del suelo y el antagonismo con cationes como el amonio, el potasio y el magnesio. Esta deficiencia se puede evitar neutralizando la acidez del suelo.

Magnesio: su deficiencia se caracteriza por la clorosis de los bordes en las hojas viejas, en las que luego aparece una coloración ligeramente rojiza que se extiende hacia el centro de los folíolos (figura 6.17). La deficiencia de magnesio suele confundirse con la de nitrógeno e incluso con un virus. Sin embargo, se puede diferenciar del virus porque en la deficiencia la sintomatología es general en el cultivo, no solo en algunos focos.



Figura 6.17. Síntomas de deficiencia de magnesio en las hojas de zanahoria.

Foto: Jorge Jaramillo

La aplicación sin control de fertilizantes a base de nitrógeno amoniacal o potasio, así como suelos ácidos y arenosos, de alta tasa de lixiviación, influye en la aparición de la deficiencia.

Boro: la falta de este nutriente puede manifestarse mediante deformación y enrollamiento de las hojas hacia abajo, a menudo con un cambio de coloración hacia tonos rojizos o amarillentos, confundiéndose también con síntomas causados por virus. Además, las hojas nuevas tienden a ser más pequeñas y es común que el cogollo muera, presentando necrosis progresiva. En las raíces, se observa un desprendimiento longitudinal con cicatrización posterior, rajando longitudinalmente la zanahoria (figura 6.18). Factores como la aplicación excesiva de caliza en suelos arenosos, el exceso de nitrógeno y una alta precipitación pueden aumentar el riesgo de deficiencia de este elemento. Para prevenir esta deficiencia, se recomienda aplicar 20 kg/ha de bórax al suelo, antes o durante la siembra.



Figura 6.18. Grietas en raíces de zanahoria causadas por desequilibrio hídrico y/o deficiencia de boro.

Foto: Jorge Jaramillo

Nota. Resolución mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.

Fertilización foliar

La aplicación de soluciones nutritivas de forma foliar ha adquirido cada vez más importancia en el componente nutricional de los cultivos como un complemento a la fertilización edáfica, dado que, fisiológicamente, las plantas pueden absorber mediante el follaje todos los nutrientes esenciales para su desarrollo en menor o mayor medida mediante estructuras especializadas (estomas y otros espacios intercelulares) del follaje (Malavolta, 2001).

Un plan de fertilización integral según los requerimientos del cultivo es muy útil para suplir rápidamente la necesidad de elementos o para corregir deficiencias, y para enfrentar las limitantes en cuanto a absorción, movilización y transformación de los nutrientes en el producto cosechado.

Por otro lado, la fertilización foliar, aunque no reemplaza la fertilización edáfica convencional, si se conocen muy bien los requerimientos nutricionales y la etapa fenológica del cultivo, puede aportar en casos puntuales mayores ventajas y/o eficiencia en la nutrición, ya que se ha demostrado que es un excelente método para suplir las necesidades de nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno). El suministro de elementos mayores o macroelementos como nitrógeno, fósforo y potasio, además de ser más efectivo, tiene un costo menor si se realiza de forma edáfica (Microfertisa, 2016).

La fertilización foliar se dirige al cultivo según su estado fenológico, con el objetivo de aquellos donde el metabolismo de la planta decrece y predomina una baja absorción radical de nutrientes para promover la traslocación de nutrientes en periodos puntuales de necesidad de nutrientes específicos o en condiciones de estrés producido por heladas, toxicidades, acidez, salinidad o alcalinidad, además de afectaciones por plagas y enfermedades. Para el cultivo de la zanahoria, puntualmente, los elementos que se recomienda aplicar o reforzar vía foliar son el nitrógeno, el boro y el manganeso. Para los dos primeros (N y B), se recomienda realizar aplicaciones de productos ricos en estos nutrientes cuando las plantas tengan entre 6 y 8 hojas; para el Mn, se sugiere hacer aplicaciones del elemento cuando el cultivo alcance entre 8 y 12 hojas (Malavolta, 2001).

La eficiencia más alta en la nutrición foliar se consigue cuando la absorción del producto y su transformación son rápidas. Esto dependerá en cierta medida de las condiciones ambientales y genéticas del cultivo, pero también en gran medida de la formulación de los productos que se utilicen: es importante usar insumos que tengan un balance iónico adecuado de nutrientes, un índice de salinidad bajo, una reacción ácida y que esté soportado por componentes activadores o transportadores como aminoácidos, quelatos y hormonas (Microfertisa, 2016).

Análisis foliar en el cultivo de la zanahoria

La condición nutricional del cultivo se puede diagnosticar mediante la medición de la concentración de nutrientes en su follaje, dada la fuerte relación entre el porcentaje de nutrientes contenido en el tejido vegetal y el crecimiento o producción del cultivo. Según la cantidad de fertilizante que se suministre, el momento fenológico en que se realice la aplicación, la cantidad de nutrientes que la planta requiere y el estado nutricional del cultivo, se puede ubicar en uno de cuatro rangos: deficiencia, suficiencia, consumo de lujo y toxicidad. Dentro del estado de deficiencia nutricional, el cultivo puede estar en deficiencia severa o moderada; en el primero las plantas lo expresan en campo mediante síntomas como clorosis, enanismos, malformaciones, abortos de flores y frutos, entre otros. La deficiencia moderada, conocida también como "hambre escondida", es un estado de déficit nutricional que no genera síntomas fácilmente detectables en campo, pero que a la larga genera la disminución del rendimiento. El estado de suficiencia es aquel en el que el cultivo tiene lo suficiente para expresar su potencial productivo sin desperdiciar nutrientes. Los intervalos de valores de nutrientes en este estado son relativamente amplios para los macronutrientes y todo lo contrario para los micronutrientes, debido a la cantidad que se requiere de cada grupo (mayor cantidad de macronutrientes y menor cantidad de micronutrientes) (Osorio, 2012). La toxicidad ocurre cuando las plantas



reciben una cantidad excesiva de nutrientes, lo que provoca efectos negativos en su desarrollo. Esto puede suceder por una aplicación alta de fertilizantes químicos o por una acumulación de sales en el suelo. Los síntomas más comunes incluyen quemaduras en las hojas, retraso del crecimiento, marchitamiento e incluso la muerte de la planta en casos severos. El exceso de algunos nutrientes como el nitrógeno, el potasio y el fósforo puede ser particularmente dañino.

Aumentar los niveles de nutrientes una vez la planta alcanza su máximo rendimiento o crecimiento no incrementa el desarrollo vegetal, debido a que la planta no puede capitalizar ese consumo extra; a esto se le conoce como consumo de lujo. Por el contrario, este aumento de la concentración foliar de nutrientes es contraproducente en el ejercicio productivo, ya que aumenta los costos de producción, sin aumentar rendimientos. Por esta razón, se establece el concepto de niveles críticos, que son los niveles foliares de nutrientes con los cuales se consiguen rendimientos relativamente altos dentro del estado de suficiencia. Por encima de estos niveles críticos, la cantidad de nutrientes a aplicar para aumentar el rendimiento sería muy poca, por lo que la probabilidad de aumento en la producción es muy baja. Por otra parte, debajo del nivel crítico de nutrientes se encuentra el estado de déficit nutricional (Osorio, 2012). Los niveles óptimos para el cultivo de la zanahoria se pueden encontrar en la tabla 6.8.



Foto: Jorge Jaramillo

Tabla 6.8. Niveles foliares óptimos de nutrientes en zanahoria

N	P	K	Ca	Mg
3,8	0,5	4	1,6	0,3

Fuente: Microfertisa (2016)

La determinación de nutrientes mediante el análisis foliar es una herramienta del manejo agronómico importante que nos permite:

» Monitorear el estado nutricional del cultivo en diferentes estados fenológicos y tomar medidas de forma rápida.

» Estudiar e identificar los momentos de mayor consumo de nutrientes del cultivo.

» Constatar diagnóstico realizado mediante la observación de síntomas visibles en campo (deficiencias severas o toxicidades).

» Identificar deficiencias moderadas en el cultivo que puedan disminuir el rendimiento del cultivo de forma silenciosa (hambre escondida).

» Identificar excesos en el aporte de fertilizantes que incrementan los costos de producción (consumo de lujo).

- Determinar qué elementos está tomando la planta y cuáles no.

- Ubicar áreas del cultivo donde la absorción de nutrientes se facilita o se dificulta.

Para cada cultivo existen instrucciones específicas de muestreo en cuanto a la parte de la planta y la etapa fenológica que deberán ser proporcionadas por el laboratorio que realice el análisis. En términos generales, en zanahoria se recomienda realizar el muestreo foliar justo antes del alargamiento de la raíz. Para ello, se deben muestrear las hojas recientemente maduras de 20 a 30 plantas, distribuidas aleatoriamente dentro del lote, de manera que cada punto del cultivo tenga la misma probabilidad de ser seleccionado. Aunque la figura 6.19 presenta un esquema de muestreo con fines ilustrativos, la selección de las plantas debe realizarse mediante un recorrido sistemático del lote, evitando patrones fijos, bordes y zonas atípicas, y definiendo los puntos de muestreo de forma aleatoria.

Las submuestras deben integrarse hasta completar entre 150 y 200 gramos de material vegetal. Las muestras deben almacenarse en bolsas de papel perforado que permitan una adecuada ventilación, y deben estar secas, libres de residuos de productos fitosanitarios, así como de plagas y enfermedades. Finalmente, las bolsas deben estar debidamente marcadas con toda la información correspondiente al cultivo (Laboratorios A-L de México, 2011).

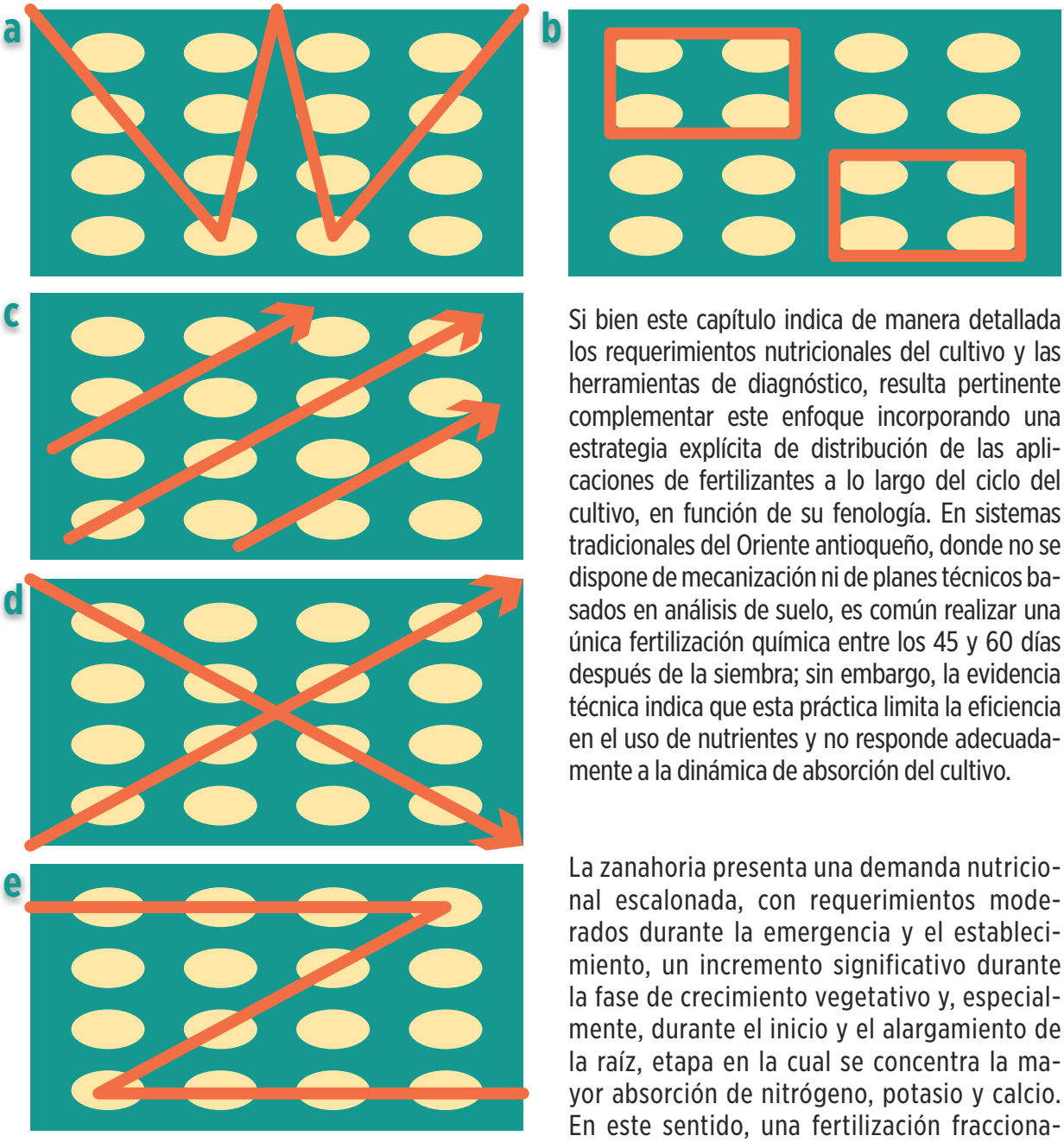


Figura 6.19. Rutas de muestreo para análisis foliar. a. En forma de W; b. En cuadros aleatorios; c. En líneas paralelas equidistantes; d. En forma de X; e. En forma de Z.

Fuente: Laboratorios A-L de México (2011)

Si bien este capítulo indica de manera detallada los requerimientos nutricionales del cultivo y las herramientas de diagnóstico, resulta pertinente complementar este enfoque incorporando una estrategia explícita de distribución de las aplicaciones de fertilizantes a lo largo del ciclo del cultivo, en función de su fenología. En sistemas tradicionales del Oriente antioqueño, donde no se dispone de mecanización ni de planes técnicos basados en análisis de suelo, es común realizar una única fertilización química entre los 45 y 60 días después de la siembra; sin embargo, la evidencia técnica indica que esta práctica limita la eficiencia en el uso de nutrientes y no responde adecuadamente a la dinámica de absorción del cultivo.

La zanahoria presenta una demanda nutricional escalonada, con requerimientos moderados durante la emergencia y el establecimiento, un incremento significativo durante la fase de crecimiento vegetativo y, especialmente, durante el inicio y el alargamiento de la raíz, etapa en la cual se concentra la mayor absorción de nitrógeno, potasio y calcio. En este sentido, una fertilización fraccionada —combinando aplicaciones de base a la siembra con aportes posteriores ajustados a etapas fenológicas clave— permite mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, reducir pérdidas por lixiviación y favorecer una mayor uniformidad y calidad de las raíces.

Adicionalmente, las recomendaciones correctivas basadas únicamente en la observación de síntomas visuales de deficiencia deben considerarse medidas de apoyo y no sustitutos del diagnóstico técnico, dado que estas suelen reflejar estados avanzados de desequilibrio nutricional y pueden conducir a decisiones imprecisas. Por ello, el análisis de suelo y el análisis foliar deben constituir la base para la toma de decisiones, complementados con aplicaciones edáficas y foliares estratégicas según la etapa fenológica y las condiciones edafoclimáticas del lote.

Cabe resaltar que en el capítulo VII (Fisiología de la zanahoria) se describen en detalle las etapas fenológicas del cultivo y su relación con el crecimiento de la raíz y la parte aérea, lo cual proporciona un marco técnico sólido para comprender la dinámica de absorción de nutrientes y orientar de manera más precisa el momento, la fuente y la fracción de las aplicaciones de fertilización a lo largo del ciclo productivo.



Para no olvidar...

» En el establecimiento del cultivo, el terreno debe estar mullido a una profundidad de 25 a 30 cm, evitando pulverizar el suelo, para prevenir la formación de costras en la superficie y la pérdida de la aireación.

» Es importante el manejo de arvenses, raleo y aporque, debido al impacto directo en la sanidad y calidad del cultivo. Por esto, el uso racional de herbicidas, cuando es viable técnica y económicamente, es una oportunidad para reducir costos de mano de obra, siempre bajo criterios de sostenibilidad.

» En la siembra se requieren camas de 40 a 90 cm de ancho, separadas entre sí de 40 a 45 cm y trazadas con curvas de nivel para evacuar los excesos de agua en temporada de lluvias, promoviendo la aireación y buen drenaje, para el crecimiento adecuado de la zanahoria.

» La fertilización y la aplicación de enmiendas constituye entre el 20 y el 40 % de los costos de producción. Por esto, el conocimiento de la función de los elementos esenciales es importante, porque permite diseñar planes de fertilización que garantizan el éxito del cultivo.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» Este capítulo aborda integralmente las prácticas agronómicas clave para el establecimiento, desarrollo y sostenimiento del cultivo de zanahoria, integrando aspectos físicos del suelo, selección varietal, siembra, fertilización y manejo cultural. Cada una de estas prácticas, si bien puede ser abordada de forma individual, se entrelaza dentro de un sistema que requiere ser comprendido como un todo, donde la preparación adecuada del terreno, la calidad de la semilla y el manejo preciso de los insumos determinan en conjunto el rendimiento y la calidad del cultivo.

» El énfasis en una adecuada **preparación del suelo**, incluyendo labores profundas, mullido, nivelación y uso de herramientas apropiadas según el tipo de terreno, es fundamental para garantizar un desarrollo radicular uniforme, condición crítica en un cultivo en el que la raíz es el órgano cosechado. De igual forma, las **distancias y densidades de siembra** deben ser seleccionadas estratégicamente según el tipo de mercado objetivo, buscando un equilibrio entre rendimiento y calibre comercial.

» En cuanto a **la fertilización y el manejo nutricional**, se resalta el valor de tomar decisiones basadas en diagnóstico, a partir de análisis de suelo y foliar, para evitar tanto deficiencias como excesos que puedan generar pérdidas económicas o impacto ambiental. La incorporación de conceptos como **factores de eficiencia de los nutrientes** y la **complementariedad entre fertilización edáfica y foliar** aporta una mirada técnica, práctica y actualizada del manejo nutricional.

» Desde la perspectiva del autor, el reto actual no radica únicamente en la disponibilidad del conocimiento técnico, sino —como se señala en el apartado de aspectos socioeconómicos— en su adopción efectiva en el campo, teniendo en cuenta las condiciones reales de los productores, el acceso a insumos y la disponibilidad de asistencia técnica. Es necesario fomentar procesos de capacitación continuos y pertinentes, así como desarrollar esquemas de manejo que se adapten tanto a sistemas intensivos como a unidades productivas de pequeña escala.

» Un manejo agronómico eficiente y técnicamente fundamentado puede ser la diferencia entre un cultivo de zanahoria rentable y uno vulnerable a pérdidas. Por ello, se invita a continuar fortaleciendo las capacidades locales, generando datos propios y promoviendo la apropiación de tecnologías adaptadas al entorno colombiano para lograr cultivos sostenibles, resilientes y competitivos.

Referencias

Contreras, G. A. (2004). *Evaluación y calibración de algunas máquinas e implementos usados en la mecanización del sistema maíz - soya*. Corpoica. https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/ea92e24c-7c05-415a-b113-04993e54701e/content

Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de salud y calidad del suelo.* https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/gu%c3%ada%20para%20la%20evaluaci%c3%b3n%20de%20la%20calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf

Gaviola, J. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Guerrero, R. (2001). La recomendación de fertilizantes: fundamentos y aplicaciones. En F. Silva (Ed.), *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control* (pp. 247-267). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Hoef, R. G., Nafziger, E. D., Johnon, R. R., & Aldrich, S. R. (2000). Modern corn and soybean production. *MCSP Publications*, 353.

Krarup, H. A., & Duran, A. L. (1982). Producción de semilla de zanahoria. Efecto de la poda de umbelas sobre el rendimiento y calidad de las semillas. *Agrosur*, *10*(2), 97-101.

Laboratorios A-L de México. (2011). *Análisis foliares. México*. https://fuentesdeinformacioniapb.files.wordpress.com/2013/11/analisis-foliar.pdf

Lardizabal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria.* United States Agency for International Development (Usaid). https://dicta.gob.hn/files/2013,-Produccion-de-zanahoria,-G.pdf

Lobo, M., & Mejía, V. (1983). *Zanahoria*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13381

Malavolta, E. (2001). Diagnóstico foliar. En F. Silva (Ed.), *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control* (pp. 57-98). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Microfertisa. (2006). *Manual técnico de fertilización de cultivos*.

Microfertisa. (2016). *Manual técnico de fertilización de cultivos.*

Morales-Payán, J. P. (2008). *Guía técnica cultivo de zanahoria.* CEDAF.

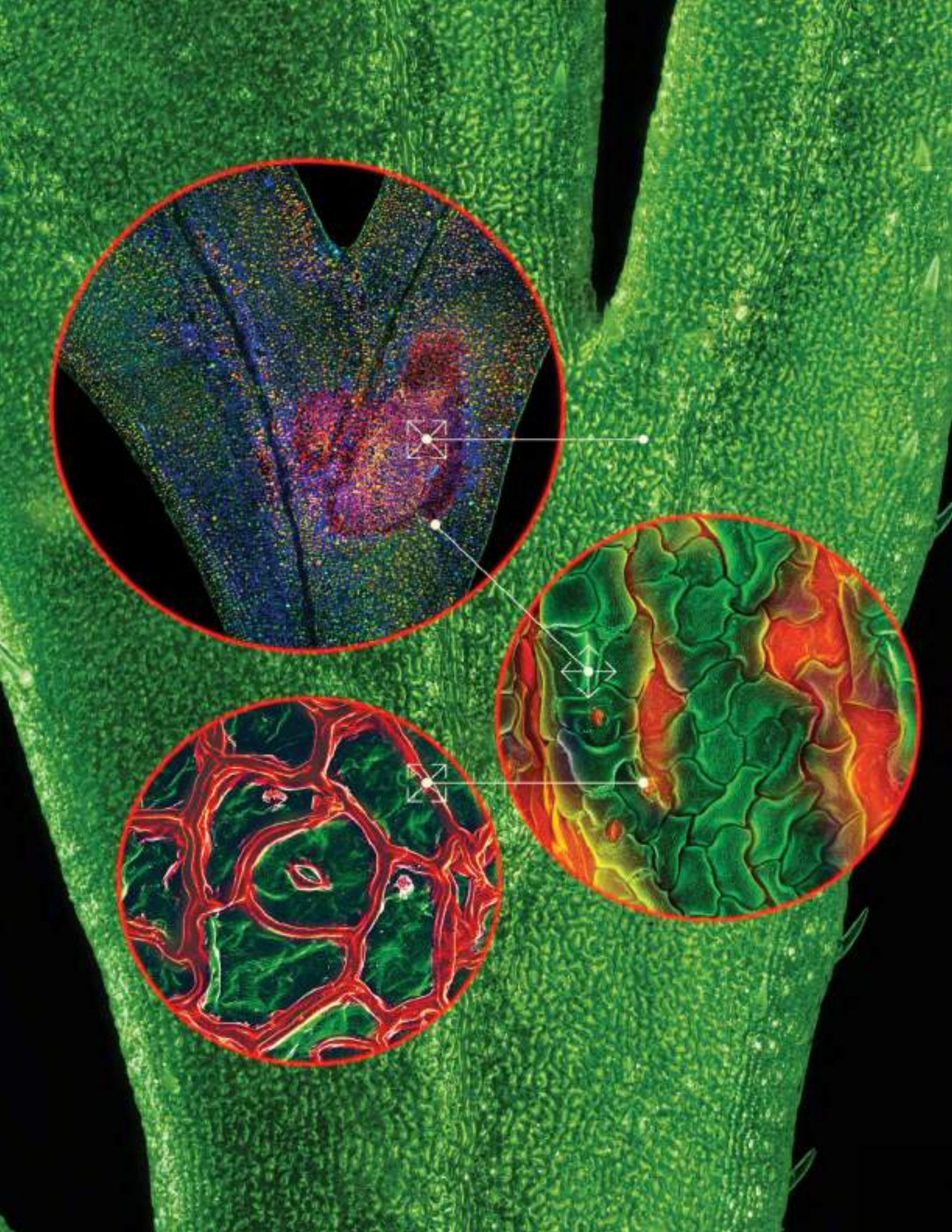
Osorio, N. W. (2012). El análisis foliar: una poderosa herramienta para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, pasturas y plantaciones. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal, 1*(2), 1-4.

Reina, C. E., & Bonilla Olaya, J. F. (1997). *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la Zanahoria (Daucus carota L) que se comercializa en la ciudad de Neiva*.

Restrepo, L. A. (1974). *Arado de disco superficial (arado rastra)*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/14231

Sosa, A., Ruiz, G., Bazante, I., Mendoza, A., Etchevers, J., Padilla, J., & Castellanos, J. Z. (2013). *Absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en zanahoria (Daucus carota L.) cultivada en el Bajío de México*.

Vilmorin. (s. f.). La zanahoria. En *Guía práctica*.





Título

Geometría de la vida

Técnica

La obra está compuesta por tres técnicas de captura de imagen: T1: microscopía de luz reflejada en 4X, detalle de la venación de una hoja con agrupamiento de 18 fotos; T2: microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 540 fotos de 30 micras de profundidad; T3: microscopía de barrido con agrupación de imágenes del detector de electrones secundarios y del detector de electrones retrodispersados.

Autoría

Alejandro Moscoso Rojas
Nydia Yadira Arias Morales
Juan Camilo Orozco Cardona
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Lámina foliar de la hoja de zanahoria, donde se observan las nervaduras en relieve en el fondo de la foto principal y en el borde de la hoja se observan los tricomas. En los círculos se observan las células de la epidermis con los estomas, que evoca el proceso de fotosíntesis. Colores propios del tejido en T1, propios de la autofluorescencia en T2 y colorización digital en T3.

Capítulo VII

Fisiología de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en las condiciones ecológicas del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia

Ángela María Castaño Marín
Lucas Esteban Cano Gallego
Jaime Darío Posada Rúa
Cristian Domínguez Pulgarín
Carolina Zuluaga Mejía
Luz Mary Quintero Vásquez
Jaison Martínez Saldarriaga
Carolina Ortiz Muñoz
Germán Franco
Paola Andrea Hormaza

Introducción

La fisiología vegetal estudia los procesos vitales que permiten a las plantas crecer, desarrollarse y adaptarse a su entorno. Entre estos procesos se encuentran la fotosíntesis, mediante la cual las plantas capturan la energía lumínica y la convierten en compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas (Ortuño et al., 2015); la respiración, que permite liberar energía almacenada; la transpiración, crucial para el balance hídrico y térmico, y el transporte de agua, minerales y fotoasimilados, elementos fundamentales para el metabolismo y el crecimiento. Estos mecanismos también regulan aspectos clave como la morfogénesis, la diferenciación celular y la producción de estructuras reproductivas y comerciales, como la raíz engrosada en el caso de la zanahoria. De otro lado, la fenología vegetal es el estudio del tiempo y la secuencia de acontecimientos críticos en el ciclo de vida de las plantas, tales como la emergencia, la expansión de las hojas, el engrosamiento de órganos de almacenamiento y la madurez fisiológica, y su relación con condiciones ambientales y climáticas. Esta disciplina considera los rangos temporales y las transiciones entre estados de crecimiento y reproducción, y es una herramienta que ayuda a entender y predecir la interacción entre el desarrollo de las plantas

y factores como temperatura, fotoperiodo y disponibilidad de agua y nutrientes (Cleland & Wolkovich, 2024). La fenología proporciona una base cuantitativa que facilita la sincronización de prácticas agronómicas, como la fertilización, el riego y la cosecha, con los momentos en que las plantas son más receptivas o vulnerables.

Este capítulo está diseñado para proporcionar a productores de zanahoria, técnicos de campo e ingenieros agrónomos y otros agentes de la cadena productiva una base para el manejo óptimo del cultivo, maximizando su potencial productivo a través del entendimiento de su ecofisiología y fenología.

Crecimiento y desarrollo de la zanahoria

En el Oriente antioqueño se concentra una parte significativa de la producción de zanahoria del departamento de Antioquia. Entre los híbridos más comúnmente utilizados en esta región se destacan Extremo F1, Belgrado, Olimpo, Nirvana, Brilliance y Bangor (Quintero & Franco, 2023). Este último ha adquirido especial relevancia en los sistemas productivos locales, posicionándose como uno de los materiales modales gracias a su desempeño agronómico y adaptación a las condiciones agroecológicas de la zona.

Dado este contexto, un material de tipo Berlicum fue seleccionado como base para el estudio ecofisiológico y morfoagronómico desarrollado en 2023 bajo las condiciones típicas de clima y suelo del Bosque Húmedo Montano Bajo colombiano. Esta investigación se realizó en el Centro de Investigación La Selva de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Rionegro, Antioquia. Los suelos de esta región presentan características edáficas particulares: son formados a partir de rocas ígneas con influencias de mantos de cenizas volcánicas, lo que les confiere una textura media a liviana, buena porosidad, capacidad de infiltración y una notable retención de humedad. Tienen un pH ácido a fuertemente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), considerable fijación de fósforo, presencia de aluminio libre en niveles elevados y un contenido significativo de nitrógeno total (Fernández & Santa, 1964).

Estas condiciones edafoclimáticas del Oriente antioqueño constituyen un entorno ideal para evaluar el comportamiento agronómico y fisiológico del cultivo de zanahoria, ya que permiten una visible caracterización de sus fases fenológicas y su respuesta a los factores ambientales.

En cuanto al crecimiento, la acumulación de biomasa en la planta del material de zanahoria evaluado desde la emergencia hasta la cosecha está representada por una curva de tipo logístico que refleja la desaceleración del crecimiento a medida que las plantas se acercan a su máximo tamaño (Castaño-Marín et al., 2026). Esta desaceleración en la tasa de crecimiento se debe principalmente a limitaciones genéticas inherentes al cultivar, que determinan el potencial máximo de crecimiento y acumulación de biomasa bajo condiciones dadas. Los factores genéticos actúan como una restricción interna que regula la expansión celular, la capacidad fotosintética y el alargamiento de órganos, incluso en presencia de condiciones ambientales

óptimas. Estudios con modelos de crecimiento longitudinal han demostrado que parámetros de crecimiento ajustados mediante funciones logísticas o sigmoideas son específicos del genotipo, lo que evidencia que la genética controla tanto la tasa como el patrón temporal de acumulación de biomasa (Moreira et al., 2020). La figura 7.1 describe la evolución, y el modelo resultante se utiliza para simular el incremento en biomasa total de la planta en función de los días después de siembra (DDS), en línea con lo reportado por Castaño-Marín et al. (2026).

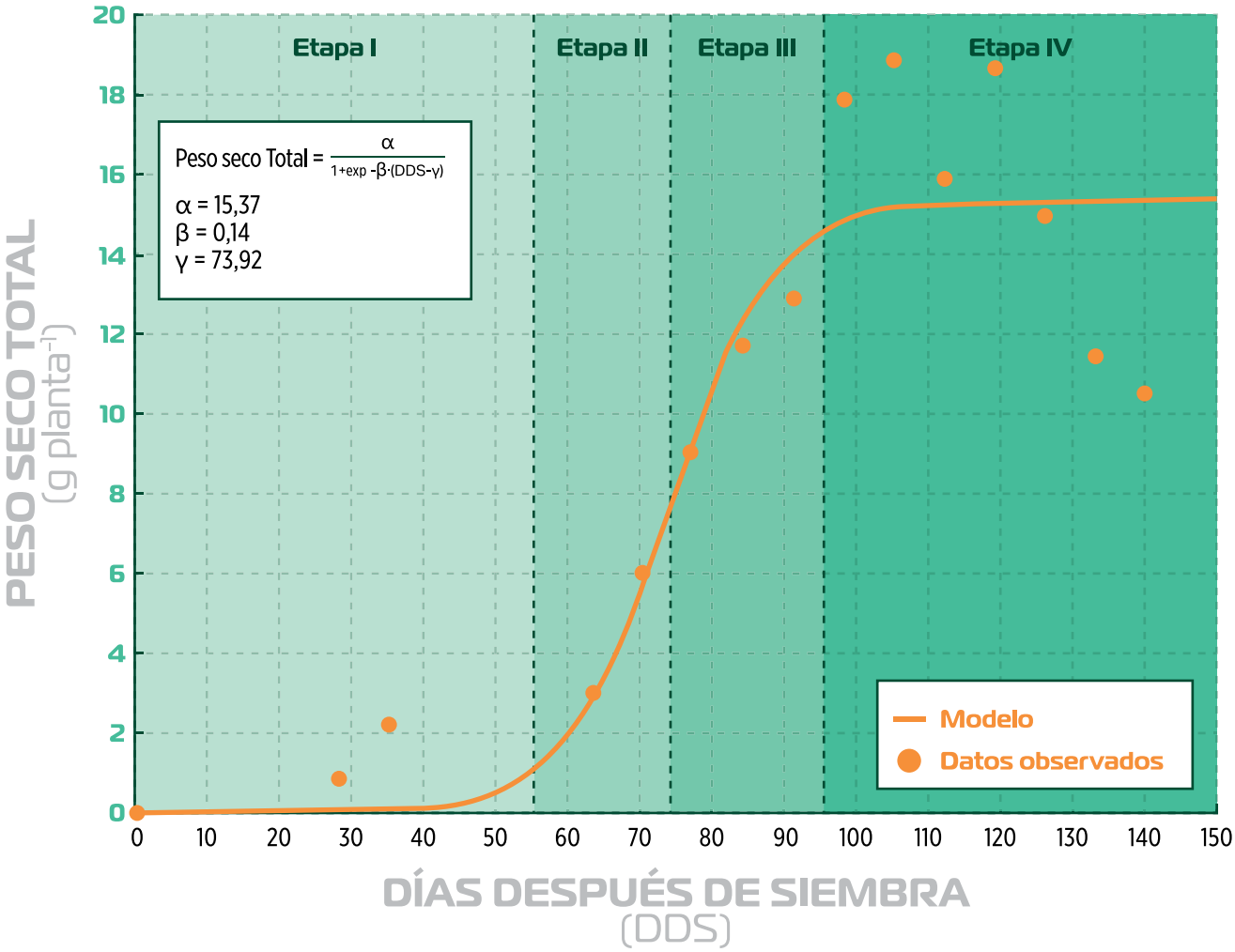


Figura 7.1. Dinámica del crecimiento total de la planta del material de zanahoria tipo Berlicum bajo las condiciones de clima y suelo del C. I. La Selva (Rionegro, Antioquia). Etapas fenológicas.

Fuente: Elaboración propia

La evolución del crecimiento de la zanahoria mostrado en figura 7.1 conduce al ajuste de un modelo de crecimiento representado por la ecuación 7.1:

$$PS = 1 + \exp(-\beta \cdot (DDS - \gamma))\ \alpha$$

Ecuación 7.1

En donde, *PS* es el peso seco total de la planta, α (alfa) representa el peso seco máximo teórico que la planta puede alcanzar (en este caso α = 15,37 g/planta a los 95 DDS), β (beta) es la tasa de crecimiento relativo de la planta (β = 0,14), γ (gamma) es el punto de inflexión de la curva, donde el crecimiento cambia de acelerado a desacelerado (γ = 73,92), y DDS (días después de la siembra) es el tiempo transcurrido desde la siembra hasta la fecha de la cosecha. Se identificaron cuatro etapas fenológicas de la zanahoria de acuerdo con la ecuación 7.1, las cuales se describen a continuación:

Etapa I: esta es la fase de establecimiento, donde el crecimiento es inicialmente lento. La planta está desarrollando su sistema de raíces y acumulando recursos para el crecimiento futuro. Para el Oriente antioqueño, esta etapa se observa desde la siembra hasta aproximadamente 55 DDS.

Etapa II: se evidencia crecimiento acelerado y la planta comienza a desarrollar su biomasa vegetativa. La curva empieza a ascender más rápidamente, lo que indica una tasa de crecimiento incrementada. Esta etapa se sitúa entre los 55 y los 74 DDS.

Etapa III: el crecimiento sigue siendo rápido y es aquí donde se alcanza el punto de inflexión (γ). La planta está en pleno desarrollo, comenzando a formar el órgano de interés comercial, la raíz de la zanahoria. Inicia desde aproximadamente 74 DDS hasta cerca de 95 DDS.

Etapa IV: finalmente, el crecimiento se estabiliza y la curva se aplana, lo que indica que la planta ha alcanzado un estado de madurez fisiológico y el incremento del peso seco se desacelera y finalmente se detiene. La figura 7.1 muestra que esta etapa comienza alrededor de los 95 DDS y finaliza hacia los 140 DDS.

Crecimiento y desarrollo de la raíz

Como se puede observar en la figura 7.2, el crecimiento de la raíz sigue la misma dinámica que la planta en su totalidad (parte aérea y raíces). El modelo matemático de la figura 7.2 muestra que el peso seco aumenta lentamente durante las dos primeras etapas de desarrollo, acelera durante la tercera etapa y luego se estabiliza a medida que alcanza el peso seco máximo teórico de raíz (α = 12,17 g/planta); el 95 % del peso máximo teórico de la raíz se alcanza a los 105 DDS. Esta forma del crecimiento es típica para muchos órganos de almacenamiento en las plantas y sumamente importante en zanahoria, dado que permite conocer el punto máximo de acumulación de biomasa en la raíz y posterior tiempo de cosecha.

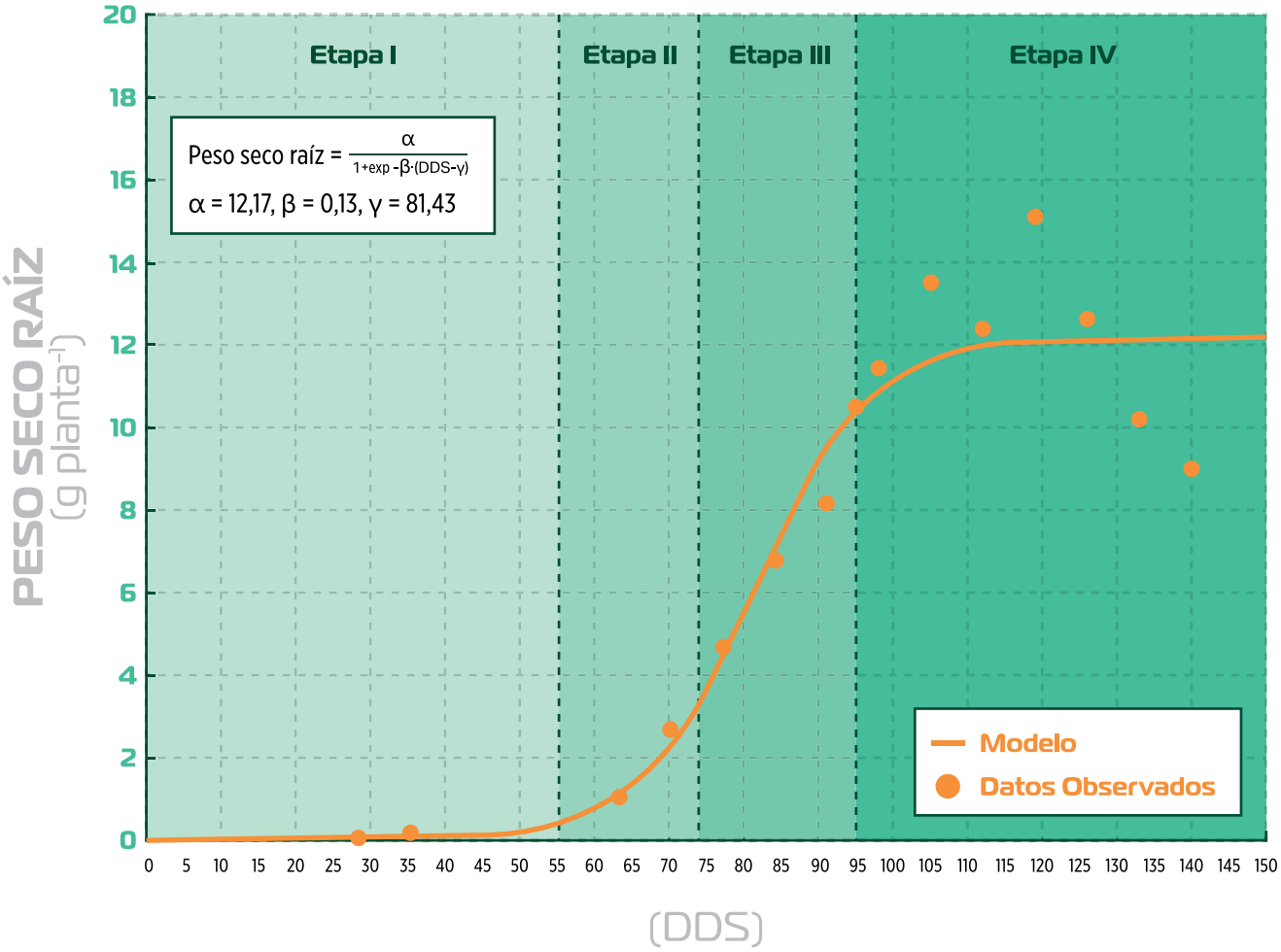


Figura 7.2. Comportamiento del crecimiento y desarrollo de la raíz del material tipo Berlicum para la región Rionegro (Antioquia), Bosque Montano Bajo de Colombia, en cada una de las etapas fenológicas de la planta.

Fuente: Elaboración propia

Crecimiento y desarrollo de la parte aérea

La figura 7.3 ilustra el incremento y posterior declive del peso seco de la parte aérea, siguiendo una dinámica de crecimiento asimétrica. Inicialmente, se observa una fase de crecimiento lento, seguida de una etapa de aumento más rápido que alcanza un máximo y luego una fase de disminución en la biomasa aérea. Este patrón asimétrico es consistente con la variación observada en características de crecimiento de la parte aérea del cultivo de zanahoria, donde rasgos como cobertura del dosel y altura del follaje alcanzan un pico y luego se estabilizan o desaceleran a medida que los recursos se redistribuyen hacia otros órganos o el crecimiento global se modera (Loarca et al., 2024). El modelo logístico estima un peso seco máximo teórico de biomasa aérea de α = 5,53 g/planta, cuyo 95 % se alcanza a los 87 DDS, con una tasa relativa de crecimiento β = 0,00082, y un punto de inflexión γ = 95,06 DDS.

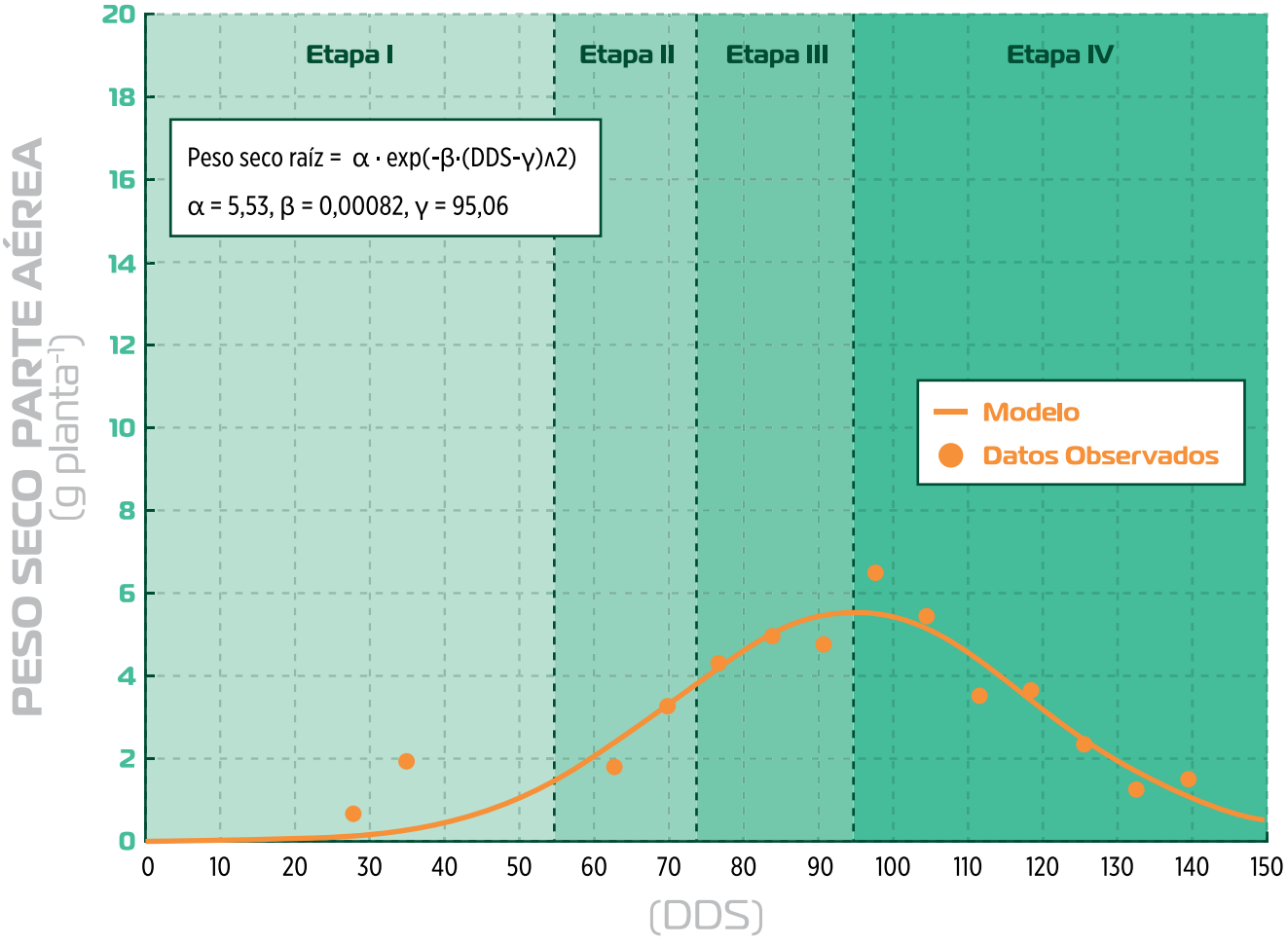


Figura 7.3. Comportamiento del crecimiento y desarrollo del follaje del material tipo Berlicum para la región Rionegro (Antioquia), Bosque Montano Bajo de Colombia, en cada una de las etapas fenológicas de la planta.

Fuente: Elaboración propia



Relación del desarrollo entre la parte aérea y la raíz

La relación entre la parte aérea y la raíz es dinámica a lo largo del ciclo de crecimiento. La figura 7.4 muestra la evolución de la tasa de crecimiento (g día^{-1}) de la parte aérea, la raíz y el total de biomasa de zanahoria durante su ciclo fenológico, en función de los días después de siembra (DDS). Se distinguen claramente las cuatro etapas del desarrollo del cultivo.

Durante la etapa I (hasta ~55 DDS), tanto la raíz como la parte aérea presentan tasas de crecimiento bajas y similares, reflejo de una fase de establecimiento, donde la planta prioriza la formación del sistema radical y de las primeras hojas funcionales. En la etapa II (~55 a 75 DDS), se observa un incremento acelerado en la tasa de crecimiento de la parte aérea, que alcanza su punto máximo cercano a los 75 DDS. Este comportamiento es concordante con el crecimiento vegetativo activo, cuando la planta amplía su superficie fotosintética para generar mayor cantidad de fotoasimilados. Durante esta etapa comienza a intensificarse la traslocación de nutrientes hacia la raíz, lo que explica el aumento progresivo en su tasa de crecimiento.

En la etapa III (~75 a 100 DDS), la tasa de crecimiento de la parte aérea comienza a declinar, mientras que la raíz alcanza su máximo crecimiento (~85 DDS). Este cambio señala el inicio de una fase de redistribución de recursos, donde los fotoasimilados producidos por el follaje se translocan de manera preferencial hacia la raíz, órgano de almacenamiento. La disminución en la tasa de crecimiento aérea también refleja procesos de senescencia parcial y gasto energético en mantenimiento estructural. Finalmente, en la etapa IV (>100 DDS), las tasas de crecimiento de ambas estructuras disminuyen notablemente. Esto indica que el cultivo ha alcanzado su fase de madurez fisiológica, con una raíz plenamente desarrollada (125 a 130 DDS) y un follaje que ha culminado su función fisiológica. Las tasas cercanas a cero en esta etapa sugieren un tránsito hacia un estado de latencia metabólica, típico previo a la floración, aunque este proceso no ocurre en condiciones de día corto intertropicales como las del Oriente antioqueño, donde la zanahoria no entra en fase reproductiva a campo abierto (Paredes, 2021).

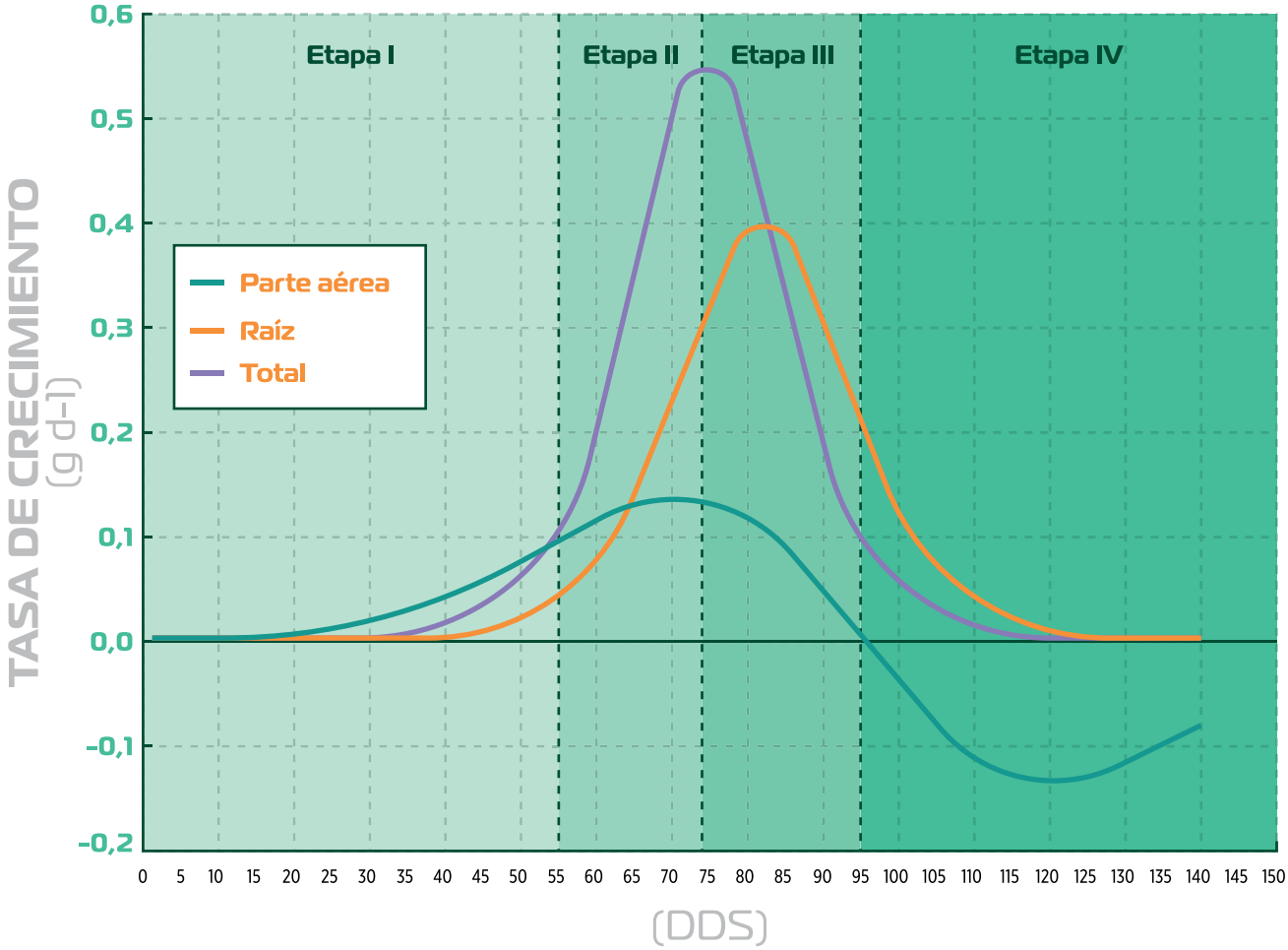


Figura 7.4. Dinámica de la tasa de crecimiento de la planta completa de zanahoria, parte aérea y raíz expresada en g d^{-1} de materia seca, a través del tiempo después de siembra (DDS), bajo condiciones del Oriente antioqueño.

Fuente: Elaboración propia

Área foliar

El área foliar y cantidad de hojas emitidas hasta el final de la primera etapa de crecimiento se incrementan lentamente. Posteriormente, se nota un crecimiento rápido que ocurre durante la segunda y tercera etapas, alcanzando un pico alrededor de los 91 DDS, condición similar a la encontrada por Floari et al. (2021) en la variedad Cadril. Hacia la cuarta etapa, el número de hojas emitidas disminuye y, por lo tanto, el área foliar se reduce (figura 7.5). La relación entre el área foliar y la acumulación de peso seco depende de cómo se distribuye

el carbono en cada uno de los órganos de la planta (Brouwer, 1983; Martínez-Maldonado et al., 2021). El área foliar puede estar afectada por factores bióticos y abióticos. En cuanto a este último, una deficiencia de nitrógeno puede ocasionar reducciones en el área foliar, con consecuente disminución en la tasa fotosintética, lo cual se puede reflejar en pérdida del potencial productivo (Zhang et al., 2020; Evans 1989).

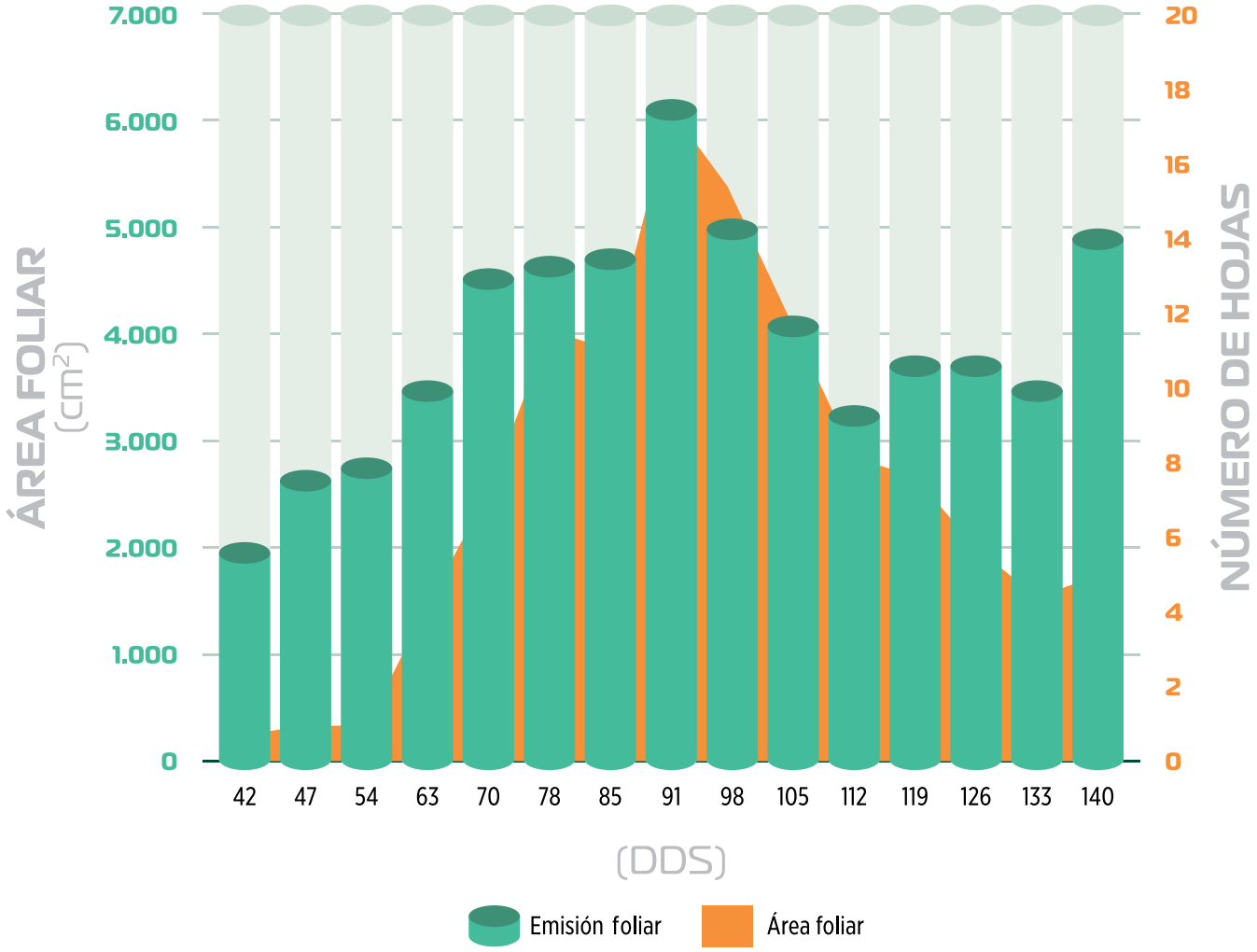


Figura 7.5. Dinámica de la emisión de hojas y área foliar del híbrido Bangor para la región del Oriente antioqueño.

Fuente: Elaboración propia

Tiempo térmico y relación con etapas fenológicas para el cultivo de zanahoria

La temperatura es una de las fuerzas impulsoras del crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Para alcanzar las diferentes etapas de desarrollo, las plantas necesitan cierta cantidad de calor denominada tiempo fisiológico o tiempo térmico (TT), el cual se expresa en unidades de grados día acumulados (°C) (Jaramillo, 2005; Parra-Coronado et al., 2015). Su cálculo es ampliamente utilizado para predecir el tiempo necesario para que un cultivo alcance determinada fase de desarrollo, de acuerdo con las condiciones específicas de clima de una zona productiva (Zimmermann et al., 2017) y de esta manera estimar el momento óptimo de recolección.

Para el cultivo de zanahoria, el rango de temperatura óptimo para el crecimiento está entre 16 y 21 °C (Purdue University, 2012). La actividad fisiológica de las plantas se ve limitada o incluso puede no ocurrir cuando las temperaturas se sitúan por fuera de los umbrales térmicos definidos como base inferior y superior. En zanahoria, se ha reportado que la temperatura base inferior para el desarrollo es de 10 °C (Dean et al., 1989), mientras que la base superior se encuentra entre 30 y 35 °C (Ruiz Corral et al., 2013).

Cabe aclarar que estos umbrales aplican para determinados materiales genéticos, cultivados generalmente en regiones templadas, por lo que pueden no ser completamente representativos de los materiales evaluados en condiciones intertropicales como las del presente estudio. En este caso, dichos valores se utilizaron sin ajuste, como una primera aproximación al análisis térmico, reconociendo la necesidad de realizar estudios específicos para estimar los umbrales térmicos reales del material descrito en este capítulo.

Para calcular el tiempo térmico en el cultivo de zanahoria, se utilizó el método del triángulo simple (Universidad de California, 2012). La figura 7.6 muestra que en las condiciones climáticas registradas en el C. I. La Selva se necesitaron 1.174,2 °D para que las plantas de zanahoria del material tipo Berlicum llegaran a su punto de madurez hortícola (etapa IV). Se observa que para la etapa I se deben acumular 542,8 °D desde la siembra; para la etapa II, 722,5 °D y para la etapa III, 946,6 °D.

El umbral de temperatura ajustado para el material tipo Berlicum permite establecer los parámetros productivos óptimos para el cultivo de zanahoria, resaltando las condiciones climáticas deseables para su desarrollo en la zona del Oriente antioqueño. Dado que el clima puede variar significativamente entre localidades e incluso a escala de finca, la acumulación de grados día (°D) se plantea como un indicador complementario útil para estimar la duración del

ciclo productivo. Esta métrica considera las condiciones térmicas predominantes de cada zona y aporta mayor precisión en la caracterización fenológica, y en la del material tipo Berlicum establece los parámetros productivos requeridos para la zanahoria, destacando condiciones deseables para su producción dentro de la zona del Oriente de Antioquia.

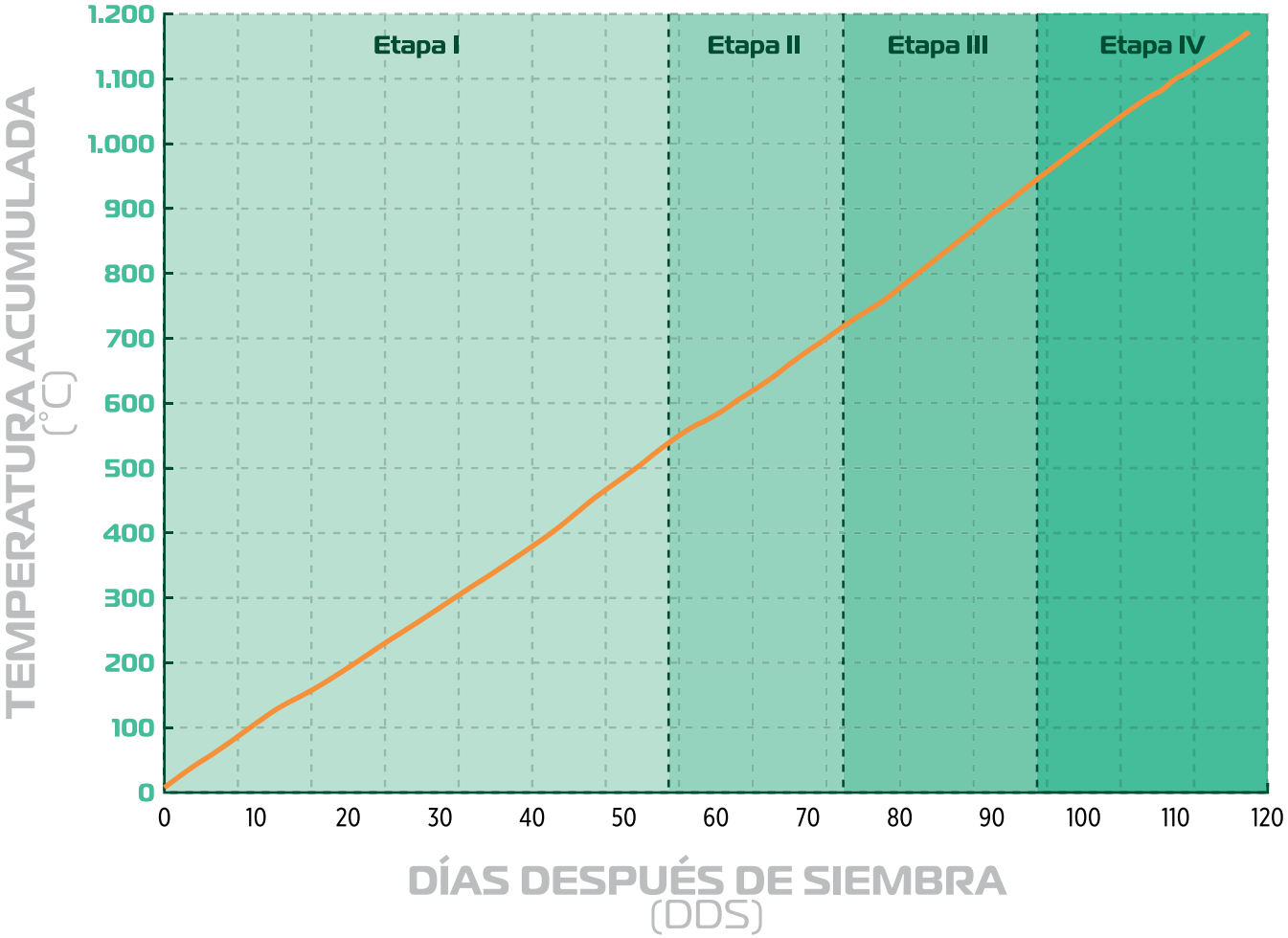


Figura 7.6. Tiempo térmico (TT) acumulado por etapa de desarrollo en plantas de zanahoria bajo condiciones ambientales del Oriente antioqueño.

Fuente: Elaboración propia

Momento óptimo de recolección (MOR) de la zanahoria y su calidad de consumo

Para las condiciones ambientales del Oriente antioqueño, las tasas de crecimiento de la raíz y de la parte aérea en zanahoria del material tipo Berlicum disminuyen alrededor de 85 DDS, proceso que ocurre en la etapa III. En la etapa IV, la tasa de crecimiento de la raíz disminuye a valores cercanos a cero, con tasa entre 0,02 g d^{-1} y 0,005 g d^{-1}, y la parte aérea presenta una tasa de crecimiento negativa (-0,1311 g d^{-1}). Esto indica que la acumulación de biomasa total en la planta es baja, por lo que se puede inferir que los recursos se están dirigiendo hacia la raíz y las hojas han entrado en senescencia en la fase vegetativa de la planta. La combinación de estos factores (tasa de crecimiento de la planta completa, de la raíz y follaje) indica que la zanahoria ha alcanzado su potencial de crecimiento y la calidad hortícola de consumo, por lo que se puede recomendar el MOR del material de zanahoria estudiado en el periodo comprendido entre los 115 y los 125 DDS. La calidad de la raíz de la zanahoria como producto final para su consumo y agroindustria debe reunir ciertos factores, como tamaño, forma, color, contenido de azúcares y firmeza, cualidades que alcanza en el MOR recomendado; además, debe tener una apariencia fitosanitaria óptima.

La definición apropiada del MOR es importante porque la calidad del producto puede deteriorarse si se recolecta demasiado temprano o tarde. En cosechas tempranas, la zanahoria pierde firmeza rápidamente, lo que acorta su vida útil, mientras que, en cosechas tardías, se afecta la calidad del producto puesto que la raíz se torna fibrosa, se afecta el sabor y disminuye la textura (Gabriel, 2013; Saavedra & Kehr, 2019).

En cuanto a la calidad morfológica y visual de la raíz, la zanahoria ha alcanzado la tonalidad y la saturación típica del material, desde alrededor de los 77 DDS (etapa III). A partir de este tiempo y hasta alcanzar el MOR, la evolución del color es baja en la corteza, con incremento del color de 8,8, en el xilema de 6,9 y en el floema de 5,1. Estos incrementos en el color pueden ser perceptibles a los ojos del consumidor y estarían asociados a las fases finales del metabolismo de la raíz en la etapa IV de crecimiento de la planta.

En el periodo comprendido entre los 115 y los 125 DDS (MOR), se observa que la textura tiene una tendencia ascendente en la variable dureza o fuerza necesaria para deformar la zanahoria (Oficina Nacional de Normalización [ONC], 2002), con valores de 13 kgf, para ascender a unos 20 kgf en el tiempo máximo de la cosecha (figura 7.7a), por lo que la zanahoria se considera como vegetal duro, característica que influye en el diseño y capacidad de los empaques, tal como lo considera la Norma Técnica Colombiana NTC 1226-2 (Icontec, 1996), con recomendaciones de empaques que van desde los 25 a los 50 kg.

Los valores de la elasticidad (figura 7.7b) o rapidez con la cual se recupera la zanahoria de la deformación después de aplicar una fuerza, la cohesividad (figura 7.7c) relacionada con la crujencia de la raíz y la masticabilidad (figura 7.7d), referida a la

energía requerida para masticar la zanahoria hasta que esté lista para su deglución (ONC, 2002), presentan tendencia similar a la textura. López (2019) reporta condiciones similares a las expuestas, manifestando que la zanahoria se caracteriza por tener valores altos de dureza, masticabilidad y fracturabilidad, o fuerza necesaria para romper la zanahoria en trozos (ONC, 2002).

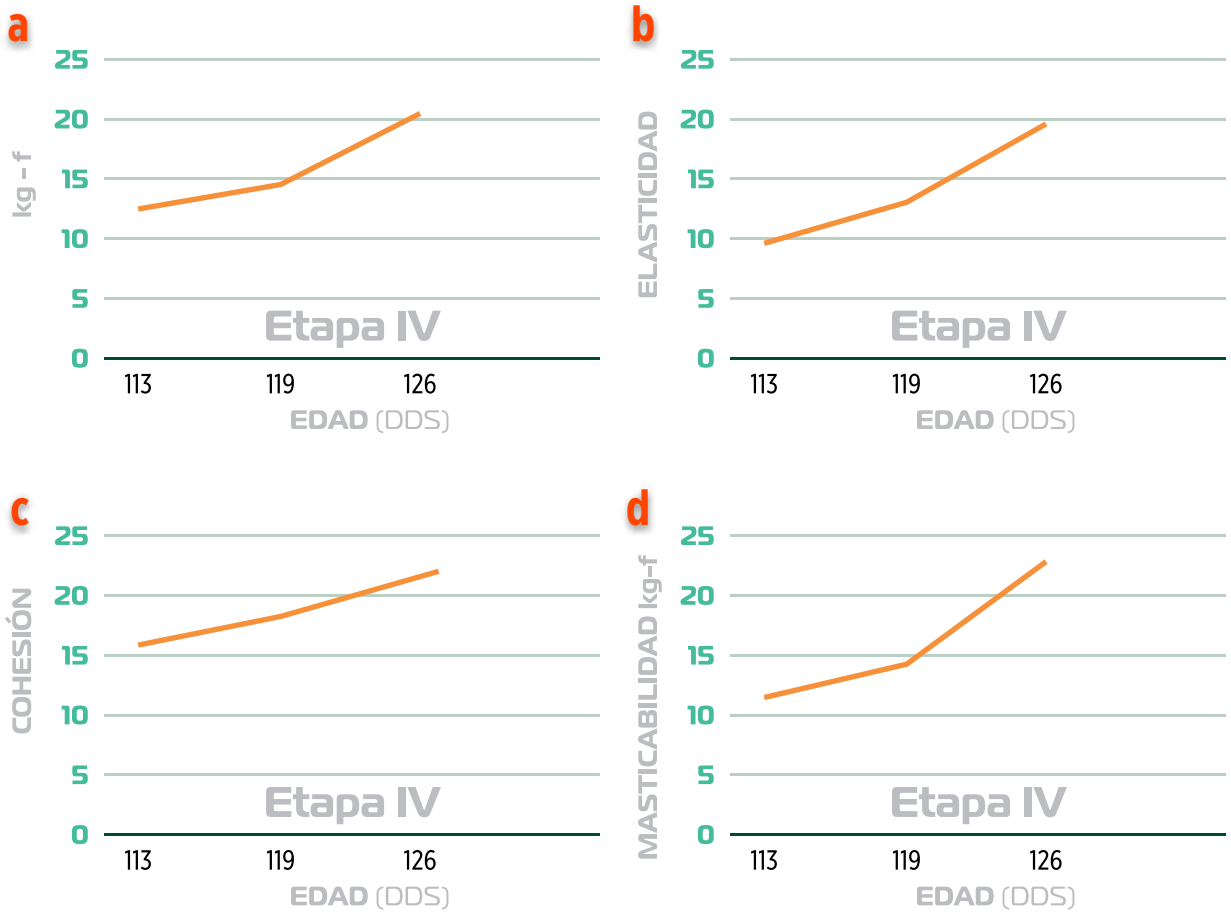


Figura 7.7. Evolución de variables de textura de la zanahoria del material tipo Berlicum durante el MOR en la etapa IV de crecimiento. a. Textura; b. Elasticidad; c. Cohesión; d. Masticabilidad. Todas las anteriores en unidades de kgf.

Fuente: Elaboración propia

La mayor acumulación de sólidos solubles totales se obtiene entre los 107 y 126 DDS (etapa IV de crecimiento), con un valor máximo de 7,7 °Brix (figura 7.8a), tal como lo mencionaron Richmond et al. (2011), Larsen y Wold (2016) y Ghorbani et al. (2021), que coincide con la MOR recomendada. El pH presenta valores estables con ligera tendencia a la disminución (figura 7.8b), situación también encontrada por Ghorbani et al. (2021). La acidez titulable expresada como el porcentaje de ácido málico se presenta estable (figura 7.8c), acorde a los valores reportados en la literatura (Bastidas & Valencia, 2014; Dussán et al., 2015). En el caso de proponer un índice de madurez basado en los sólidos solubles/acidez titulable, los mayores valores se presentan en la época recomendada como MOR según las condiciones ambientales del Oriente antioqueño (figura 7.8d). La evolución de las variables fisicoquímicas que acompañan el crecimiento y desarrollo de la zanahoria verifican que las mejores condiciones de calidad y madurez hortícola se obtienen en la época de recolección recomendada.

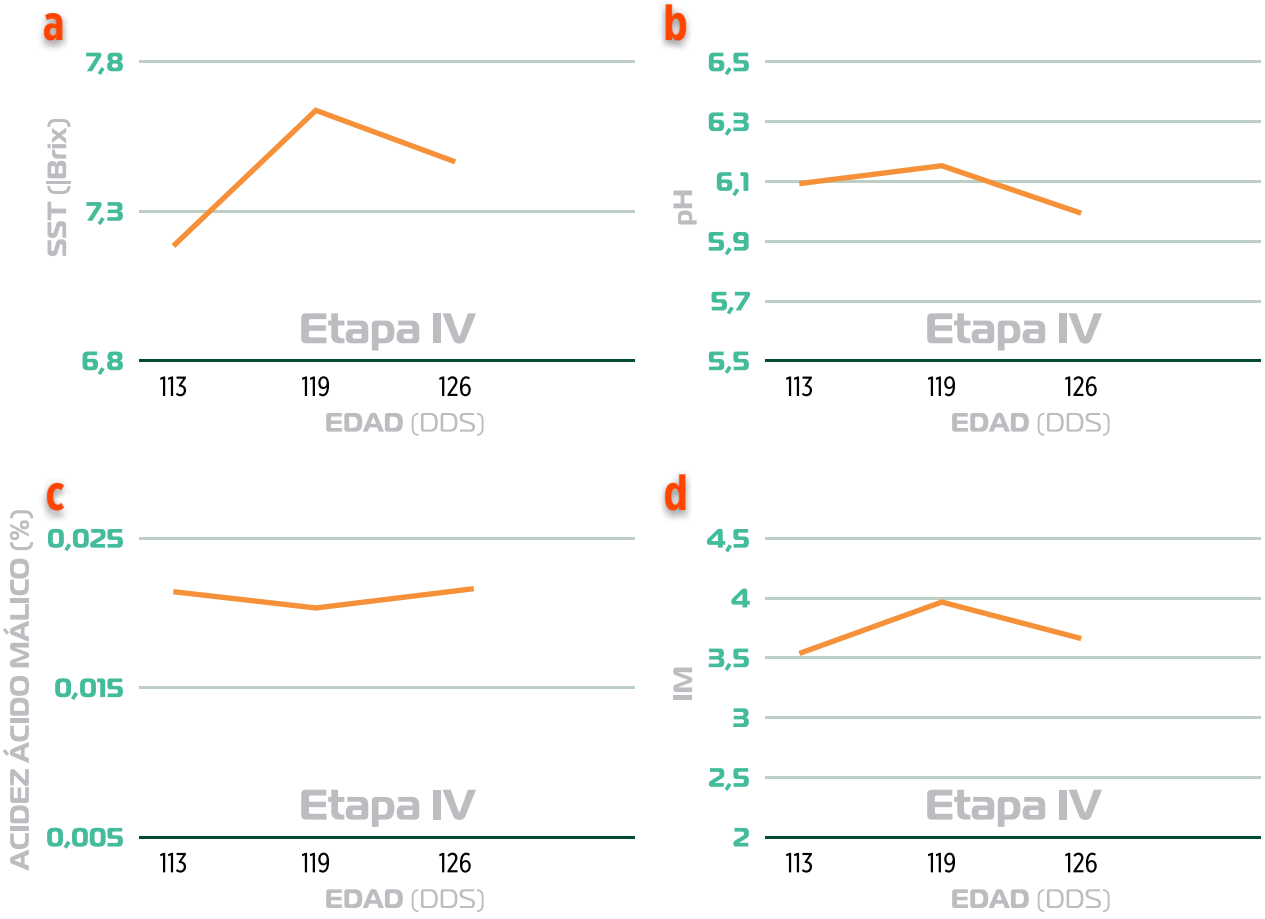


Figura 7.8. Evolución de las variables fisicoquímicas de la zanahoria del material tipo Berlicum durante el MOR en la etapa IV de crecimiento. a. Sólidos solubles totales; b. pH; c. Acidez; d. Índice de madurez.

Fuente: Elaboración propia

Algunas recomendaciones para el manejo agronómico basadas en la fenología

Con base en el estudio del crecimiento y desarrollo del material tipo Berlicum presentado en este capítulo, se recomienda el siguiente manejo, de acuerdo con la etapa fenológica:

Etapa I: es importante realizar una buena preparación del suelo con arado profundo y rastra, para asegurar un suelo suelto y bien drenado e incorporar materia orgánica para mejorar su estructura. Se recomienda aplicar fertilización, previo análisis de suelo, y garantizar la disponibilidad de fósforo (P) y potasio (K) para favorecer el desarrollo radicular, así como sembrar a una densidad adecuada para evitar competencia entre plantas, con una distancia recomendada de 20 cm entre hileras y 10 cm entre plantas. Es importante mantener una humedad constante en el suelo, especialmente durante la germinación y establecimiento inicial. Realizar desyerbas manuales o mecánicas para evitar la competencia por nutrientes y luz.

Etapa II: durante esta fase, caracterizada por un crecimiento acelerado de la biomasa total de la planta, es necesario asegurar el suministro adecuado de nitrógeno mediante fuentes como nitrato de amonio (NH_4NO_3) o urea, mantener una humedad óptima del suelo, continuar con el control de arvenses y realizar un monitoreo riguroso para la detección temprana de plagas y enfermedades. Para un manejo integrado, pueden utilizarse agentes biológicos como *Bacillus thuringiensis* y *Trichoderma* spp., de manera preventiva.

En esta etapa, el desarrollo de la parte aérea, especialmente del follaje, reviste gran importancia, ya que las hojas, aunque no acumulan directamente la biomasa final del cultivo (que en el caso de la zanahoria se concentra en la raíz), desempeñan un papel determinante como órganos fotosintéticos. A través de la captura de CO_2 y la fotosíntesis, generan los fotoasimilados necesarios para el crecimiento de todos los órganos de la planta, incluyendo la raíz.

Por lo tanto, entre los 55 y 95 DDS, se recomienda un manejo fitosanitario enfocado en la protección y funcionalidad del follaje. Pasado este periodo, la tasa de emisión de nuevas hojas y el crecimiento foliar disminuyen, por lo que las aplicaciones preventivas orientadas al sostenimiento del tejido aéreo pierden efectividad.

Para no olvidar...



» En el intertrópico colombiano, el cultivo de zanahoria no entra en dormancia ni en fase reproductiva debido al fotoperiodo, a diferencia de lo que ocurre en climas templados. Esto permite prolongar el ciclo vegetativo en campo, si las condiciones lo permiten, pero también exige definir cuidadosamente el momento óptimo de cosecha para no perder calidad.

» El momento óptimo de recolección del material de zanahoria tipo Berlicum, en condiciones del Oriente antioqueño, ocurre entre los 115 y 125 días después de siembra, lo cual garantiza raíces con mayor firmeza, buen contenido de azúcares y excelente calidad comercial.

» Entender cómo y cuándo la planta transloca biomasa hacia la raíz permite optimizar el uso de fertilizantes, agua y productos fitosanitarios. Por ejemplo, la protección del follaje es crítica solo hasta que se alcanza el máximo de producción fotosintética (etapa III), lo que evita gastos innecesarios en la etapa final del cultivo.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» Mediante el estudio fisiológico de la zanahoria, en este caso del material tipo Berlicum ampliamente utilizado, se obtuvo información aplicable para el manejo técnico del cultivo, bajo las condiciones ambientales de siembra.

» La caracterización del crecimiento, basada en modelos logísticos y el análisis de grados-día acumulados (1.174,2 °D hasta la madurez), permite a técnicos, agrónomos y productores anticipar con precisión las etapas críticas del desarrollo del cultivo. Se identificaron cuatro fases fenológicas bien definidas, destacando que el momento óptimo de recolección (MOR) se encuentra entre los 115 y 125 días después de siembra (DDS), cuando la raíz alcanza su mayor calidad hortícola con valores máximos de textura (hasta 20 kgf), sólidos solubles (hasta 7,7 °Brix) y características morfológicas óptimas como color, forma y firmeza. Además, se evidenció que el 95 % del peso seco máximo de la raíz (12,17 g/planta) se alcanza a los 105 DDS, y el área foliar alcanza su máximo a los 91 DDS, lo cual orienta sobre el momento de mayor actividad fotosintética. Estas métricas permiten ajustar con precisión prácticas como la fertilización nitrogenada entre los 55 y 95 DDS, el control fitosanitario del follaje y la programación de la cosecha, reduciendo pérdidas y mejorando la eficiencia del uso de recursos. La incorporación del tiempo térmico como herramienta predictiva, junto con las recomendaciones agronómicas por etapa fenológica, representan un insumo clave para planificar el cultivo con base en las condiciones climáticas locales, propiciando así una producción más eficiente, sostenible y rentable.

Referencias

Castaño-Marín, A. M., Góez-Vinasco, G. A., Hormaza-Martínez, P. A., Cano-Gallego, L. E., López-Hernández, L. F., Posada-Rua, J. D., Zuluaga-Mejía, C., Domínguez-Pulgarín, C., García-Valencia, V., & Henao Rojas, J. C. (2026). Growth dynamics and ecophysiological performance of two carrot (*Daucus carota* L.) types under high-altitude Andean tropical conditions. *Horticulturae*, *12*(5),525. https://doi.org/10.3390/horticulturae12050525

Cleland, E. E., & Wolkovich, E. M. (2024). Effects of phenology on plant community assembly and structure. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *55*, 1-25. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102722-011653

Fernández, F., & Santa, N. (1964). *Estudio general de suelos del Oriente antioqueño.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/1157e2.pdf

Gabriel, E. (2013). Implantación y manejo del cultivo. En J. Gaviola (Ed.), *Manual de producción de zanahoria* (pp. 47-69). INTA. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/423f6293-6b1d-46a4-824d-99f6257ca741/content

La Vanguardia. (2022). Zanahoria: propiedades, valor nutricional, beneficios y qué tener en cuenta a la hora de comprarla. https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20180918/451854795056/zanahoria-beneficios-propiedades-valor-nutricional.html

Ortuño, A., Díaz, L., & Del Río, J. (2015). Evolución de la fisiología vegetal en los últimos 100 años. *Revista Eubacteria*, *34*, 74-82. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5370382

Saavedra, G., & Kehr, E. (2019). Zanahoria (*Daucus carota* L., Var. sativus Hoffm.). *Boletín INIA*, *411*, 71-119. https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6818

Torres, A. (2016). Siete beneficios de la zanahoria que no conocía. *El País*. https://elpais.com/elpais/2014/07/21/buenavida/1405934369_335839.html

Universidad Nacional de Colombia, Instituto Nacional de Salud & Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2020). *Encuesta nacional de la situación nutricional 2015*. ICBF. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/libro-ensin-2015.pdf

Van Schaik, C. P., Terborgh, J. W., & Wright, S. J. (1993). The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *24*, 353-377. https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.es.24.110193.002033

University of California Agriculture & Natural Resources. (2013). *Weather, models, & degree-days*. http://ipm.ucdavis.edu/WEATHER/index.html

Bastidas-Cadpata, R., & Valencia-Chamorro, S. (2015). Estudio del efecto de la aplicación de sanitizantes en la calidad de zanahoria (*Daucus carota* L.) de IV GAMA. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *16*(2). https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176023.pdf

Dussán-Sarria, S., García-Mogollón, C. A., & Gutiérrez-Guzmán, N. (2015). Cambios fisicoquímicos y sensoriales producidos por el tipo de corte y empaque en zanahoria (*Daucus carota* L.) mínimamente procesada. *Información Tecnológica*, *26*(3), 63-70. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300010

Forero-Ulloa, F. E., Cely-Reyes, G. E., & Neira-Rodríguez, E. (2015). Requerimientos hídricos de la zanahoria (*Daucus carota* L.) durante tres etapas de su desarrollo. *Ciencia y Agricultura*, *12*(2), 43-50. https://www.redalyc.org/pdf/5600/560058661005.pdf

Ghorbani, Z., Zamindar, N., Baghersad, S., Paidari, S., Jafari, S. M., & Khazdooz, L. (2021). Evaluation of quality attributes of grated carrot packaged within polypropylene-clay nanocomposites. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(4), 3770-3781. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00925-7

Larsen, H., & Wold, A. B. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on sensory quality, chemical parameters and shelf life of carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at chilled and abusive temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, *114*, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.014

Loarca, J., Liou, M., Dawson, J. C., & Simon, P. W. (2024). Evaluation of shootgrowth variation in diverse carrot (*Daucus carota* L.) germplasm for genetic improvement of stand establishment. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1342512. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1342512

Matute, M. (2008). *Influencia de la distribución de las líneas de siembra en las mesetas de cultivo sobre la producción y calidad de la zanahoria CV. Maestro*. Universidad Politécnica de Madrid.

Moreira, F. F., Oliverira, H. R., Volenec, J. J., Rainey, K. M., & Brito, L. F. (2020). Integrating high-throughput phenotyping and statistical genomic methods to genetically improve longitudinal traits in crops: logistic growth curve modeling of genotype-specific growth patterns. *Frontiers in Plant Science, 11*, 681. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00681

Northolt, M., Van Der Burgt, G.-J., Buisman, T., & Bogaerde, A. Vanden. (2004). *Parameters for Carrot Quality and the development of the Inner Quality concept*. Louis Bolk Instituut. https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/1411.pdf

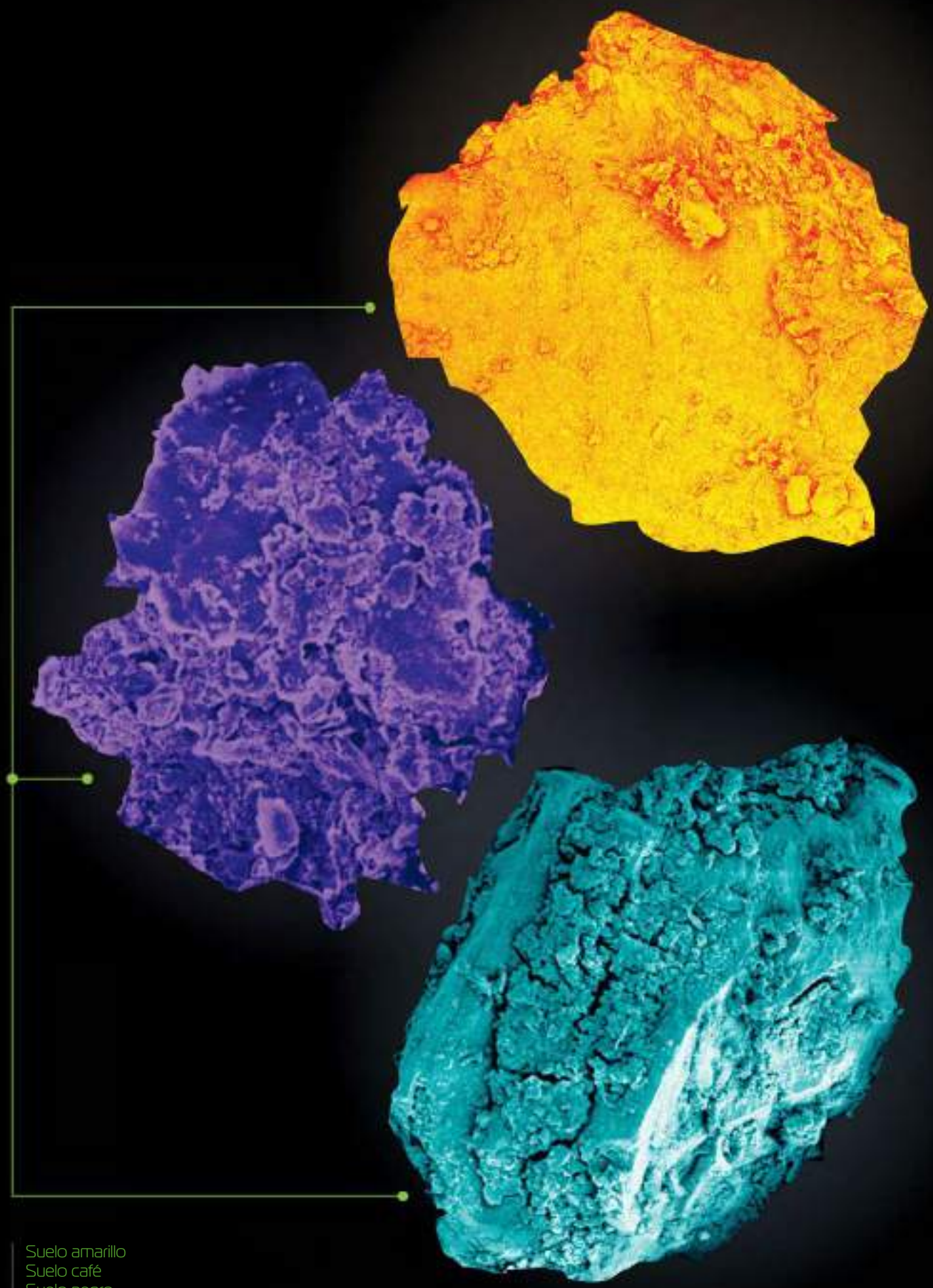
Parra-Coronado, A., F., Gerhard, B., & Chaves-Cordoba. (2015). Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta Biológica Colombiana*, *20*(1), 163-173. https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390

Purdue University. (2012, August 5). *Daucus carota L. Center for New crops and Plants*. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/solanum_tuberosum

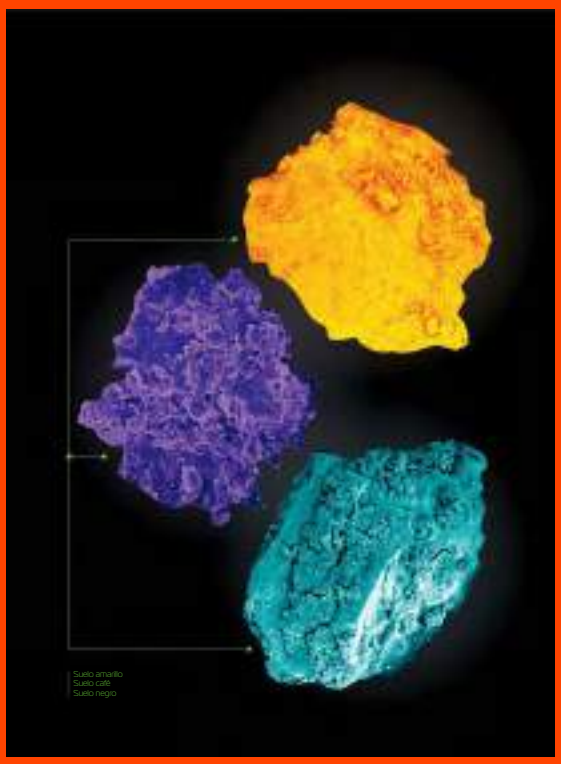
Richmond, F., Méndez, C. H., & Umaña, G. (2011). Cambio en las características de calidad de 12 híbridos comerciales de zanahoria durante el almacenamiento. *Agronomía Costarricense*, *35*(1), 163-174. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242011000100009

Rosas, V. (2011). *Evaluación del potencial productivo de tres cultivares de zanahoria (Daucus carota L.) en Valdivia*. Universidad Austral de Chile.

Sarli, A. E. (1980). *Tratado de horticultura* (2.ª *ed.). Hemisferio Sur.*



Suelo amarillo
Suelo café
Suelo negro



Título

Custos vitae, agua y semilla

Técnica

Microscopía de barrido con agrupación de imágenes del detector de electrones secundarios y del detector de electrones retrodispersados. Colorización digital.

Autoría

Nydia Yadira Arias Morales
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez
Colorización: Jaime Wilches

Descripción

Estructura física de tres tipos de suelo, caracterizados visualmente como suelo amarillo, suelo café y suelo negro.

Capítulo VIII

Riego y drenaje para el cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) en el departamento de Antioquia

Carolina Zuluaga Mejía
Cristian Domínguez Pulgarín
Jorge Jaramillo Noreña
Carolina Ortiz Muñoz

Introducción

El cultivo de la zanahoria (*Daucus carota* L.) es un cultivo representativo en la agricultura colombiana debido a su valor cultural, nutricional y económico. Su rendimiento y calidad están estrechamente ligados a prácticas agrícolas eficientes, destacando el manejo adecuado del suelo, el uso de maquinaria agrícola especializada y el manejo eficiente del agua en condiciones de exceso o escasez. La preparación del terreno con implementos agrícolas como arados de disco, rotocultores y rastras de discos permite obtener suelos sueltos y bien drenados, condiciones esenciales para el desarrollo óptimo de las raíces de la zanahoria. Según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (Senasa, 2020), los suelos arcillosos y compactos pueden provocar deformaciones en las raíces, afectando su calidad comercial. El uso de maquinaria adecuada facilita la descompactación del suelo, mejora la aireación y optimiza la estructura del terreno, factores que contribuyen a una mayor productividad y calidad del cultivo. Además, la incorporación de diferentes técnicas de maquinaria agrícola en el sistema productivo, como sistemas de precisión y automatización, ha demostrado que pueden incrementar la eficiencia en las labores de preparación del suelo, siembra y manejo de cultivos, potenciando la sostenibilidad y rentabilidad de la producción de zanahoria.

Propiedades físicas del suelo y movimiento de agua en el suelo

Para conocer las necesidades hídricas del cultivo de zanahoria, es necesario entender cómo ocurre el movimiento del agua entre el suelo, la planta y la atmósfera. A continuación, se explican algunas propiedades del suelo que permiten conocer el movimiento del agua.

Densidad aparente

Es la relación entre la masa y el volumen del suelo, teniendo en cuenta su organización, es decir, el volumen de los poros (Jaramillo, 2011). La forma más común para determinar la densidad aparente es el método del cilindro biselado diseñado por Coile en 1936 (figura 8.1), que consiste en introducir un cilindro verticalmente en el suelo, de manera que se disturbe lo menos posible la muestra (figura 8.1a), y luego se retira el cilindro lleno con muestra de suelo (figura 8.1b). En laboratorio se determina el peso seco del suelo contenido en el cilindro y su volumen, y la densidad aparente se calcula mediante la ecuación 8.1.

$$Dap = \frac{Ps}{Vt}$$

Ecuación 8.1

Donde:

Dap: densidad aparente (g/cm^3)
Ps: peso del suelo seco (g)
Vt: volumen total del suelo ocupado en el cilindro (cm^3)*

*El volumen total tiene en cuenta el volumen de aire, agua y sólidos.

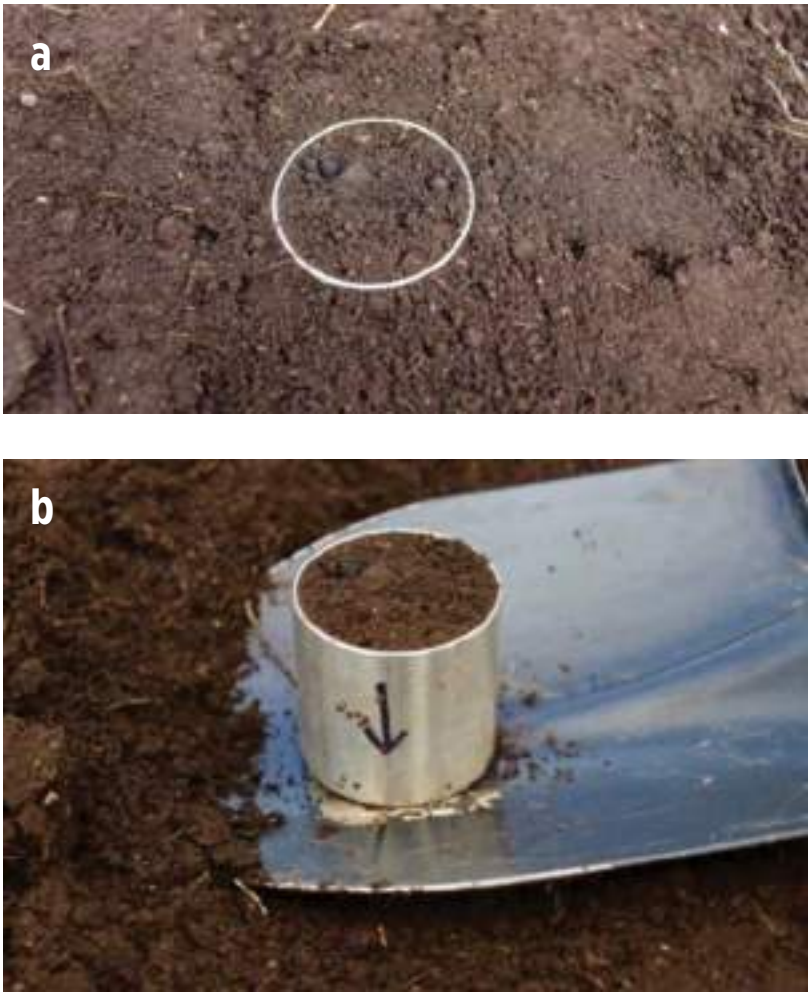


Figura 8.1. Técnica para la toma de muestra de densidad aparente del suelo. a. Inserción del cilindro en el suelo; b. Muestra de densidad aparente.

Fotos: Carolina Zuluaga

El Soil Survey Laboratory (SSL, 1995) considera que una densidad aparente mayor o igual a 1,8 mg/m_3 genera problemas para el crecimiento de las raíces, y valores entre 1,6 y 1,8 mg/m_3 indican que la aireación y el movimiento del agua en el suelo son limitantes para el desarrollo de la planta.

Esta propiedad ayuda a identificar capas compactadas o con algún limitante físico en el suelo que pueda afectar el desarrollo del cultivo. Por ejemplo, valores mayores de densidad aparente indican compactación, mientras que valores menores indican alta presencia de materia orgánica. El SSL (1995) señala que, a mayor valor de densidad aparente, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plántulas.

Porosidad

Corresponde al espacio ocupado por el agua y el aire en el suelo, y depende del tamaño y del arreglo de las partículas que lo conforman (Jaramillo, 2011). Se clasifica en microporosidad y macroporosidad. La microporosidad está conformada por los poros más pequeños del suelo y su función principal es retener el agua. Por su parte, la macroporosidad corresponde al volumen de poros grandes, cuya función es facilitar la aireación y el drenaje del suelo.

Textura del suelo

Es la cantidad de partículas finas del suelo con tamaño menor a 2 mm, que se agrupan en arenas, limos y arcillas. El tamaño de las partículas que predominan en el suelo determina su textura; si las partículas que predominan son de tamaño grande, es un suelo de textura gruesa, pero si son de tamaño pequeño, es un suelo de textura fina (Jaramillo, 2011). Esto se determina en el laboratorio con el método del hidrómetro o de Bouyucos, que consiste en calcular los porcentajes de arena, arcilla y limo en el suelo.

Para estimar la textura se envían a laboratorio muestras disturbadas tomadas con barreno o palín (figura 8.2), cuyas cantidades dependen de la variabilidad y extensión del lote, aunque se recomienda que una muestra se componga de un mínimo de tres muestras o mediciones de cada una de las combinaciones de tipo de suelo y manejo en el lote.



Figura 8.2. Toma de muestra de suelo con barreno holandés.

Foto: Carolina Zuluaga

La textura o porcentaje de arena, limo y arcilla está relacionada con la velocidad de entrada del agua al suelo. Generalmente, los suelos arenosos o gruesos no compactados presentan una velocidad de entrada más rápida que los suelos arcillosos o finos (USDA, 1999). En trabajos de reconocimiento de suelos o cuando no se cuenta con el tiempo necesario para enviar muestras a laboratorio, es útil el método de la evaluación de la textura al tacto, para lo cual se toman aproximadamente 25 g de suelo seco sobre la palma de la mano y se observa el tamaño de sus agregados, se frota una pequeña cantidad entre el índice y el pulgar y se detalla cómo se siente al tacto (suave, áspera, sedosa). Luego, se frota cerca al oído y se determina si genera ruido (USDA, 1999). Posteriormente, se humedece la muestra lentamente, se amasa y se trata de formar una bola o cinta observando si se desmorona, se agrieta o es estable como plastilina (Jaramillo, 2011). Se aplasta la muestra entre el pulgar y el índice y se observa su pegajosidad entre los dedos. Finalmente, se hacen las anotaciones de todas las observaciones anteriores y, de acuerdo con estas características, se puede determinar la textura del suelo.

Características de la arena

» Cuando está presente en el suelo en grandes cantidades, las partículas individuales se pueden observar y separar fácilmente.

» Cuando se frota el suelo entre los dedos, se siente áspero y se escucha un ruido producido por la fricción de los granos de arena.

» No se deja moldear fácilmente y no presenta pegajosidad.

Características de la arcilla

» Cuando se le agrega agua en exceso, se siente jabonosa y resbaladiza.

» Si se amasa, forma cintas, rollos o bolas firmes y sin grietas.

Características del limo

» Tiene apariencia suave y sedosa en estado húmedo y apariencia polvosa en estado seco.

» Forma grietas en el suelo cuando está seco.

Contenido de humedad del suelo

Curva de retención de humedad

Representa la relación entre el potencial total del agua del suelo y el contenido de humedad del suelo dentro de un amplio rango de tensiones. Esta curva se construye con datos tomados en laboratorio, donde se utilizan platos y ollas de presión para someter las muestras a diferentes presiones (0,1-0,3-1-5-10 y 15 atm).

Con este análisis se conocen las propiedades hidrofísicas del suelo como la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y otros puntos de retención intermedios, utilizados para hacer un manejo eficiente del agua al aplicar una lámina de riego más precisa. La CC es el contenido de humedad que retiene el suelo una vez ha drenado, luego de un riego abundante o inun-

dación, y es considerado el contenido de humedad óptimo en el que la planta puede tomar el agua sin mayor esfuerzo. Por el contrario, la saturación es el contenido de humedad en el que tanto los macroporos como los microporos del suelo están completamente llenos de agua, y en este punto la planta no cuenta con la energía necesaria para extraer el agua del suelo, por lo que es una condición no ideal para el desarrollo de un cultivo.

El PMP es ese contenido de humedad en el que el suelo está tan seco que la planta no tiene el agua necesaria para sus funciones y causa un daño irreversible, por lo que es una condición que debe evitarse. La toma de muestra para este análisis es muy similar a la de densidad aparente, pero se debe tener especial cuidado con marcar una flecha en el sentido que entra el agua al suelo, como se puede observar en la figura 8.3.



Figura 8.3. Toma de muestra para retención de humedad.

Foto: Cristian Domínguez

A continuación, se presentan algunos resultados obtenidos en laboratorio para suelos ubicados en el Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia (tabla 8.1).

Tabla 8.1. Resultados curva de retención de humedad suelo 1

Punto	Valor %
0,1 bares	65,82
0,3 bares	65,56
1 bares	62,03
3 bares	60,37
15 bares	58,9

Fuente: Elaboración propia

El suelo 1 es de textura franco arcillosa y, según los resultados obtenidos (figura 8.4), se observa que el contenido de humedad ideal está entre el 63,56 y el 65,82 %, que es considerado un contenido de humedad alto. Los resultados para el suelo 2 se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Resultados curva de retención de humedad suelo 2

Punto	Valor %
0,1 bares	38,57
0,3 bares	34,52
1 bares	32,42
3 bares	31,61
15 bares	30,37

Fuente: Elaboración propia

El suelo 2 presenta una textura franco arenosa y, según la curva, se encuentra a capacidad de campo en un contenido de humedad entre el 34,52 y el 38,57 % (figura 8.4). En este sentido, el suelo 1 presenta mayor capacidad de retención de humedad, por lo que es un suelo que necesita menos frecuencia de riego.

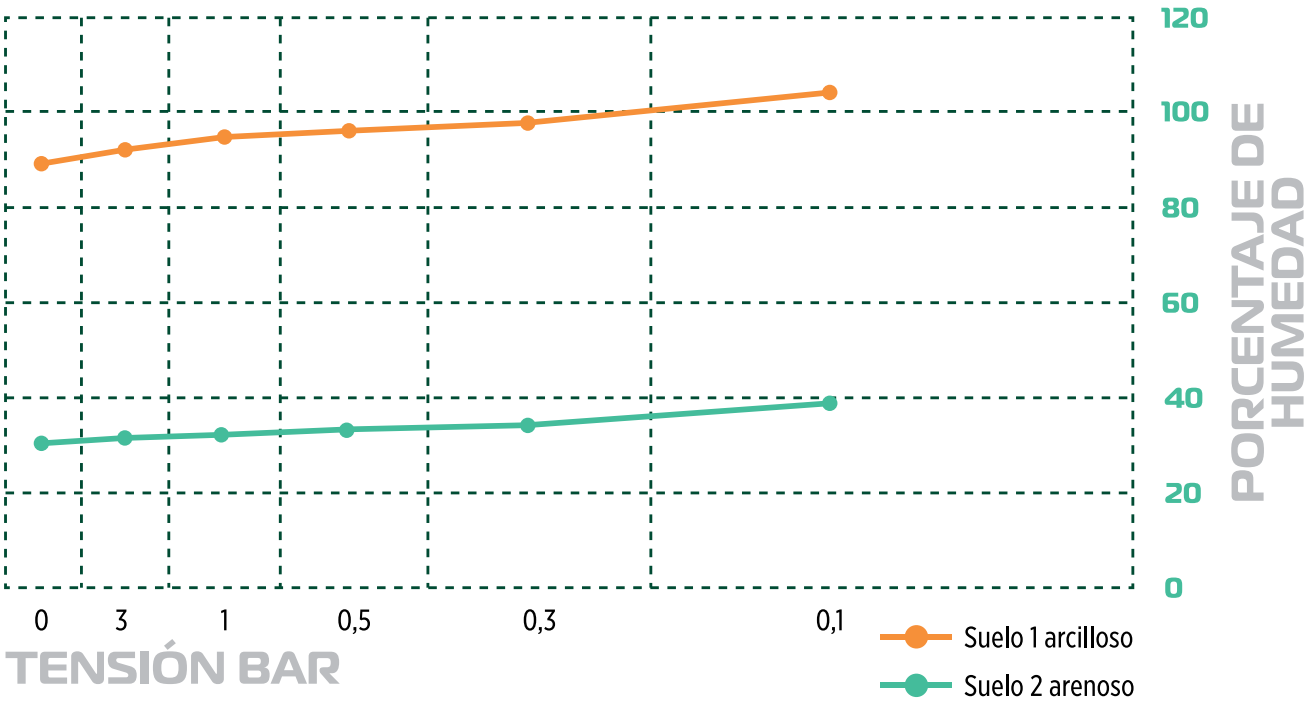


Figura 8.4. Curva de retención de humedad para dos tipos de suelo

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 8.4, el suelo arcilloso presenta una mayor capacidad de retención de agua en todo el rango de tensiones analizado, lo que indica que puede almacenar más agua útil para las plantas. En contraste, el suelo arenoso tiene un menor contenido de humedad a cada nivel de tensión, reflejando una baja capacidad de almacenamiento hídrico y una rápida pérdida de agua disponible. Esto implica que el suelo arcilloso permite intervalos de riego más largos, mientras que el arenoso requiere riegos más frecuentes para mantener la disponibilidad de agua para el cultivo.

Drenaje en el suelo

Las condiciones del clima en el Oriente antioqueño se caracterizan por presentar una temperatura entre 16 y 20 °C, régimen de lluvia bimodal con dos periodos de lluvia entre abril a mayo y entre octubre a noviembre, aunque esto puede variar significativamente, y las precipitaciones pueden oscilar entre 1.000 y 4.000 mm al año (Cornare, 2011).

Como ejemplo práctico, se utilizaron datos climáticos provenientes de las cartas meteorológicas de la estación del Aeropuerto José María Córdova del Ideam (figura 8.5), con el fin de ilustrar el comportamiento promedio de la distribución de las lluvias a lo largo del año. A continuación, en la figura 8.5 se presenta dicha distribución mensual.

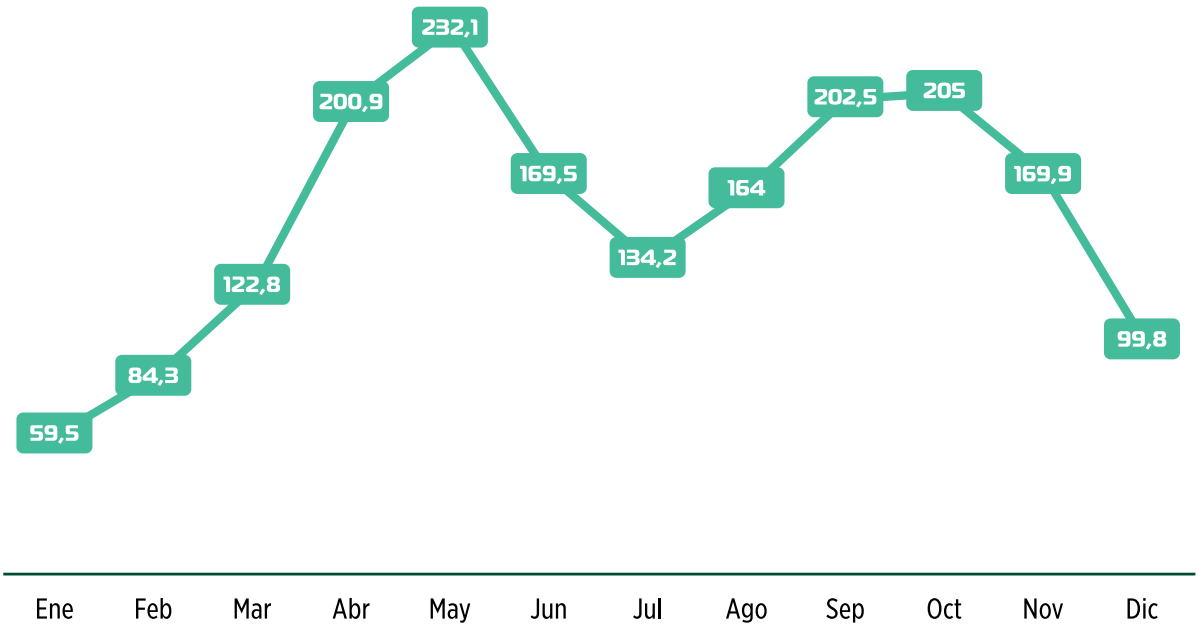


Figura 8.5. Precipitación promedio mensual.

Fuente: Ideam (2025)

La distribución mensual de la precipitación en el Oriente antioqueño evidencia una alta variabilidad a lo largo del año, con dos periodos marcadamente lluviosos entre abril y mayo, y nuevamente entre septiembre y octubre. En contraste, los meses de enero y febrero presentan las menores precipitaciones, configurando un periodo de déficit hídrico que puede afectar el establecimiento y desarrollo inicial de los cultivos si no se cuenta con riego complementario. Entre junio y agosto se observa una reducción intermedia de las lluvias, aunque sin llegar a condiciones de sequía severa. Este patrón confirma la necesidad de planificar el manejo del agua de acuerdo con la distribución bimodal de las lluvias, aprovechando los meses húmedos para la recarga del suelo y programando el riego en los periodos secos.

Un alto régimen de lluvias durante ciertos periodos del año combinado con una topografía plana o casi plana causa niveles freáticos elevados (Salazar, 2010). Para el caso del cultivo de zanahoria es importante evitar encharcamientos en la parte superficial del suelo por largos periodos de tiempo, ya que un alto nivel freático es un obstáculo para el desarrollo de raíces y puede causar daño en el sistema radicular por el ataque de enfermedades (figura 8.6).



Figura 8.6. Lote de zanahoria con encharcamientos en la parte superficial del suelo. a. Encharcamiento en lote de zanahoria; b. Cunetas para drenaje de agua.

Fotos: Cristian Domínguez

Una forma sencilla de monitorear el nivel freático es hacer un hoyo en el suelo con un barreno holandés a una profundidad de 1 metro y evaluar a qué distancia se encuentra el agua de la superficie del suelo (figura 8.7).

No existen reportes de recomendaciones para mantener el nivel freático hasta cierta altura en zanahoria, pero Salazar (2010) recomienda mantener el nivel freático un 20 % por debajo de la profundidad promedio de raíces para cualquier cultivo, que para este caso llega hasta una profundidad de 70 cm, lo que equivale a un nivel de 84 cm.



Figura 8.7. Observación del nivel freático del suelo con la metodología del barreno holandés. a. Barreno holandés para muestreo en suelo; b. Pozo de observación abierto.

Fotos: Cristian Domínguez

Suelos del Oriente antioqueño

El Altiplano Norte del Oriente antioqueño, llamado también Valles de San Nicolás, está conformado por nueve municipios: El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, San Vicente de Ferrer, Rionegro, La Ceja, Marinilla, Guarne y La Unión. Sobre esta zona se ubica gran parte de la producción de zanahoria en Antioquia, son suelos derivados de rocas ígneas con mantos de cenizas volcánicas (Fernández & Santa, 1964). Estos materiales parentales dan como resultado la meteorización de los suelos profundos, con texturas medias a livianas y alta capacidad de infiltración; el color varía de acuerdo con la precipitación, pero en general son suelos desde rojizos a pardo amarillentos.

Según la descripción hecha por Wright (1963) para los suelos de Suramérica, los derivados de cenizas volcánicas presentan horizontes altamente diferenciables: el primer horizonte generalmente es color negro o pardo oscuro, con textura franco o franco arenosa y alto contenido de materia orgánica. El subsuelo (horizonte B) es de color pardo amarillento a pardo oscuro, con textura franco o franco arcillosa. Los horizontes más profundos presentan cambios bruscos de textura y compactación. En general, son suelos bastante porosos, con una alta capacidad de retención de humedad. En cuanto a sus propiedades físicas, tienen pH altos con una cantidad de bases baja, alta capacidad de intercambio catiónico, alta fijación de fósforo, altos contenidos de aluminio libre y porcentajes elevados de nitrógeno (Wright, 1963).

Estas características físicas y químicas de los suelos condicionan la producción agrícola como rendimientos bajos en producciones con ausencia de fertilizantes, síntomas de toxicidad en los cultivos sensibles al aluminio, que son reducidos por la aplicación de fertilizantes fosfóricos, poca respuesta al encalamiento y buena respuesta a la aplicación de nitrógeno (Fernández & Santa, 1964).

Necesidades hídricas del cultivo de zanahoria

El cultivo pierde agua mediante un proceso que se conoce como evapotranspiración: por un lado, la evaporación que ocurre en la superficie del suelo y, por otro, la transpiración que ocurre a través de los estomas, donde la planta pierde agua para regular la temperatura y, a la vez, permitir la absorción del dióxido de carbono (CO_2), necesario para la fotosíntesis. El coeficiente de cultivo (Kc) indica cuánta agua pierde una planta por evapotranspiración, es decir, por la suma del agua que se evapora del suelo y la que la planta transpira. Cuando se riega lo que se busca es reponer esa cantidad de agua que pierde la planta en dicho proceso, lo cual depende en gran medida de factores como las condiciones climáticas del lugar, el tipo de suelo, el estado de desarrollo del cultivo y la pendiente del terreno.

Forero-Ulloa et al. (2015) identificaron tres estados de desarrollo para la zanahoria: la fase I, que es crecimiento y dura de los 0 a los 31 días, para la cual calcularon un Kc de 0,14; la fase II, que es elongación y dura de los 31 a los 89 días, para la cual calcularon un Kc de 0,29, y, por último, la fase III, que es madurez, con una duración de los 89 a los 125 días y un Kc de 0,55. Tomando los coeficientes del cultivo calculados por estos autores y las condiciones climáticas y del suelo del C. I. La Selva, se calcularon unas láminas de riego por cada etapa del cultivo, así: fase I, 52 milímetros por mes; fase II, 74 milímetros por mes, y fase III, 106 milímetros por mes, siendo este último el periodo de mayor necesidad de riego para el cultivo de zanahoria.

Criterios de riego en el Oriente antioqueño

Contar con información climática es fundamental para planificar el riego, gestionar eficientemente el recurso hídrico y tomar decisiones agronómicas adecuadas para el cultivo de zanahoria. El balance hídrico representa la relación entre la cantidad de agua que ingresa al sistema, a través de la precipitación, y la que se pierde por evaporación y transpiración de la planta. Este cálculo permite identificar los periodos del año en los que se presentan déficits o excesos de agua en el suelo.

En el Oriente antioqueño predominan condiciones climáticas húmedas, con una distribución irregular de las lluvias a lo largo del año. A partir de la información registrada por la estación meteorológica del Aeropuerto José María Córdova (Ideam, 2005), se estimó el balance hídrico mensual para la zona de estudio, presentado en la tabla 8.3. No obstante, debido a la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones, lo ideal sería realizar un seguimiento diario de la distribución de lluvias para optimizar la programación del riego y asegurar un uso eficiente del agua.

Tabla 8.3. Balance hídrico para la zona de estudio

Mes	Eto mm/mes	Precipitación mm	Balance hídrico
Ene.	94,4	59,5	-34,9
Feb.	93,9	84,3	-9,6
Mar.	95,2	122,8	27,6
Abr.	94,5	200,9	106,4
May.	94,1	232,1	138,0
Jun.	93,2	169,5	76,3
Jul.	94,4	134,2	39,8
Ago.	92,2	164	71,8
Sep.	91,8	202,5	110,7
Oct.	95,2	205	109,8
Nov.	94,4	169,9	75,5
Dic.	92,8	99,8	7,0

Fuente: Ideam (2025)

En el Oriente antioqueño, el balance hídrico mensual estimado con base en la evapotranspiración potencial, que es la máxima cantidad de agua que podría perderse por evapotranspiración, y la precipitación muestra déficit en los meses de enero y febrero, lo cual justifica la aplicación de riego complementario en este periodo. Durante el resto del año, la precipitación supera la evapotranspiración potencial, garantizando humedad suficiente para el desarrollo de los cultivos y reduciendo la necesidad de riego.

Esta información debe complementarse con las necesidades hídricas del cultivo de zanahoria presentadas anteriormente, a partir de las cuales se determinó la demanda de agua por etapa de desarrollo. Con base en estos datos, es posible estimar el agua disponible en el suelo y el agua requerida por el cultivo, lo que permite definir la frecuencia y cantidad de riego diario de manera más precisa, como se presenta en la tabla 8.4.

Tabla 8.4. Necesidad de riego del cultivo de zanahoria para la zona de estudio

Mes	Precipitación mm	Necesidad del cultivo de zanahoria				Balance hídrico		
		Fase I mm		Fase II mm	Fase III mm	Fase I mm	Fase II mm	Fase III mm
Ene.	59,5	52	74	106	7,5	-14,5	-46,5	
Feb.	84,3	52	74	106	32,3	10,3	-21,7	
Mar.	122,8	52	74	106	70,8	48,8	16,8	
Abr.	200,9	52	74	106	148,9	126,9	94,9	
May.	232,1	52	74	106	180,1	158,1	126,1	
Jun.	169,5	52	74	106	117,5	95,5	63,5	
Jul.	134,2	52	74	106	82,2	60,2	28,2	
Ago.	164	52	74	106	112,0	90,0	58,0	
Sep.	202,5	52	74	106	150,5	128,5	96,5	
Oct.	205	52	74	106	153,0	131,0	99,0	
Nov.	169,9	52	74	106	117,9	95,9	63,9	
Dic.	99,8	52	74	106	47,8	25,8	-6,2	

Fuente: Elaboración propia

Es importante aclarar que no existe una fórmula universal para establecer el criterio de riego, ya que cada zona y cultivo presentan condiciones particulares. Por ello, es fundamental que el productor desarrolle capacidades para interpretar la humedad del suelo, considerando su textura, capacidad de retención de agua y condiciones climáticas locales, factores que influyen directamente en la toma de decisiones adecuadas sobre el manejo hídrico.

Asimismo, el manejo eficiente del agua no se limita únicamente al uso racional del riego, sino también a la gestión del exceso de agua durante las épocas lluviosas, dado que, como se mencionó anteriormente, la saturación del suelo también puede reducir la productividad y calidad de la zanahoria.



Foto: Carolina Ortiz

Sistema de riego para zanahoria

Para el cultivo de zanahoria no es común utilizar sistema de riego en el Oriente antioqueño, ya que se goza de una buena distribución de lluvias durante todo el año. Sin embargo, los sistemas de riego son recomendados para mantener y aumentar la productividad en todas las épocas del año. Lo más indicado en términos técnicos para zanahoria es el sistema de riego por aspersión o microaspersión, el cual consta de un mecanismo de impulsión que puede ser una bomba, un tanque o reservorio para almacenamiento de agua, una tubería o manguera de conducción desde el tanque hasta el cultivo, y unas mangueras o tuberías de distribución con los aspersores. La tabla 8.5 presenta una cotización de un diseño estándar para zanahoria con un área de 1.400 metros cuadrados, que consta de una línea principal de 30 metros y cuatro derivaciones de 49 metros de largo y una bomba de 1 HP. Este sistema se diseña con manguera y acoples rápidos, de manera que se pueda montar y desmontar fácilmente según la necesidad del productor. Se utiliza un aspersor con radio de cobertura de 14 metros, ubicado cada 7 metros para obtener una buena área de mojado.

Tabla 8.5. Cotización de materiales para la instalación de un sistema de riego para zanahoria (precios de 2024)

Accesorio	Dimensión	Cantidad	unidad	Precio unitario	Precio total
Manguera de polietileno calibre 40	1 1/2 pulgada	200	metros	$5.700	$1.140.000
Manguera de polietileno calibre 40	1 pulgada	200	metros	$2.841	$568.200
Collarín de derivación	de 1 1/2 pulgada a 1 pulgada	4	unidad	$10.900	$43.600
Macho de PVC	1 pulgada	6	unidad	$1.800	$10.800
Válvula de bola en PVC lisa	1 pulgada	4	unidad	$10.000	$40.000
Adaptador hembra de PVC	1 pulgada	4	unidad	$2.000	$8.000
Tubo de PVC de presión RDE 21	1 pulgada	1	unidad	$30.000	$30.000
Tubo de PVC de presión RDE 13.5	1/2 pulgada	5	unidad	$13.700	$68.500
Tapón roscado de PVC	1 1/2 pulgada	2	unidad	$12.000	$24.000
Unión rápida	1 1/2 pulgada	2	unidad	$40.000	$80.000
Collarín de derivación	1 pulgada a 1/2 pulgada	28	unidad	$13.000	$364.000
Adaptador macho de PVC	1/2 pulgada	28	unidad	$300	$8.400
Macho rápido	1 1/2 pulgada	4	unidad	$35.600	$142.400
Macho rápido	1 pulgada	12	unidad	$11.500	$138.000
Tapón roscado	1 pulgada	4	unidad	$2.300	$9.200
Adaptador hembra de PVC	1/2 pulgada	28	unidad	$600	$16.800
Cinta teflón		10	unidad	$750	$7.500
Soladura PVC		1	Unidad 1/4 galón	$83.000	$83.000
Limpiador de PVC		1	Unidad 1/4 galón	$40.000	$40.000
Aspersor con radio de cobertura de 14 m		28	unidad	$18.000	$504.000
1 bomba de 1 HP		1	unidad	$1.500.000	$1.500.000
Tanque de 2.000 litros		1	unidad	$1.000.000	$1.000.000
Filtro de anillos	1 1/2 pulgada	1	unidad	$200.000	$200.000
Total			$6.026.400		

Fuente: Elaboración propia

Los costos presentados en la tabla 8.5 corresponden a un área de 1.400 metros cuadrados y, al escalarlo a una hectárea, se obtiene un costo total para el sistema de riego de $25.000.000 por ha. A continuación, en las figuras 8.8 a 8.15, se presentan los implementos e instalación de los acoples rápidos mencionados.

Para el acople entre tubo y manguera (figura 8.8), se requiere un macho rápido (1) y un adaptador hembra de PVC (2).



Figura 8.8. Acople entre manguera y tubo. 1. Macho rápido y 2. Adaptador hembra de PVC.

Foto: Carolina Zuluaga

Para las derivaciones de manguera de una pulgada y media a manguera de una pulgada, se usan collarines de derivación (figura 8.9), y se puede ver que estos collarines tienen rosca (3a) que acopla con machos de PVC. Estos se instalan en la manguera (figura 8.10), la salida se acopla con un adaptador macho (5) y, posteriormente, se inserta un pequeño tramo de tubo (6) que se pega a la válvula (7), como se puede observar en la figura 8.10.



Figura 8.9. Collarín de derivación.

Foto: Carolina Zuluaga

Luego, se inserta otro tramo de tubería (8) y un adaptador hembra de PVC (9) que se acopla a un macho rápido (10) para nuevamente pasar a manguera (11) (figura 8.10).



Figura 8.10. Derivación a línea de aspersores.

Foto: Cristian Domínguez

En la manguera de una pulgada (11) se instala un collarín de derivación de una pulgada a media pulgada (12) y se acopla con el adaptador un macho de PVC de media pulgada (13); posteriormente, se añade un tramo de tubería de media pulgada (14) con la longitud recomendada por el fabricante del aspersor (entre 50-100 cm), como se puede ver en la figura 8.11.



Figura 8.11. Instalación del aspersor.

Foto: Cristian Domínguez

Otra opción que reemplaza al collarín de derivación se puede ver en la figura 8.12. Consiste en usar un acople rápido en Tee (15), donde el acople al aspersor es el mismo que con el collarín.



Figura 8.12. Otra opción para el acople del aspersor.

Foto: Cristian Domínguez

Para conectar el aspersor, se acopla un adaptador hembra (17) en el tubo de media pulgada (16) y se enrosca con el aspersor (18). La figura 8.13 muestra un microaspersor que se puede usar en el cultivo de zanahoria y otras hortalizas, pero también se presenta otra opción de mayor caudal, como el aspersor de la figura 8.14.



Figura 8.13. Microaspersor para zanahoria.

Foto: Carolina Zuluaga

Nota. Resolución mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.



Figura 8.14. Aspersor de mayor caudal para zanahoria.

Foto: Cristian Domínguez

Es importante tener en cuenta que, con la presión, el aspersor se puede mover del sitio, por lo que es importante añadirle una estaca que lo sujete al suelo.



Figura 8.15. Final de manguera para lavado.

Foto: Cristian Domínguez

Para los tapones de lavado al final de las mangueras (19), se utiliza un adaptador macho rápido (20) y se le adapta un tapón roscado al final (21), como se puede observar en la figura 8.15. Estos tapones de lavado son indispensables para el buen mantenimiento del sistema de riego.

El manejo eficiente del riego y el drenaje no es solo una herramienta técnica, sino un camino hacia una agricultura sostenible. A lo largo de este capítulo, hemos explorado cómo estas prácticas permiten maximizar la productividad agrícola, optimizar el uso del recurso hídrico y mitigar los impactos de fenómenos como la sequía o el exceso de agua.

En contextos como las zonas de alta montaña, donde los recursos son limitados y las condiciones climáticas representan un desafío constante, implementar tecnologías adaptadas y estrategias de manejo del agua es clave para garantizar no solo la producción de alimentos, sino también la conservación de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades rurales.

Hacia el futuro, la integración de tecnologías como los sensores de humedad del suelo y los sistemas de información geográfica abre nuevas posibilidades para transformar el riego y el drenaje en herramientas aún más precisas y sostenibles. Sin embargo, el éxito de estas estrategias dependerá de un esfuerzo conjunto: investigación aplicada, políticas públicas inclusivas y el compromiso activo de los agricultores.



Para no olvidar...

- La densidad aparente (Da) es la propiedad que ayuda a identificar capas compactadas o con algún limitante físico en el suelo que pueda afectar el desarrollo del cultivo; a mayores valores, mayor compactación.

- Una densidad aparente mayor o igual a 1,8 mg/m3 genera problemas para el crecimiento de las raíces, y valores entre 1,6 y 1,8 mg/m3 indican que la aireación y el movimiento del agua en el suelo son limitantes para el desarrollo de la planta.

- El suelo arcilloso presenta una mayor capacidad de retención de agua, es decir que puede almacenar más agua útil para las plantas permitiendo intervalos de riego más largos.

- El suelo arenoso tiene una menor capacidad de retención de agua, reflejando una baja capacidad de almacenamiento hídrico y una rápida pérdida de agua disponible; esto implica que requiere riegos más frecuentes para mantener la disponibilidad de agua para el cultivo.

- El manejo eficiente del agua es uno de los pilares fundamentales para garantizar el éxito agronómico del cultivo de zanahoria, por su impacto directo en el rendimiento, la calidad de la raíz y su relación con la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» A lo largo del capítulo se ha demostrado que variables como la densidad aparente, la textura del suelo, la porosidad y la retención de humedad son determinantes para diseñar esquemas de riego acordes con las condiciones del terreno y las necesidades fisiológicas de la planta.

» La aplicación de conceptos técnicos como la curva de retención de humedad, la determinación del nivel freático y la estimación de las láminas de riego por etapas fenológicas permite al agricultor tomar decisiones más precisas, evitando tanto el estrés hídrico como los excesos de agua que pueden generar enfermedades y pérdida de calidad comercial. Igualmente, se resalta el valor del drenaje superficial y profundo, especialmente en zonas como el Oriente antioqueño, donde las altas precipitaciones y suelos con horizontes compactos pueden dificultar el desarrollo radicular y aumentar el riesgo fitosanitario.

» El diseño y la descripción detallada de un sistema de riego por aspersión para pequeñas áreas constituye un aporte práctico valioso, que ilustra cómo es posible adaptar soluciones tecnológicas accesibles a las realidades del productor local. Si bien en muchas zonas de montaña no se utiliza riego debido a la distribución de lluvias, contar con estos sistemas puede ser determinante para estabilizar la producción durante épocas secas, reducir riesgos climáticos y aumentar la competitividad.

» Desde la perspectiva del autor, el futuro del riego en cultivos como la zanahoria pasa por la integración progresiva de tecnologías de bajo costo, como sensores de humedad, monitoreo climático y control automatizado. Sin embargo, para que esto sea viable, se requiere avanzar en la capacitación de los productores, la disponibilidad de servicios técnicos de calidad y la formulación de políticas públicas que fomenten la modernización del riego sin excluir a pequeños agricultores.

» En síntesis, el agua no debe ser vista solo como un recurso, sino como un factor de diseño agronómico estratégico. Un buen manejo del riego y el drenaje no solo mejora la productividad y la calidad del cultivo de zanahoria, sino que representa un camino hacia una agricultura más eficiente, resiliente y sostenible.

Referencias

Cornare. (2011). *Zonificación de riesgo por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales. Atención de áreas afectadas por eventos desastrosos en el municipio de Rionegro*. https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/RIONEGRO/Informe-Rionegro.pdf

Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA]. (1999). *Guía para la evaluación de salud y calidad del suelo.* https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/gu%c3%ada%20para%20la%20evaluaci%c3%b3n%20de%20la%20calidad%20y%20salud%20del%20suelo.pdf

Fernández, F., & Santa, N. (1964). *Estudio general de suelos del Oriente antioqueño.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/1157e2.pdf

Forero-Ulloa, F. E., Cely-Reyes, G. E., & Neira-Rodríguez, D. E. (2015). Requerimientos hídricos de la zanahoria (*D. carota* L.) durante tres etapas de su desarrollo. *Ciencia y Agricultura*, *12*(2), 43-50. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5399612

Jaramillo, J. D. (2011). *El suelo: origen, propiedades, espacialidad.* Universidad Nacional de Colombia.

Salazar, C. (2010). *El drenaje agrícola en el cultivo del banano: aplicado a las zonas bananeras de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [Senasa]. (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de zanahoria.* https://www.gob.pe/es/i/939540

Soil Survey Laboratory [SSL]. (1995). *Soil Survey Laboratory Information Manual* (Vol. 1).

Wright, S. (1963). *Los suelos humo-alófanos de Sur América* [manuscrito no publicado].







Título

Diáspora

Técnica

Fotografía de aproximación en fondo negro y agrupamiento de mínimo tres fotos, y microscopía en 4X con agrupamiento de 54 fotos. Colores propios del tejido.

Autora

Alejandro Moscoso Rojas
Jaime Wilches
Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao Rojas

Descripción

Colonias y estructuras de los hongos encontrados en la zanahoria. La fotografía muestra un fragmento de zanahoria sembrado en medio agar, con un patrón de anillos concéntricos color marrón oliva grisáceo que rodea el fragmento de raíz, muy característico de microorganismos fúngicos.

Capítulo IX

Diagnóstico y manejo integrado de enfermedades de origen biótico en el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* L.) del Oriente de Antioquia

Rocío Alexandra Ortiz-Paz
Karen Lorena Ballestas-Álvarez
Albeiro de Jesús Macías Vivares
Mario Alonso Mesa-Gómez

Introducción

Una planta se considera enferma cuando sus funciones fisiológicas, como reproducción, desarrollo celular, absorción de agua, nutrientes, fotosíntesis, almacenamiento de alimento, sobrevivencia, entre otras, son anormales (Agrios, 2005). Las enfermedades de origen biótico se producen por la interacción de tres factores: planta hospedante susceptible, agente infeccioso y ambiente favorable (Castaño- Zapata, 1994). Para tener una noción sobre las interacciones de los tres factores, se recomienda leer los capítulos sobre requerimientos climáticos (capítulo VII), de suelo (capítulo VI), labores para el buen desarrollo (capítulo VI) y fenología del cultivo de zanahoria (capítulo VII), que se encuentran descritos previamente en este documento.

En este capítulo se dan a conocer los principales agentes patógenos de origen biótico, tales como nematodos, hongos y bacterias causantes de enfermedades en el cultivo de zanahoria, identificados en 20 fincas productoras de la subregión del Oriente de Antioquia, desde el año 2022. Se describen los principales síntomas que manifiestan y se integran recomendaciones de manejo de enfermedades para favorecer el desarrollo saludable del cultivo. Este análisis se enmarca en el campo de la fitopatología, ciencia que se originó a mediados del siglo XIX y que combina conocimientos de diferentes disciplinas básicas y aplicadas, con el fin de diagnosticar y controlar enfermedades en distintos cultivos, a través de diferentes estrategias y tácticas genéticas, culturales, biológicas y químicas (Jiménez, 2018).

Enfermedades ocasionadas por nematodos

Los principales géneros de nematodos que afectan el cultivo de zanahoria en el Oriente de Antioquia son *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, causantes de las agallas o nudos y de las lesiones en las raíces de la zanahoria, respectivamente (Ortiz-Paz et al., 2023).

Agallas o nudos radicales causados por *Meloidogyne* Göldi

Bajo el microscopio, los juveniles *Meloidogyne* (J2) poseen una cola cónica con una parte terminal hialina corta (figura 9.1a); los machos de *Meloidogyne* spp. son filiformes o alargados y de cola corta (figura 9.1b). Las hembras adultas son abultadas, sedentarias, con forma de pera, ovalada o redondeada, tienen un cuello saliente y carecen de patas u otros apéndices (figura 9.1c) (Decraemer & Hunt, 2006; Perry et al., 2009; Guzmán-Piedrahíta, 2016).

Síntomas

Las hembras inmaduras de *Meloidogyne* spp. penetran el tejido de la planta y desarrollan un sitio de alimentación fijo en la raíz, llamado sincitio, donde hacen que las células y los tejidos alrededor crezcan, y causan los síntomas primarios conocidos como agallas o nudos en las raíces (figura 9.2a) (Crow & Dunn, 2005; Ortiz-Paz et al., 2015). Las agallas se pueden observar en las raíces secundarias, que generalmente presentan la misma coloración que la zanahoria. Es común evidenciar distorsión de las raíces secundarias cuando la raíz comestible es afectada por estos nematodos (figura 9.2b) (Mosquera- Espinosa, 2016; Ortiz-Paz et al., 2023).

Como síntoma secundario, se evidencia un desarrollo pobre de la planta (figura 9.2c) (Ortiz-Paz et al., 2023). Además, se presenta amarilleamiento de los folíolos (figura 9.2d), tallos más cortos y menos gruesos de lo normal, y desarrollo pobre de las hojas. Asimismo, cuando el ataque es severo, la planta puede morir por la dificultad en la absorción de agua y nutrientes (Guzmán et al., 2012). Sin embargo, en la parte aérea de la planta es común que los síntomas secundarios mencionados tarden en aparecer, aunque la planta esté infectada; por este motivo, se recomienda que las decisiones de manejo se realicen luego de tomar muestras de las raíces, lo cual debe hacerse desde las etapas tempranas del desarrollo y de forma aleatoria en el lote (Ortiz-Paz et al., 2023). Los nematodos fitoparásitos, al tener estilete para alimentarse, pueden producir heridas en las raíces de las plantas, que facilitan la entrada de otros patógenos del suelo como hongos y bacterias (Guzmán et al., 2012; Ortiz-Paz et al., 2023).

Lesiones en las raíces asociadas a *Pratylenchus* Filipjev

Los nematodos del género *Pratylenchus* spp. son endoparásitos migratorios de raíces, que poseen cola conoide elongada (figura 9.1d), región cefálica baja, bien desarrollada y esclerotizada; con estoma-estilete fuerte y corto (Guzmán-Piedrahíta, 2016) (figura 9.1d).

En la parte anterior, los nematodos fitoparásitos tienen una estructura anatómica bucal afilada llamada estilete (figura 9.1e), que utilizan para penetrar las raíces y alimentarse (Agrios, 2005).

Síntomas

Los síntomas principales de zanahorias afectadas por nematodos del género *Pratylenchus* spp. son retraso en el crecimiento y formación excesiva de raíces laterales (Teklu et al., 2016). Asimismo, se reporta que causan lesiones internas en las raíces y deformaciones (Hay & Pethybridge, 2005).



Figura 9.1. Nematodos que afectan el cultivo de zanahoria en el Oriente antioqueño. a. Juvenil (J2) de *Meloidogyne* spp.; b. Macho de *Meloidogyne* spp. observado en microscopio (aumento 10x). c. Hembra de *Meloidogyne* spp. observada en estereoscopio (aumento 40x); d. Nematodo *Pratylenchus* spp. observado en microscopio (aumento 40x); e. Parte anterior de *Pratylenchus* spp. con la estructura bucal llamada "estilete".

Fotos: Mario Alonso Mesa-Gómez y Rocío Alexandra Ortiz-Paz





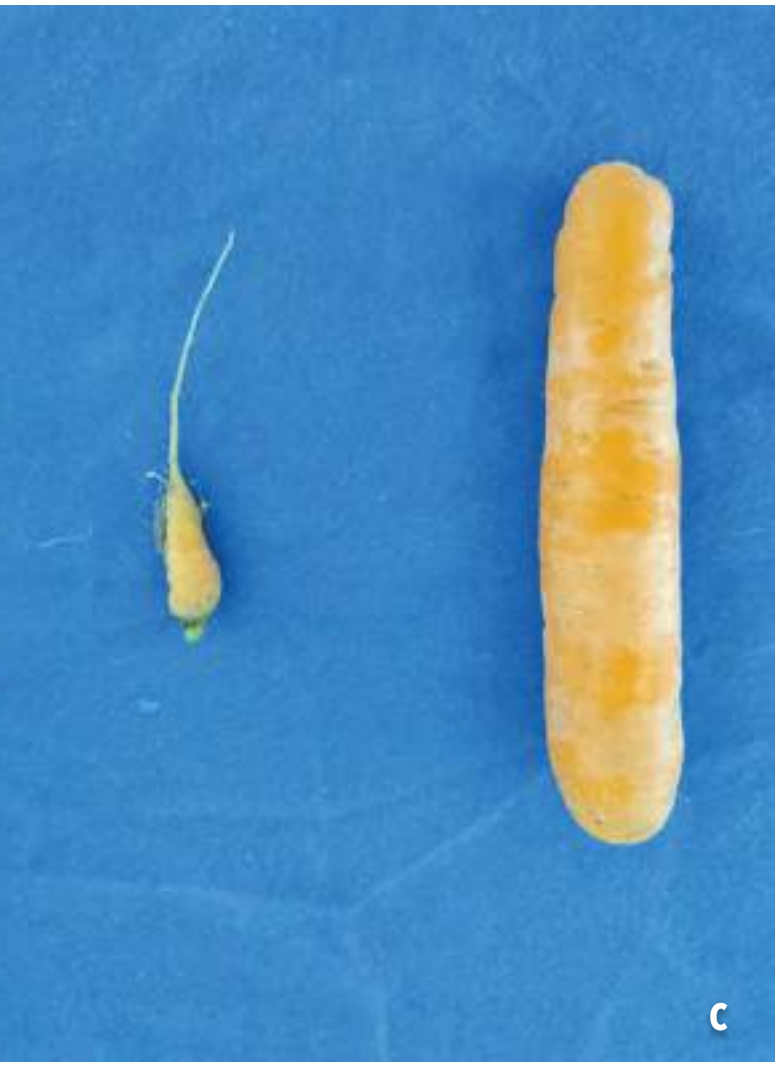




Figura 9.2. Daños ocasionados por *Meloidogyne* spp. en el cultivo de zanahoria de tres meses de edad. a. Agallas o nudos observados en el estereoscopio (aumento 40x); b. Distorsión de raíces secundarias; c. Desarrollo de una zanahoria saludable (izquierda), desarrollo pobre de una zanahoria afectada por nematodos (derecha) provenientes de una misma era de siembra y de la misma edad (cuatro meses); d. Amarillamiento de las hojas.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo de las agallas y daños en raíces causados por nematodos

» En lugares donde se presenta buena radiación solar, se sugiere voltear el suelo o hacer arado con rastra, para exponer a los nematodos y que estos se deshidraten. En localidades con menor radiación solar, se puede considerar realizar la inundación del lote antes de la siembra, con el fin de limitar la cantidad de oxígeno en el suelo y provocar la muerte de los nematodos (Suasnabar & Torres, 2022).

» Realizar muestreo del cultivo de forma semanal en forma aleatoria y en zigzag en diferentes partes del lote. Deben sacarse algunas plantas para observar si hay presencia o no de agallas y lesiones en las raíces; además, debe observarse si existe evidencia de otros síntomas causados por otros patógenos como hongos o bacterias, que se pueden presentar al mismo tiempo (Ortiz-Paz et al., 2023).

» Aplicar en forma directa al suelo hongos biocontroladores de *Meloidogyne* spp., como *Purpureocillium lilacinum* (equivalente a *Paecilomyces lilacinus*) y *Pochonia chlamydosporia*, en dosis de 2,5 g/L de agua, al momento de la siembra; continuar con dos aplicaciones cada ocho días; finalmente, realizar dos aplicaciones más cada mes (Ortiz-Paz et al., 2015, 2023). Los dos ingredientes mencionados se encuentran registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2023), y su mezcla ejerce control sobre juveniles, adultos y huevos de *Meloidogyne* spp.; además, tienen efecto biofertilizante, pues las zanahorias que reciben la aplicación de la mezcla de *P. lilacinum* y *P. chlamydosporia* se desarrollan mejor que aquellas que no reciben la mezcla (Ortiz-Paz et al., 2023; Suasnabar & Torres, 2022; Souza & Pala, 2022). Otros ingredientes comerciales reportados para el control de nematodos son *Trichoderma viride* (2 a 2,5 g/L) y la bacteria *Pseudomonas fluorescens* (Nagachandrabose, 2018; Galindo & Saboyá, 2020; Viric et al., 2022).

» En lotes con historial de presencia de *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp., se recomienda aplicar en el momento de siembra el producto Fluopyram (0,5 L/ha), y realizar una nueva aplicación 15 días después (Suasnabar & Torres, 2022; Nagachandrabose, 2018). Es importante tener en cuenta que este producto es tóxico para los organismos acuáticos y que se debe hacer uso de elementos de protección personal, ya que puede ser nocivo por ingestión, contacto con la piel o inhalación (Ortiz-Paz et al., 2023). Otra opción química para disminuir la población de nematodos en el suelo y en las raíces es aplicar *Ruta graveolens* L. (15 cc/l), desde el momento de siembra.

» Realizar lavado de herramientas y elementos de labranza (machete, pala, azadón), así como de las botas, con detergente y abundante agua antes de pasar de un área infestada a una sana. Además, es importante el lavado de manos, ya que se ha encontrado que herramientas, botas y uñas son fuentes de diseminación o dispersión de nematodos (Cardona-Piedrahíta & Guzmán-Piedrahita, 2013). También se pueden usar desinfectantes antocorrosivos de herramientas, como yodo agrícola (10 cc/l de agua).

» Se recomienda hacer rotaciones del cultivo de zanahoria con ajo (*Allium sativum* L.), arveja (*Pisum sativum* L.) y maíz (*Zea mays* L), o intercalar la zanahoria con flor de muerto (*Tagetes* spp.) y caléndula (*Calendula officinalis* L.) (Guíñez, 1990).

» Realizar control de malezas o arvenses, teniendo en cuenta que estas pueden ser hospedantes de *Meloidogyne* spp. (Suasnabar & Torres, 2022). El nematodo ataca a casi todos los cultivos hortícolas (es polífago) y tiene muchos hospederos, incluyendo varias arvenses (Suasnabar & Torres, 2022).



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Enfermedades causadas por hongos

Gota, tizón tardío o alternaria

El hongo *Alternaria dauci* (J.GKühn) J.W.Groves & Skolko presenta estructuras alargadas y ramificadas de color marrón llamadas conidióforos, que producen esporas ovaladas o elípticas con dos a 10 septos transversales, y de cero a dos septos longitudinales por segmento que presentan picos terminales filamentosos propios de la especie (Barnett, 1962) (figura 9.3a).

Síntomas

Alternaria dauci ataca primero las hojas senescentes de la parte inferior de la planta; sin embargo, a medida que se incrementa la infección, la enfermedad se extiende hacia la parte superior (Agrios, 2005). Las lesiones en los folíolos se manifiestan como manchas de color marrón claro a oscuro con un borde amarillo (figura 9.3b); al aumentar la infección se cubre una mayor área de los folíolos y estos terminan secándose (figura 9.3c). Cuando el hongo ataca el tallo, se presentan manchas necróticas de color marrón de uno a dos milímetros con los bordes irregulares (figura 9.3d); además, se pueden presentar manchas necróticas en las flores, los pecíolos, el raquis, los pedicelos y los pedúnculos (Acuña, 2008).



Figura 9.3. *Alternaria dauci,* agente causal de la gota o la mancha foliar en zanahoria. a. Conidióforos de color marrón y un conidio (espora asexual) septado, en forma de muro, observados en el microscopio (aumento 40x); b. Lesiones de color marrón en los folíolos; c. Lesiones severas en la planta (marchitez general); d. Lesiones de color marrón sobre los tallos.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz y Germán Franco

Manejo de gota, tizón tardío o mancha foliar causada por A. dauci

» Sembrar variedades comerciales con resistencia parcial a la enfermedad como las denominadas Amsterdam, Imperator y Kuroda, que han demostrado ser más resistentes a este patógeno (Coles et al., 2003).

» Usar semilla certificada libre del patógeno (Töfoli et al., 2015), ya que el hongo puede sobrevivir por un periodo de hasta ocho años en semilla almacenada (Coles et al., 2003). También se pueden tratar 300 g de semillas con el fungicida Iprodiona (50 g de i.a), aplicado solo o en mezcla con el fungicida Triticonazol (2,5 g de i.a) (Suasnabar & Torres, 2022). Otras opciones de desinfección de la semilla consisten en sumergirlas en agua caliente a una temperatura de 50 °C por 15 minutos (Farrar et al., 2004) o sumergir las semillas en una solución de permanganato de potasio a 22 °C. Este último método reduce en un 75 % la transmisión por semillas, aunque puede reducir la germinación en un 4 % (Coles et al., 2003).

» Tomar muestras de suelo para hacer análisis químico y, según los resultados arrojados, realizar la fertilización recomendada en el capítulo VI. Los cultivos son más tolerantes a la enfermedad cuando están bien nutridos (Agrios, 2005). Además, se realiza el uso eficiente del nitrógeno en el cultivo (sin excederse), puede aumentar el vigor de las plantas y la emergencia de hojas nuevas, para compensar a aquellas dañadas por la enfermedad (Töfoli et al., 2015).

» Realizar inspecciones desde la etapa de plántula para detectar a tiempo la presencia de enfermedad (Ortiz-Paz et al., 2023).

» Evitar sembrar en suelos con problemas de encharcamiento (Suasnabar & Torres, 2022) y reducir la humedad implementando eras o camas más elevadas (25 a 30 cm de altura), con canales de drenaje (Remesal, 2011). Se ha encontrado que temperaturas entre 22 y 26 °C y más de 36 horas de agua en las hojas son condiciones favorables para la enfermedad (Piccolo, 2007).

» Regar, sin excederse, en horas de la mañana, con el fin de reducir la humedad en horas de la noche (Farrar et al., 2004).

» Evitar la siembra en el mismo sitio de cultivos susceptibles a la enfermedad, como apio (*Apium graveolens* L.) y perejil (*Petroselinum crispum* [Mill.] Fuss), ya que estos aumentan la fuente de inóculo (Suasnabar & Torres, 2022; Farrar et al., 2004; Töfoli et al., 2015).

» Aplicar bioinsumos registrados ante el ICA, que tengan el ingrediente *Bacillus subtilis* (2 g o 2 ml/L, según la presentación). Se reporta que la bacteria ayuda a romper las estructuras del hongo e induce los mecanismos de defensa de la planta al patógeno (Avenot et al., 2015). Es importante aplicar el producto en aspersión foliar cada siete días durante la fase vegetativa, prefloración, floración, llenado y cosecha. También se puede aplicar extracto vegetal de eucalipto (1,5 L/ha), debido a que reduce la incidencia de la enfermedad (Manzoor et al., 2017).

» Si la variedad cultivada es altamente susceptible a *Alternaria* spp., se recomienda implementar un plan de muestreo y monitoreo constante, con acompañamiento técnico en campo. Solo en casos donde el nivel de susceptibilidad y la presión de inóculo lo justifiquen, se podrá recurrir al uso de ingredientes activos (i.a) de síntesis química, siempre como último recurso y bajo uso responsable. Entre los fungicidas de acción preventiva se encuentra el Clorotalonil (2,1 L/ha), que puede aplicarse en rotación con productos de acción sistémica como Azoxystrobin (400 cc/ha), Difenoconazol (300 cc/ha) o Boscalid (300 g/ha). También pueden emplearse formulaciones combinadas de acción preventiva y sistémica como Metiram y Piraclostrobin (2,4 kg/ha), o sistémicos como Azoxystrobin y Difenoconazol (400 cc/ha), y Azoxystrobin y Tebuconazol (0,6 L/ha), que han mostrado un buen desempeño en campo y están autorizados para el control de *Alternaria* spp. (Ortiz-Paz et al., 2023). Las aplicaciones deben realizarse como máximo hasta cinco semanas antes de la cosecha, debido a la posible acción residual sobre la zanahoria destinada al consumo o comercialización.

Pata negra de la raíz causada por *Ilyonectria radicicola*

El hongo *Ilyonectria radicicola* (Gerlach & L. Nilsson) P. Chaverri & Salgado (Anamorfo: *Cylindrocarpon destructans* [Zinssm.] Scholten) presenta conidióforos con macroconidios y microconidios como estructuras de reproducción asexual (Mao et al., 2014). Los macroconidios presentan extremos redondeados, que se van estrechando ligeramente hacia la base y tienen de uno a tres septos. Los microconidios son ovalados o elípticos (Mao et al., 2014) (figura 9.4a).

Síntomas

Ilyonectria radicicola es un patógeno del suelo que causa pudrición semiblanda y lesiones cancrosas de color marrón oscuro en la raíz comercial; generalmente, las lesiones se localizan en el ápice o en el centro de la raíz (figura 9.4b). El hongo también puede infectar la base de las hojas de las plantas, donde se desarrollan lesiones necróticas, hundidas y de color marrón (Acuña, 2008).



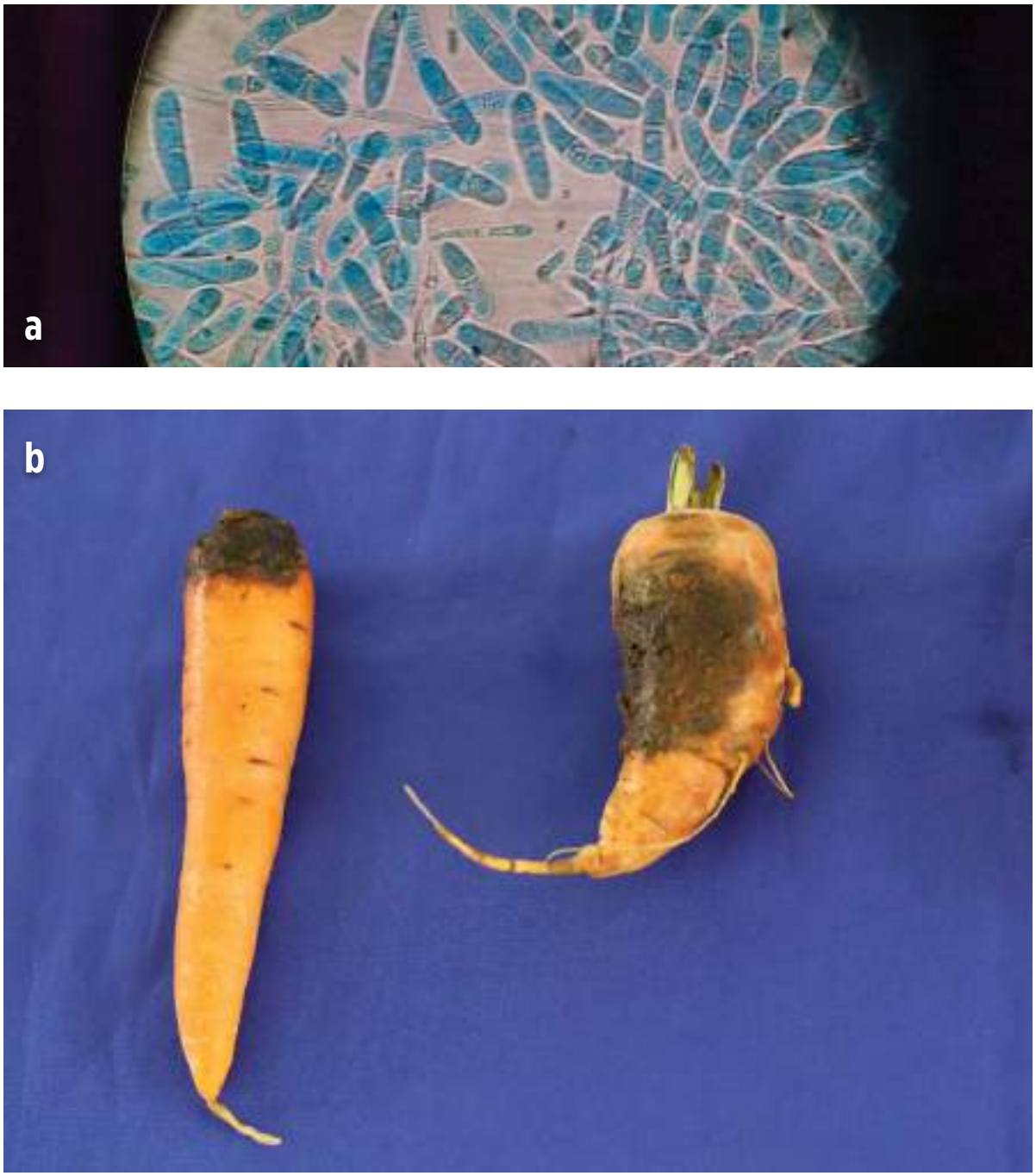


Figura 9.4. Hongo *Ilyonectria* spp. y síntomas de pata negra en zanahoria de cuatro meses de edad. a. Macroconidios y microconidios del hongo observados bajo el microscopio (aumento 20 x); b. Necrosis en la parte basal (izquierda) y necrosis en parte media (derecha) de la zanahoria.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo de la pata negra de la raíz causada por *I. radicicola*

» Realizar el manejo de manera similar al mencionado para *Alternaria dauci* e integrarlo con el manejo de los nematodos e insectos plaga (ver capítulo X), dado que su hábitat alimenticio puede causar heridas en la zanahoria y facilitar que *Ilyonectria* entre e infecte la raíz (Probst et al., 2012).

» Retirar los residuos de cosecha, debido a que el hongo puede sobrevivir durante largos periodos de tiempo (años), por la producción de las estructuras de sobrevivencia (clamidosporas) en la materia orgánica en descomposición (Halleen et al., 2004).

» Implementar la desinfección del calzado con un pediluvio con cal, antes de entrar y salir del lote, para evitar la diseminación de los patógenos a través de este (Ortiz-Paz et al., 2023).

Moho negro de la raíz producido por *Stemphylium radicinum*

El hongo *Stemphylium radicinum* (Meier, Drechsler & E. D. Eddy) Neerg. produce conidióforos oscuros, en su mayoría simples con un solo conidio terminal engrosado o conidios sucesivos. El conidióforo prolifera a través de la cicatriz del conidio antiguo, frecuentemente es globoso, elipsoide u ovoide, a menudo constreñido en la parte mayor (figura 9.5a). El hongo es parásito o saprofítico (Barnett, 1962).

Síntomas

El hongo del suelo *S. radicinum* se presenta frecuentemente al final del ciclo del cultivo y en almacenamiento o poscosecha. Los síntomas se observan en la corona y sobre el cuerpo de la raíz comestible, inicialmente como micelio blanco de aspecto algodonoso, que se torna de color gris a negro (Acuña, 2008) (figura 9.5b).

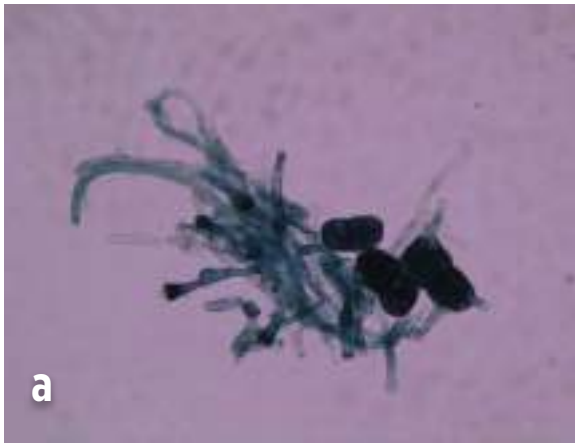




Figura 9.5. *Stemphylium radicinum*, agente causal de moho negro en zanahoria. a. Estructuras de reproducción asexual (conidios) del hongo observadas en microscopio (aumento 40x): b. Micelio negro del hongo cubriendo la zanahoria.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo del moho negro de la raíz producido por *S. radicinum*

» Usar semilla certificada (Töfoli et al., 2015), debido a que el hongo se transmite por medio de semilla infectada (Acuña, 2008). Además, se pueden tratar 300 g de la semilla con el fungicida comercial Iprodiona (50 g de i.a) en mezcla con Triticonazol (2,5 g) (Suasnabar & Torres, 2022), o sumergirlas en agua caliente a una temperatura de 50 °C por 15 minutos (Farrar et al., 2004).

» Retirar los residuos de cosecha de zanahoria, ya que se ha encontrado que el hongo *S. radicinum* sobrevive en ellos (Acuña, 2008).

» Evitar la siembra de zanahoria en altas densidades y elaborar eras o camas elevadas (25 a 30 cm de altura), junto a canales de drenaje (si son necesarios), para prevenir encharcamientos (Remesal, 2011). Se ha encontrado que la humedad superior a 96 % favorece el desarrollo de la enfermedad (Acuña, 2008).

» Usar herramientas de labranza (palas, picas, entre otras) desinfestadas con yodo agrícola (15 cc/l), como una forma de prevenir la diseminación de la enfermedad (Ortiz-Paz et al., 2023).

» Aplicar Folpet (1,5 L/ha) como ingrediente activo de acción protectante sobre el cultivo.

Pudrición blanda causada por *Sclerotium rolfsii*

El hongo *Sclerotium rolfsii* Saac. (teleomorfo: *Athelia rolfsii* [Curzi] C.C.Tu & Kimbr) presenta micelio hialino de paredes delgadas con tabiques y proliferación de algunas hifas en ángulo recto, denominadas fíbulas (figura 9.6a).

Síntomas

La pudrición puede producirse en cualquier órgano de la planta, siempre que las condiciones ambientales sean favorables (Aycock, 1966).

El contacto de las hifas del hongo *S. rolfsii* con la planta estimula la producción de compuestos extracelulares, como el ácido oxálico y poligalacturonasas, que ocasionan la muerte de los tejidos vegetales previa a la penetración miceliar (Bateman & Beer, 1965). En general, transcurridos cuatro días después de la infección, suelen aparecer en la base de la raíz los primeros síntomas de lesiones acuosas que se extienden en el órgano carnoso, sobre el cual aparecen esteras miceliales blancas en la superficie (Domsch et al., 1980). En las áreas afectadas por la pudrición se producen múltiples esclerocios de forma redonda con uno a tres milímetros de diámetro, que en un inicio son blancos y después se tornan de color marrón oscuro (figura 9.6b) (Kwon et al., 2011). El hongo persiste en el suelo debido a los esclerocios y al micelio, que sobreviven sobre materia orgánica muerta. Las condiciones favorables para que se desarrolle este hongo son alta densidad de siembra, elevada humedad y alta temperatura (Kwon et al.,2011).

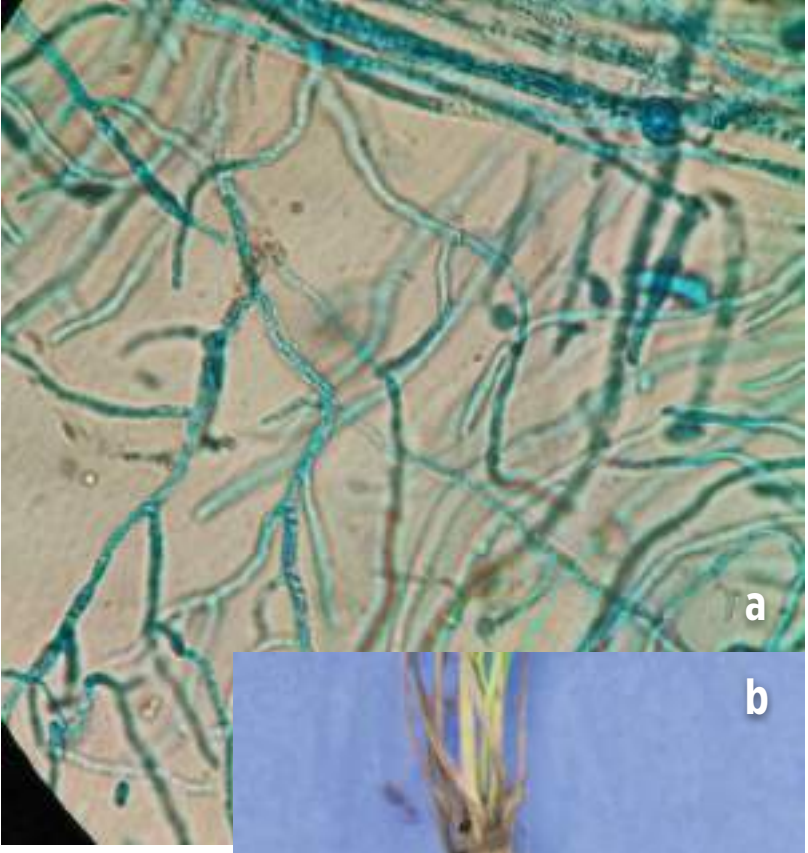




Figura 9.6. *Sclerotium rolfsii, agente causal de la pudrición blanda de la zanahoria.* a. Micelio del hongo con fíbulas observado en microscopio (aumento 10x); b. Síntomas de la pudrición blanda ocasionada por *S. rolfsii* en la raíz comestible, zanahoria cubierta de micelio blanco de aspecto algodonoso y esclerocios esféricos de color marrón.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo de la pudrición blanda causada por *S. rolfsii*

» Elegir suelos o sustratos libres del patógeno con base en análisis microbiológico; además, reconocer el historial del estado fitosanitario del lote o el registro de enfermedades causadas por el patógeno en años anteriores (Remesal, 2011).

» Evitar los encharcamientos sembrando sobre eras o camas elevadas (25 a 30 cm de altura) y realizar canales de drenaje. Tener en cuenta que la presencia de la enfermedad suele coincidir con periodos húmedos prolongados (Remesal, 2011).

» Eliminar residuos vegetales de cultivos previos que hayan sido infectados por el hongo, ya que se reporta que este tiene gran capacidad saprofítica, y sobrevive y continúa su ciclo sobre los residuos de cosecha, los cuales se convierten en fuente de inóculo para epidemias en el siguiente ciclo de cultivo (Remesal, 2011).

» Realizar arado profundo y aplicar cal en el suelo para mantener un pH cercano a 6,5. Estas prácticas permiten que los esclerocios no sobrevivan más de 45 días y disminuyen la proliferación del hongo (Mullen, 2001).

» Realizar solarización del suelo dirigida a focos de infección. Regar en horas de la mañana el suelo a capacidad de campo y acondicionar con la mezcla de ingredientes comerciales *Trichoderma harzianum* (2 g/L), *Bacillus subtilis* (1,5 a 2,0 cc/l) o *Pseudomonas fluorescens* (2 cc/l o 2 g/L, según la presentación) (Meena

et al., 2024; Silva et al., 2025); posteriormente, colocar láminas de plástico transparente de 0,04 mm de espesor en el área a tratar durante un mes, en lo posible que reciba la luz solar directamente. La solarización del suelo reducirá significativamente los esclerocios que pueden permanecer viables durante cuatro años. Además, ayudará a controlar otras enfermedades transmitidas por el suelo, así como nematodos parásitos de plantas y algunas arvenses (Mullen, 2001).

» Aplicar los ingredientes comerciales *Trichoderma harzianum* (2 g/L), *Bacillus subtilis* (1,5 a 2,0 cc/l) o *Pseudomonas fluorescens* (2 cc/l), de manera frecuente y continua (Remesal, 2011). Inicialmente, las aplicaciones pueden realizarse cada semana durante un mes, y después realizar dos aplicaciones de forma mensual, con el propósito de que los microorganismos colonicen la rizosfera y persistan en el suelo de forma eficiente (Ortiz-Paz et al., 2023; Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

» Evitar sembrar en una misma área de cultivo especies hospederas del hongo, como girasol (*Helianthus annuus* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), remolacha de mesa (*Beta vulgaris* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) o melón (*Cucumis melo* L.). Puede hacerse rotación de cultivos con maíz (*Zea mays* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y ajo (*Allium sativum* L.) (Garren, 1961; Mullen, 2001).

» Adelantar la fecha de siembra y de cosecha como escape a la enfermedad, para que el ciclo se complete antes de presentarse las condiciones de alta temperatura (27 a 35 °C) y humedad elevada, con el fin de prevenir la germinación de los esclerocios y el desarrollo de la enfermedad (Mullen, 2001).

» Aplicar fungicidas sobre el suelo para inhibir la germinación de los esclerocios y el crecimiento del micelio del hongo (Punja, 1985), haciendo un uso racional de estos productos y siempre con los elementos de protección personal. En caso de historial de la enfermedad en el lote, se recomienda incluir aplicaciones con fungicidas como Metalaxyl (2 kg/ha), Azoxystrobin (400 cc/ha), o la mezcla de Trifloxistrobin y Ciproconazol (150 cc/ha), los cuales han demostrado reducir la incidencia de la enfermedad (Mullen, 2001).

Pudrición blanca asociada al complejo *Geotrichum* Link. y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc.

El hongo *Geotrichum* spp. (teleomorfo: *Dipodascus geotrichum* [E. E. Butler & L. J. Petersen] Arx) se caracteriza por poseer las hifas divididas o septadas, dispuestas en forma cilíndrica. Los conidios a veces permanecen cilíndricos y se forman lateralmente en las hifas (Domsch et al., 1980) (figura 9.7a). Por otro lado, el hongo *Fusarium solani* (teleomorfo: *Nectria haematococca* var. *brevicona* [Wollenw.] Gerlach) posee esporas pequeñas (microconidios), producidas en conidióforos. Las esporas más grandes (macroconidios) son producidas en cantidades variables en conidióforos ramificados más cortos, y poseen de tres a cinco septos (figura 9.7b). *Fusarium* es habitante natural del suelo, persiste en este por varios años en forma de micelio, esporas o clamidosporas; su diseminación se puede realizar a través del agua, herramientas, equipos agrícolas contaminados, así como por el transporte de sustratos infectados de una finca a otra (Domsch et al., 1980; Agrios, 2005).

Síntomas

Geotrichum spp. y *Fusarium solani* son patógenos del suelo, que penetran por heridas en las raíces de zanahoria; en general, sus síntomas se manifiestan en zanahorias rajadas al final del ciclo de cosecha o en almacenamiento. Las zanahorias presentan pudriciones recubiertas de abundante micelio blanco con zonas más oscuras, que corresponden a la formación de esporas de los hongos (Acuña, 2008) (figuras 9.7c y 9.7d).

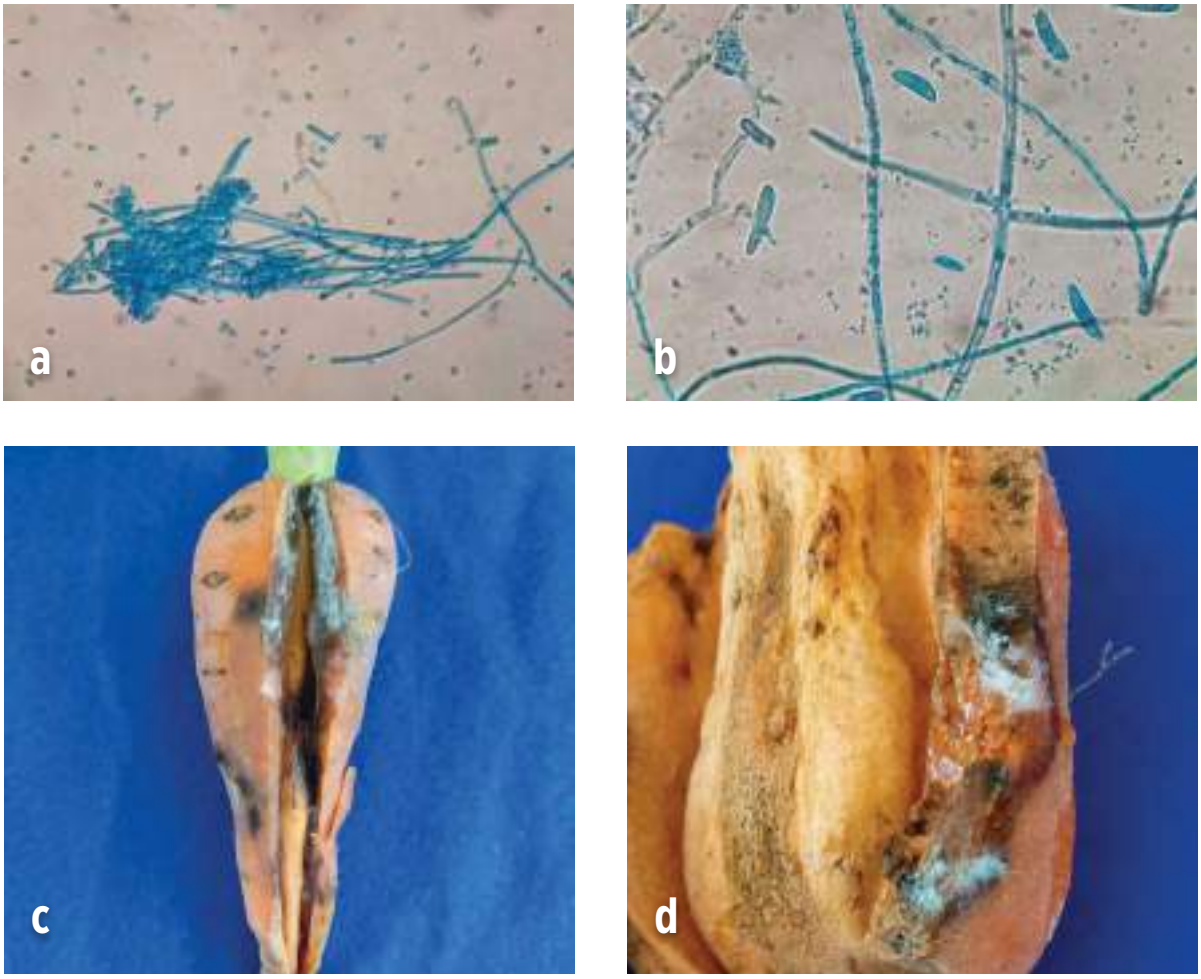


Figura 9.7. Hongos causantes de la pudrición blanca algodonosa en zanahorias. a. *Geotrichum* spp. observado en microscopio (aumento 20x); b. Microconidios de *Fusarium solani* observados en el microscopio (aumento 20x); c. Micelio blanco de *Geotrichum* spp. de aspecto algodonoso sobre zanahoria rajada; d. Micelio algodonoso blanco de *Fusarium solani* sobre zanahoria rajada.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Nota. Resolución de foto d mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.

Manejo de la pudrición blanca asociada al complejo *Geotrichum* spp. y *F. solani*

» Tratar 100 g de semillas con 150 cc del fungicida *Pyraclostrobin* y Tiofanato metil, haciendo uso de elementos de protección personal. También se pueden sumergir las semillas en agua caliente a una temperatura de 50 °C por 15 minutos (Farrar et al., 2004).

» Realizar canales de drenaje en el lote de cultivo, ya que el agua es fuente de dispersión de los hongos, que sobreviven a una humedad relativa mayor al 92 % en residuos vegetales (Acuña, 2008).

» Aplicar una solución de ácido peracético en concentración de 40 ppm sobre zanahorias por 30 minutos de exposición, la cual ha sido efectiva para el control de las esporas de hongos que causan pudriciones como *Fusarium* y *Penicillium* en poscosecha (Kyanko et al., 2009).

» Evitar movilizar raíces y suelo infectado, ya que pueden ser fuente de inóculo o de infección para otras plantas. Además, se recomienda recoger y eliminar del campo los residuos de material vegetal infectado, con el fin de reducir la fuente de inóculo presente en el área. Las zanahorias con síntomas de la enfermedad pueden ser enterradas a una profundidad de 80 cm en un sitio aislado, y aplicar fungicidas comerciales combinados como Cyprodinil y Difenoconazol (1 L/ha), o Azoxystrobin y Difenoconazol (375 cc/ha) en los focos de infección (Ortiz-Paz et al., 2023).

» Usar sitios de almacenaje y contenedores desinfectados con ácido peracético en concentración de 200 ppm (Acuña, 2008) o yodo agrícola al 1,5 % (1,5 cc/l de agua).

» Aplicar bioinsumos comerciales a base de *Gliocladium* y *Trichoderma* (2,0 a 2,5 g/L de agua) en forma directa en el suelo, pues se ha registrado que reduce hasta en 31 % la incidencia de *Fusarium* spp. (El-ddin & Haleem, 2021).

» Refrigerar la zanahoria después de la cosecha a una temperatura de 3 a 5 °C, y a una humedad relativa de 98 a 100 %, es una estrategia que prolonga en tres semanas la calidad sanitaria (Izquierdo-García & Naranjo-Campos, 2006). Sin embargo, si existen raíces que presentan los síntomas de la pudrición blanca, estas deben ser retiradas y eliminadas (Robledo et al., 2019).

Moho verde producido por *Penicillium* Link

El hongo *Penicillium* spp. (teleomorfo: hongo de la familia Eurotiaceae) posee conidióforos de paredes lisas, con cadenas de conidios unicelulares llamadas fiálides. Los conidios se encuentran en largas cadenas o en columnas, son globosos, elipsoidales, cilíndricos, sin color (hialinos) o verdosos, de paredes lisas o rugosas (figura 9.8a). Algunas especies producen esclerocios o estructuras de sobrevivencia (Domsch et al., 1980).

Síntomas

Las colonias del hongo suelen crecer rápidamente, en tonos verdes, a veces blancos, y en su mayoría consisten en una densa capa de estructuras del hongo (Domsch et al., 1980). Sobre la zanahoria se puede observar pudrición de cosecha o poscosecha, con micelio sobre los tejidos afectados (figura 9.8b), de color verde o azul (Acuña, 2008).

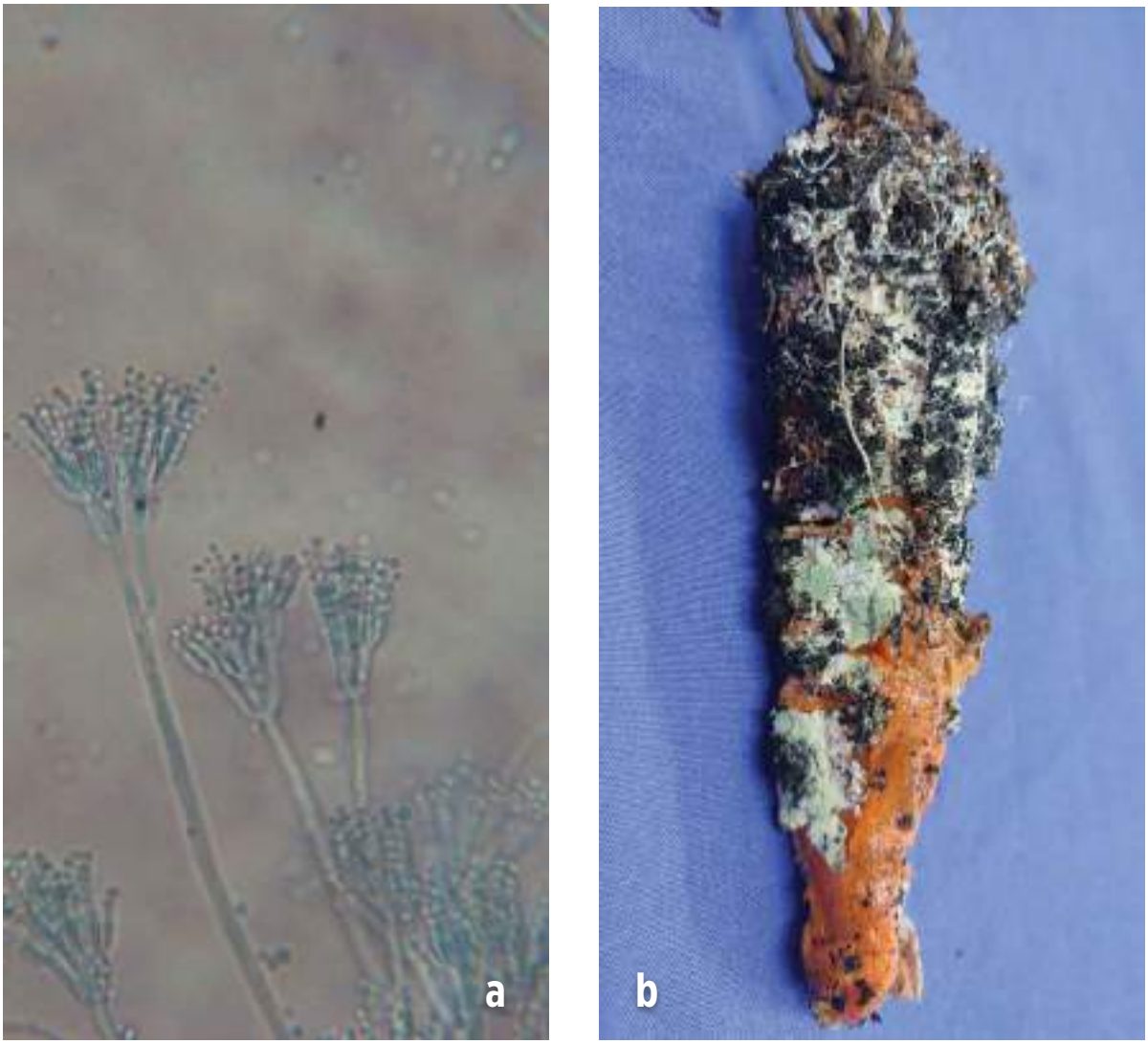


Figura 9.8. Hongo *Penicillium* spp., agente causante del moho verde de la zanahoria. a. Estructuras reproductivas del hongo (conidióforos y conidios hialinos) observadas en microscopio (aumento 40x); b. Zanahoria cosechada con síntomas de moho verde.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo del moho verde producido por *Penicillium* spp.

» Utilizar semilla libre del patógeno, tratada con fungicidas como Imazalil (1 cc/l), o también Carboxín más Thiram (4 g/kg de semillas), pues el hongo se disemina por medio de la semilla y puede sobrevivir en el suelo, asociado a residuos de cultivos infectados (Piccolo, 2007).

» Si la enfermedad es severa, se puede sembrar en época seca, cuando la temperatura elevada del suelo se encarga de reducir la presencia del hongo (Acuña, 2008).

» Aplicar una solución de ácido peroxiacético (200 ppm) en drench al suelo y sobre residuos de cosecha, en los sitios de remoción de zanahorias con síntomas; para el lavado de zanahorias en poscosecha, se recomienda una dosis de 40 ppm, con el propósito de controlar las esporas del hongo (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [OIRSA], 2021).

» Manejar en forma adecuada el riego, para evitar condiciones de alta humedad en el suelo en los días posteriores a la siembra de la semilla, ya que el daño es más severo en suelos con exceso de humedad y durante periodos de alta humedad relativa y bajas temperaturas (Acuña, 2008).

» Aplicar desde la siembra el ingrediente comercial *Trichoderma harzianum* Cepa BTh-02 en concentración 2,0 x 10^8 UFC/g, en dosis de 1,5 g/L directamente al suelo, cada 10 o 15 días.

Mildiu polvoso causado por *Oidium* Link

El hongo *Oidium* Link (teleomorfo: *Erysiphe heraclei* DC.) se alimenta de tejido vegetal vivo y sobrevive en residuos vegetales o en hospedantes alternos. El diagnóstico bajo microscopio incluye la observación de estructuras asexuales llamadas conidios, que son libres, transparentes (hialinos), elipsoides a ovoides con cuerpos de fibrosina cilíndricos que producen un tubo germinativo claviforme ancho y un pie cilíndrico, además de conidióforos rectos no ramificados (figura 9.9a). El estado sexual *Erysiphe heraclei* produce cuerpos fructíferos de forma globosa llamados cleistotecios, que son de color oscuro a negro.

Síntomas

Los síntomas se presentan en las hojas, pecíolos, flores y frutos. En las hojas, se observa clorosis, luego estructuras de color blanco a gris claro de aspecto pulverulento, producto del micelio y las esporas del hongo (Acuña, 2008) (figura 9.9b). Las hojas y pecíolos infectados se vuelven quebradizos, distorsionados y, eventualmente, pueden tornarse de color marrón, se marchitan y mueren (Cotes, 2018). La enfermedad es un problema serio en climas cálidos y secos, ya que estas condiciones favorecen su desarrollo (Piccolo, 2007). El hongo detiene la formación de semillas en las flores, se transmite por semilla y en hospedantes alternos (Acuña, 2008).

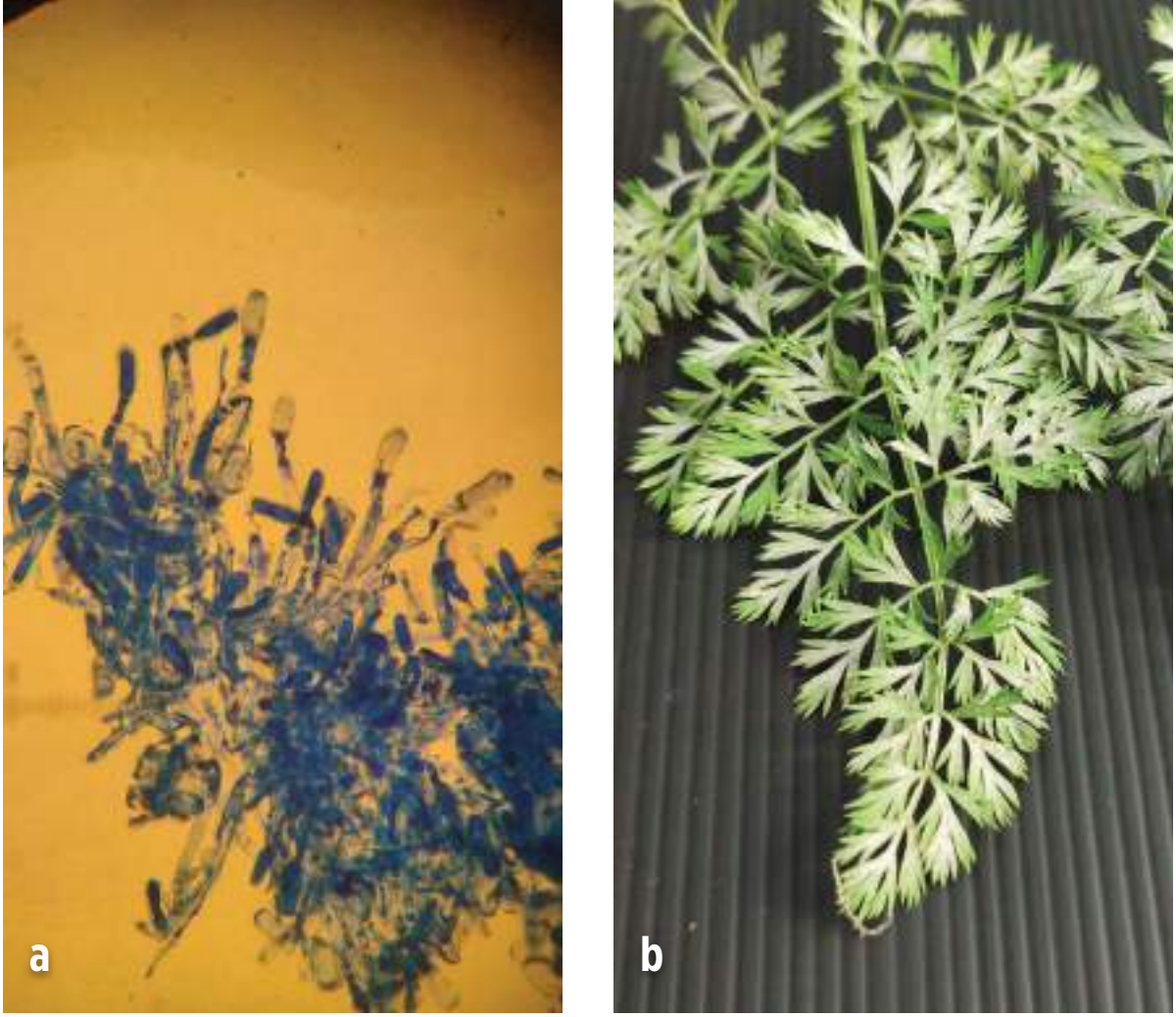


Figura 9.9. Hongo *Oidium* spp., agente causal de mildeo polvoso de la zanahoria. a. Conidios en conidióforos libres del hongo (aumento 20x); b. Hojas de zanahoria de tres meses de edad con estructuras blancas de aspecto pulverulento.

Fotos: Albeiro de Jesús Macías y Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Manejo del mildiu polvoso causado por *Oidium* spp.

» Usar semilla libre del patógeno o en su defecto tratarlas con agua caliente a 50 °C durante 20 minutos (Acuña, 2008).

» Aplicar preferiblemente bioinsumos con los ingredientes comerciales *Trichoderma afroharzianum* y *Ampelomyces quisqualis* (2 g/L) (Cotes, 2018).

» Aplicar foliarmente 1,5 l/1.000 l de agua/ha de *Rheum officinale* (Ruibarbo) para el control de mildiu polvoso. Solo cuando la enfermedad sea muy recurrente, pueden emplearse fungicidas a base de azufre, como Piraclostrobin, Azoxystrobin y Tebuconazol en las dosis indicadas en la etiqueta, ya que han mostrado un control efectivo sobre el mildiu polvoso en zanahoria (Piccolo, 2007; Watson et al., 2017).

Enfermedades ocasionadas por bacterias

Pudrición blanda causada por *Pectobacterium carotovorum* (Waldee)

La bacteria *Pectobacterium carotovorum* es un bacilo Gram-negativo, que mide de 0,7 a 1,0 µm de ancho y de 1,0 a 2,5 µm de largo (figura 9.10a); no es esporulada, es motil y tiene flagelos perítricos; sus colonias muestran elevación convexa y son de color blanco cremoso; las células pueden aparecer de manera individual o en parejas (Czajkowski et al., 2015; Botero et al., 2013).

Síntomas

El nombre *carotovorum* significa devoradora de zanahorias, pues esta especie se aisló por primera vez de raíces de zanahoria (Acuña, 2008). La bacteria produce enzimas que desintegran la pared celular vegetal, con lo que las células se rompen y liberan su contenido, siendo entonces utilizadas como alimento. Provoca pudrición de los tejidos vegetales, causa lesiones acuosas y deprimidas (figura 9.10b), los tejidos afectados se observan de color marrón oscuro a negro (figura 9.10c), que se vuelven viscosos, desprenden un olor fétido, pero mantienen la epidermis intacta (Piccolo, 2007; Acuña, 2008). Se presenta en almacenamiento, cuando las condiciones de humedad relativa y temperatura son elevadas (98 % y 25 °C, respectivamente) (Acuña, 2008). La bacteria sobrevive en el suelo en los residuos vegetales y penetra en las raíces por heridas (Piccolo, 2007).

Manejo de la pudrición blanda causada por *P. carotovorum*

» Usar semilla libre del patógeno (Van Gijsegem et al., 2021).

» Desde el momento de la siembra, aplicar bioinsumos en el suelo a base de microorganismos como *Bacillus subtilis, Bacillus pumilus* (concentración de 1,0 x 10^8 UFC/cc y dosis de 1,5 cc/l), *Trichoderma harzianum* (concentración de 2,0 x 10^8 UFC viables/g, dosis de 1,5 g/L), así como extractos vegetales acuosos de *Cymbopogon citratus* (limoncillo), que pueden aplicarse antes de la siembra para controlar la pudrición blanda bacteriana (Abdel et al., 2020). También se ha reportado que el uso de extractos acuosos de *Ricinus communis* (higuerilla) disminuye la incidencia de esta bacteria (Hernández et al., 2022).

» Aplicar una dosis de 1 l/ha del ingrediente activo *Streptomyces racemochromagenes* registrado por el ICA, para el control de *Pectobacterium*, que en general se comercializa en una concentración de 1 x 10^8 UFC/l. Además, como última medida, pueden aplicarse productos comerciales de antibióticos combinados, de acción protectante y sistémica como kasugamicina (1,5 cc/l de agua, tres aplicaciones cada 10 días) o el bactericida sistémico sulfato de gentamicina en combinación con clorhidrato de oxitetraciclina (1 g/L), aplicado por inyección a plantas enfermas en una dilución de 50 a 100 cc de agua/por planta, y al suelo en dosis de 40 a 80 litros de agua por foco, con el fin de disminuir el inóculo de *P. carotovorum* (Hernández et al., 2022; Oulghazi et al., 2021). Estos productos deben usarse de forma racional y siempre con elementos de protección personal.

» Evitar heridas en las raíces de la zanahoria (Piccolo, 2007).

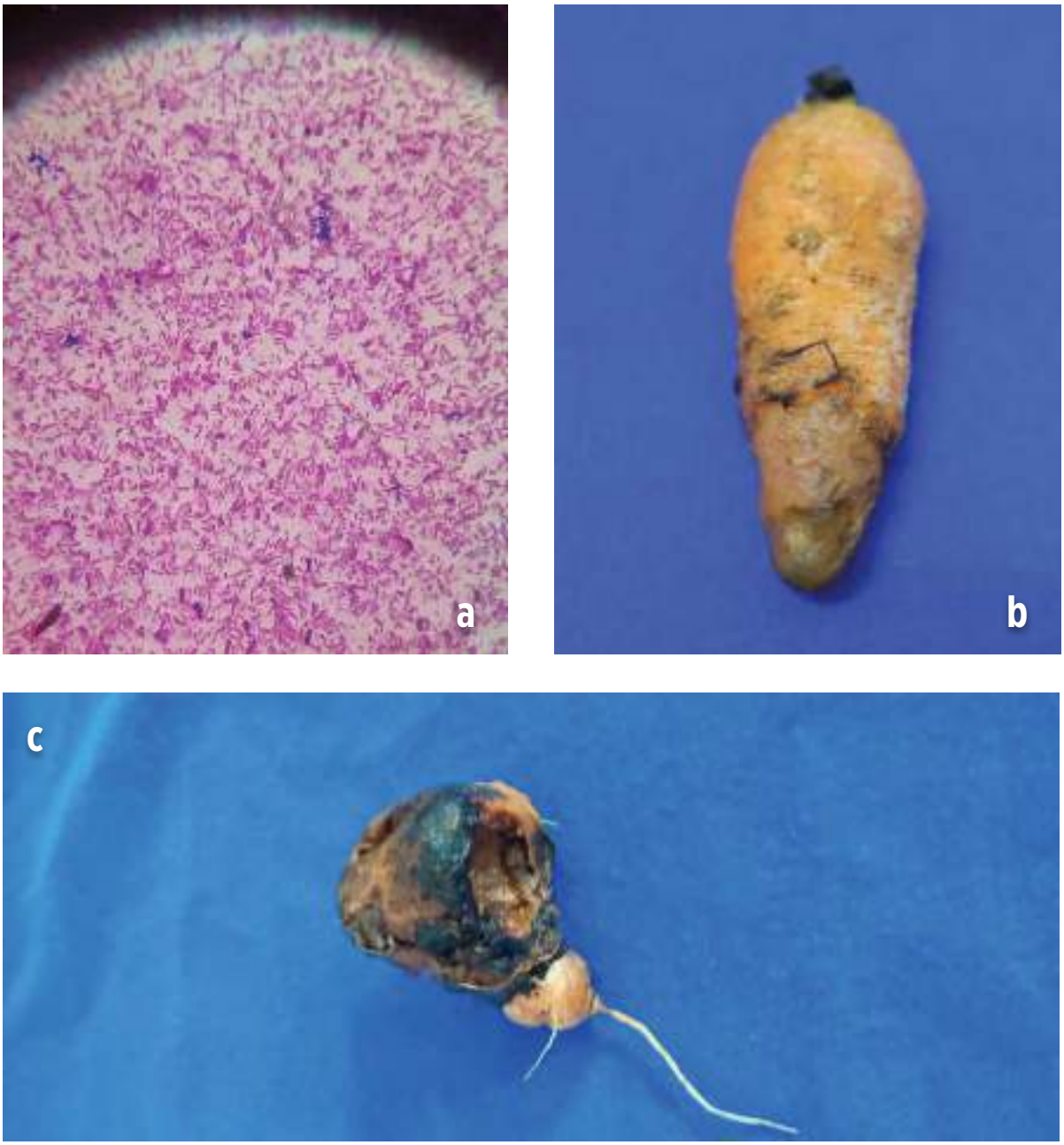


Figura 9.10. Bacteriosis de la zanahoria causada por *Pectobacterium carotovorum*. a. Bacterias teñidas de color rosado luego de la tinción de Gram (Gram-negativa), que tienen forma de bacilo en observación bajo el microscopio (aumento 100x, con aceite de inmersión); b. Pudrición blanda en la punta de la zanahoria; c. Pudrición blanda de la zanahoria con daño interno, tejido superficial de color negro y olor fétido fuerte.

Fotos: Karen Lorena Ballestas-Álvarez & Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Sarna común causada por *Streptomyces* spp. (Waksman & Henrici)

La sarna común de la zanahoria es causada por varias especies de bacterias aerobias, Gram-positivas del género *Streptomyces*, habitantes naturales del suelo y de vegetación en descomposición. Su morfología se parece a la de un hongo (figura 9.11a), debido a que se caracteriza por tener un crecimiento aéreo filamentoso y ramificado que produce esporas en cadenas (Botero et al., 2013). El micelio está compuesto por hifas delgadas, ramificadas, con pocas o ninguna pared transversal. Las esporas cilíndricas (más de veinte) son liberadas desde las puntas de las hifas y producen cadenas espirales maduras. Las esporas de *Streptomyces* spp. son menos resistentes a condiciones adversas, pero pueden sobrevivir durante veinte años (Herbario Virtual de Fitopatología de la Universidad de Buenos Aires, 2023).

Síntomas

Streptomyces spp. produce lesiones de apariencia corchosa en la raíz, superficiales y profundas. Las lesiones superficiales tienen aspecto elevado (figura 9.11b). Entretanto, las lesiones profundas ingresan en la raíz produciendo agujeros de dimensiones variables, que en ocasiones se asemejan a galerías producidas por insectos; son de color marrón con un diámetro de unos pocos milímetros. En ocasiones se pueden observar los dos síntomas, generando una disminución de la calidad de la zanahoria. La enfermedad no produce síntomas observables a nivel foliar (Agrios, 2005).

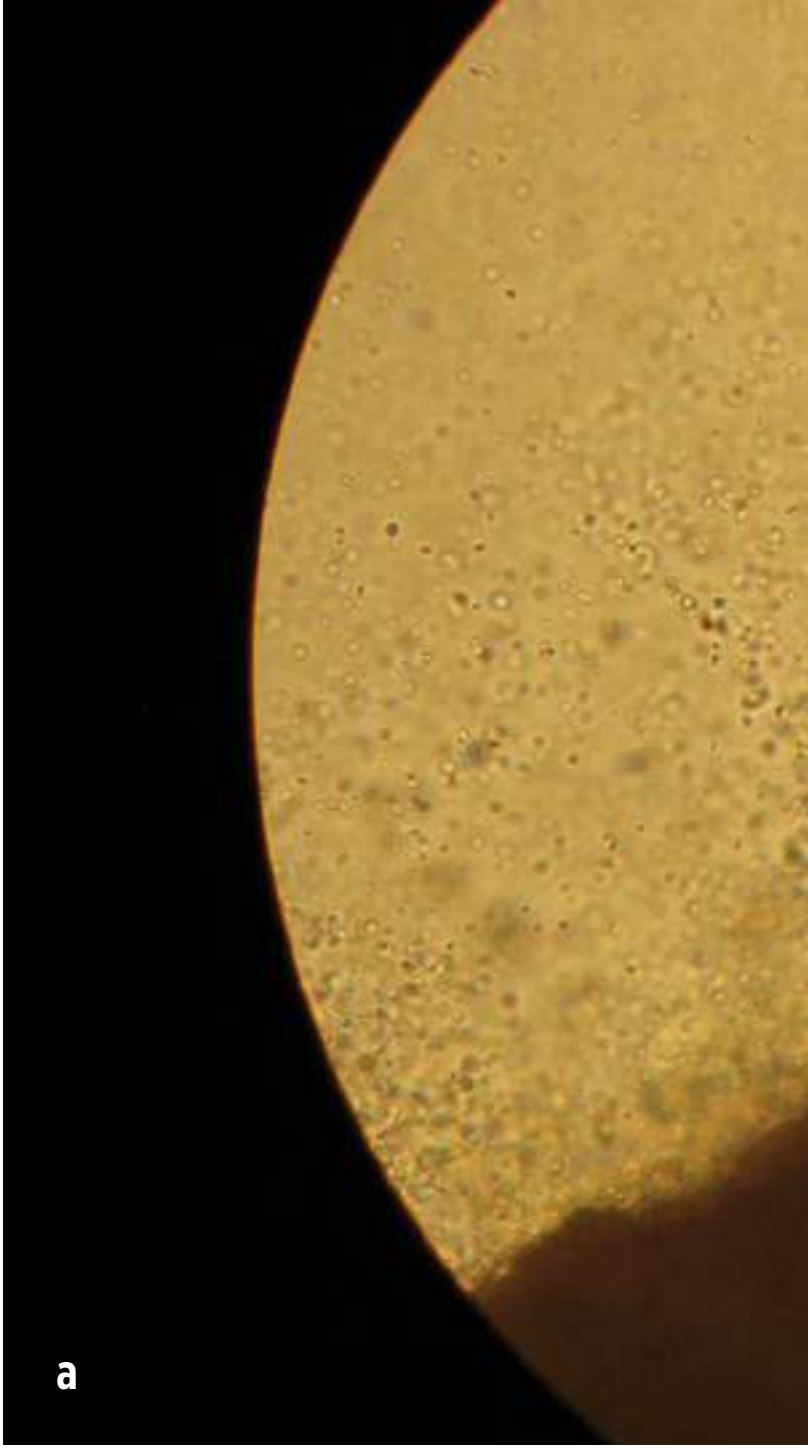
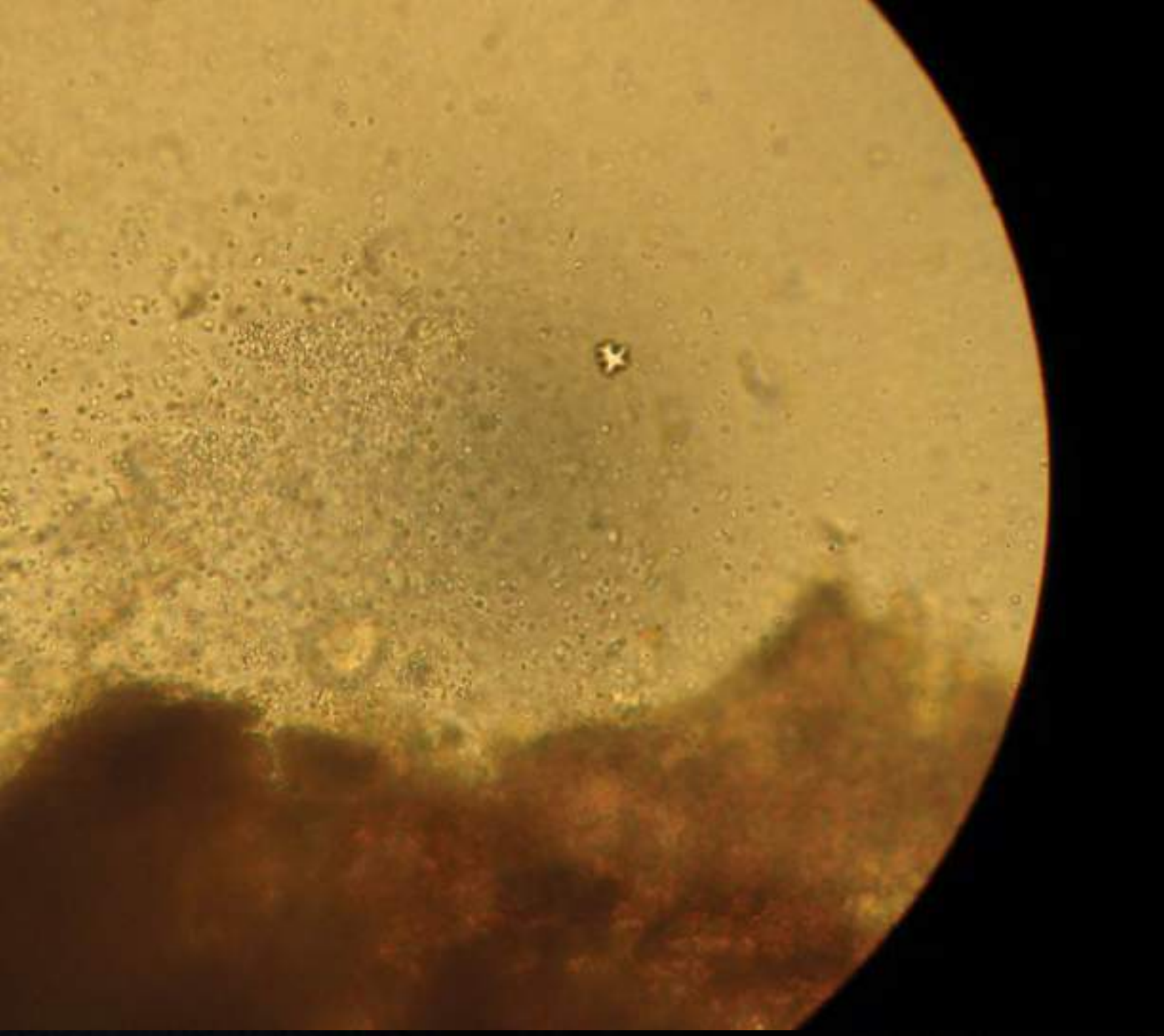


Figura 9.11. *Streptomyces* spp., agente causal de la sarna común de la zanahoria. a. Observación de un corte de tejido vegetal de sarna a través del microscopio (aumento 20x); b. Síntomas de sarna común, tejido superficial elevado con apariencia de corcho de color marrón sobre una zanahoria comestible.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz



b



Clarke et al. (2022) confirmaron que la fitotoxina Taxtomina A es el principal determinante de la virulencia de la enfermedad de la sarna causada por *Streptomyces* en la zanahoria.

Las condiciones favorables para que se presente la enfermedad son pH del suelo superior a 5,2, temperatura de 20 a 22 °C y bajo contenido de humedad en el suelo durante las primeras semanas de desarrollo de la raíz, siendo en este periodo más susceptible al ataque de la bacteria, que puede penetrar a través de heridas, estomas y lenticelas (Agrios, 2005).



Foto: Mario Mesa

Manejo de la sarna común causada por *Streptomyces* spp.

» Usar semilla sana. Aplicar a la semilla fungicidas y/o bactericidas específicos como Carboxín más Thiram (4 g/kg de semillas) o Metalaxyl más hidróxido de cobre (0,8 g/L) (Sabhikhi & Hunjan, 2021).

» Mantener a capacidad de campo el suelo durante el primer mes después de la siembra del cultivo. Esta actividad disminuye la incidencia de la enfermedad, debido a que el factor más importante para la reducción de la enfermedad es el alto contenido de humedad del suelo durante las primeras semanas de desarrollo de la raíz (Herbario Virtual de Fitopatología de la Universidad de Buenos Aires, 2023).

» Restringir las aplicaciones de enmiendas calcáreas (cal agrícola o dolomita) en ataques severos de la bacteria (Herbario Virtual de Fitopatología de la Universidad de Buenos Aires, 2023).

» Reducir el pH del suelo mediante la aplicación gradual de azufre, para mantenerlo entre 5,0 y 5,2 (Herbario Virtual de Fitopatología de la Universidad de Buenos Aires, 2023).

» Aplicar directamente en el suelo bacterias promotoras de crecimiento vegetal, tales como *Bacillus subtilis* o *Bacillus amyloliquefaciens* (1,5 a 2,0 kg/ha). Esta actividad reporta una reducción en la incidencia de la enfermedad de entre el 17 y el 50 %, cuando se aplica con una frecuencia quincenal durante el ciclo del cultivo (Sabhikhi1 & Hunjan, 2021).



Para no olvidar...

» El uso de semilla certificada o tratada previene muchas enfermedades transmitidas por semilla, como *Alternaria dauci*, *Oidium* o *Penicillium*.

» Para detectar la presencia de nematodos como *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, el muestreo de raíces desde etapas tempranas es estratégico.

» Para la reducción de la población de patógenos persistentes en el suelo como nematodos, *Fusarium* o Sclerotium la rotación de cultivos con especies no hospedantes (ajo, maíz, arveja) es determinante.

» Las eras altas con drenaje previenen enfermedades que prosperan en suelos húmedos, como *Alternaria*, *Pectobacterium* y *Sclerotium rolfsii*.

» La higiene del operario es esencial: lavar botas, machetes y manos entre lotes evita diseminar nematodos y bacterias como *Streptomyces* o *Pectobacterium*.

» El uso de fungicidas y nematicidas debe ser estratégico, respetando dosis, tiempos de carencia y rotación de ingredientes activos, para evitar resistencias y proteger el ambiente.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» Las visitas a fincas de productores del Oriente de Antioquia, junto con los diagnósticos realizados, evidenciaron que el cultivo de zanahoria enfrenta importantes amenazas fitosanitarias, como nematodos, hongos y bacterias, que pueden afectar su rendimiento, calidad y vida útil.

» Los nematodos *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. afectan gravemente este cultivo, por lo que un manejo integrado, basado en el monitoreo temprano, las buenas prácticas agrícolas, las labores culturales y la aplicación de extractos vegetales y bioinsumos, resulta esencial para minimizar su impacto.

» Hongos como *Alternaria dauci, Fusarium solani* y *Sclerotium rolfsii* pueden causar daños foliares, pudriciones o afectar la conservación del producto. Su manejo requiere medidas preventivas como el uso de semillas sanas o tratadas, la erradicación de residuos vegetales, la rotación de cultivos, el control de la humedad y aplicaciones oportunas de bioinsumos.

» Las enfermedades bacterianas también comprometen la calidad de la zanahoria. Su control implica el uso de semillas sanas, un manejo adecuado del suelo, la prevención de heridas por daños mecánicos y la aplicación de bioinsumos. Solo cuando estas prácticas no sean suficientes y la presión de la enfermedad sea elevada, se recomienda recurrir, como última medida, al uso de productos agroquímicos registrados ante el ICA, aplicados de forma racional y siempre utilizando los elementos de protección personal requeridos.



Foto: Carolina Ortiz

Referencias

Abdel-Gaied, T., Mikhail, M., Abdel-Alim, A., Seif El-Nasr H., & Abd El-Khair, H. (2020). Field application of bio-control agents and aqueous plant extracts for controlling bacterial soft rot and enhancement yield quality of *Solanum tuberosum* L. cv. Diamond. *Bulletin of the National Research Centre*, *44*(82). https://doi.org/10.1186/s42269-020-00338-4

Acuña, R. P. (2008). *Compendio de fitopatógenos de cultivos agrícolas*. Servicio Agrícola y Ganadero de Chile. https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/4a887893-ecec-4e72-b018-5014360d5274/content

Agrios, G. N. (2005). *Fitopatología* (2.ª ed.). Limusa.

Aycock, R. (1966). *Stem rot and other diseases caused by Sclerotium rolfsii: or The status of Rolfs' fungus after 70 years*. North Carolina Agricultural Experiment Station. https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65ddf99663b8185d9ca64056

Barnett, H. L. (1962). *Ilustrated genera of imperfect fungi* (2.ª ed.). Burgess Publishing Company.

Bateman, D. F., & Beer, S. V. (1965). Simultaneous production and synergistic action of oxalic acid and polygalacturonase during pathogenesis by *Sclerotium rolfsii. Phytopathology*, *55*, 204-211, PMID: 14274523. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14274523/

Botero, M. J., Castaño, J., Saldarriaga, A., & Castro, A. (2013). *Manual práctico de bacteriología vegetal*. Universidad de Caldas.

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual zanahoria*. http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cardona-Piedrahíta, L. F., & Guzmán-Piedrahíta, O. A. (2013). Mecanismos de diseminación de nematodos fitoparásitos en plátano (*Musa acuminata* Simmonds) grupo AAB, cultivariedad dominico hartón. *Agronomía*, *21*(1), 26-36. https://catalogo.ucaldas.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=71995

Castaño, J. (1994). *Principios básicos de fitopatología* (2.ª ed.). Zamorano Academic Press.

Clarke, C. R., Kramer, C. G., Kotha, R. R., & Luthria, D. L. (2022). The phytotoxin Thaxtomin A is the primary virulence determinant for scab disease of beet, carrot, and radish caused by *Streptomyces scabiei*. *Phytopathology*, *112*(11), 2288-2295. https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-22-0072-R

Coles, R., Wicks, J. J., & Hall, B. H. (2003). *Managing Alternaria Bligth in carrots HAL final report VG0001A*. Horticultural Australia. https://ausveg.com.au/app/data/technical-insights/docs/VG00014.pdf

Cotes, A. M. (Ed.). (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigation.7402537

Crow, W. T, & Dunn, R. A. (2005). *Introduction to plant nematology*. University of Florida. https://vegetablegrafting.eu/wp-content/uploads/2021/04/TECNICA-IFAS-Introduction-to-plant-Nematology-LR.pdf

Czajkowski, R., Pérombelon, M. C. M., Jafra, S., Lojkowska, E., Potrykus, M., Van der Wolf, J. M., & Sledz, W. (2015). Detection, identification, and differentiation of *Pectobacterium* and *Dickeya* species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review. *Annals of Applied Biology*, *166*(1), 18-38. https://doi.org/10.1111/aab.12166

Decraemer, W., & Hunt, D. (2006). Taxonomy and principal genera. Structure and classification. En R. Perry, & M. Moens (Eds.), *Plant nematology* (pp. 3-32). CAB International. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845930561.0003

Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. H. (1980). *Compendium of soil fungi*. Academic Press.

El-ddin, S. N., & Haleem, R. A. (2021). Pathogenicity of *Fusarium solani* and *Ilyonectria macrodidyma* on olive seedlings roots and the efficacy of soil microbial community against infection. *Journal of Duhok University*, *24*(2), 81-94. https://doi.org/10.26682/ajuod.2021.24.2.9

Farrar, J., Pryor, B., & Davis, M. (2004). Alternaria diseases of carrot. *Plant Disease*, *88*(8), 776-784. https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.8.776

Galindo, J. R., & Saboyá, F. (2020). *Zanahoria (Daucus carota L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca - Bogotá, D. C.* Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA-2). https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87660

Garren, K. H. (1961). Control of *Sclerotium rolfsii* through cultural practices. *Phytopathology*, *51*, 120-124.

Guíñez, A. (1990). Cultivos que reducen poblaciones de nematodos parásitos. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina*, *57*, 20-24. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/ef88f0dc-9a5b-4dc2-9573-72e9fde4ee69/content

Guzmán-Piedrahíta, O. (2016). *Manual para la identificación de nematodos fitoparásitos*. Universidad de Caldas.

Guzmán, O., Castaño, J., & Villegas, B. (2012). Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agronomía*, *20*(1), 38-50. https://catalogo.ucaldas.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=74296

Halleen, F., Schroers, H. J., Groenewald, J. Z., Crous, P. W. (2004). Novel species of *Cylindrocarpon* (Neonectria) and *Campylocarpon* gen. nov. associated with black foot disease of grapevines (*Vitis* spp.). *Studies in Mycology*, *50*, 431-455. https://edepot.wur.nl/44249

Hay, F. S., & Pethybridge, S. J. (2005). Nematodes associated with carrot production in Tasmania, Australia, and the effect of *Pratylenchus crenatus* on yield and quality of Kuroda-type carrot. *Plant Disease*, *89*, 1175-1180. https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PD-89-1175

Herbario Virtual de Fitopatología de la Universidad de Buenos Aires. (2023). *Sarna común de la papa.* https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/

Hernández, Y., Mejías, R., Madriz, P., Paiva, B., & Rodulfo, P. (2022). Alternativas de control de *Pectobacterium carotovorum* Jones, causante de la pudrición blanda de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Universidad Central de Venezuela*, *45*(1), 20-31. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/20-31

Izquierdo-García, D., & Naranjo-Campos, C. (2006). *Estandarización de las condiciones de proceso de zanahoria (Daucus carota) y lechuga (Lactuca sativa) como productos mínimamente procesados refrigerados (MPR) obtenidos a partir de cultivos convencionales y orgánicos en la empresa JC Asociados*. [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/items/4fe4d0f1-2b65-4936-bce7-eb8f2453ec2a

Jiménez, R. (2018). Las enfermedades de las plantas: impactos, amenazas y control. *Boletín de la Real Academia de Córdoba*, *166*, 111-130. https://storage.e.jimdo.com/file/931f2ac9-9d2f-4857-b970-933faaf837d8/BRAC-166-07.pdf

Kwon, J. H., Lee, Y. H., Shim, H. S., & Kim, J. (2011). First report of root rot caused by *Sclerotium rolfsii* on *Daucus carota* var. sativa in Southern Korea. *Plant Disease*, *95*(12), 1585-1585. https://doi.org/10.1094/pdis-03-11-0233

Kyanko, M., Russo, M., Fernández, M., & Pose, G. (2009). Efectividad del ácido peracético sobre la reducción de la carga de esporas de mohos causantes de pudrición poscosecha de frutas y hortalizas. *Información Tecnológica*, *21*(4), 125-130. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000400016

Manzoor, M. A, Naeem, M., Asif, M., Jallani, M., Javaid, A., Danish, M., & Mehran, M. (2017). Efficacy of different plant extracts against bacterial leaf blight of carrot (*Daucus carota* L.*). World Rural Observations*, *9*(4), 6-10. https://www.sciencepub.net/rural/rural090417/02_33082wro090417_6_10.pdf

Mao, Z. S., Long, Y. J., Zhu, Y. Y., Zhu, S. S., He, X. H., & Chen, Z. J. (2014). First report of *Cylindrocarpon destructans* var. *destructans* causing black root rot of sanqi (*Panax notoginseng*) in China. *Plant Disease*, *98*(1), 162-162. https://doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1104-PDN

Mosquera-Espinosa, A. (2016). Fitonematodos asociados a *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., *Solanum quitoense* Lam. y *Daucus carota* L. en el departamento de Boyacá, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 87-97. https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.45180

Mullen, J. (2001). Southern blight, southern stem blight, white mold. *Plant Health Instructor*, *1*. https://doi.org/10.1094/PHI-I-2001-0104-01

Nagachandrabose, S. (2018). Liquid bioformulations for the management of root-knot nematode, *Meloidogyne hapla* that infects carrot. *Crop Protection*, *114*, 155-161. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.022

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria [OIRSA]. (2021). *Manual de limpieza y salud animal* (2.a ed.). https://www.oirsa.org/contenido/2020-2/2021/Manual%20Limpieza%20Desinfección%20V5.pdf

Ortiz-Paz, R. A., Ballestas, K., Macías, A., & Mesa, M. (2023). *Informe técnico de avance trimestral (octubre): Identificación de los principales patógenos asociados a cultivos de zanahoria (Daucus carota* L.*) de la subregión Oriente de Antioquia*. [Documento interno]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Ortiz, R. A., Guzmán, Ó. A., & Leguizamón, J. (2015). Manejo integrado del nematodo del nudo radical [*Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood y *Meloidogyne mayaguensis* Rammh & Hirschmann] en almácigos de guayabo (*Psidium guajava* Linneo), variedad Palmira ICA-1. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas*, *19*(2), 104-138. https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.2.7

Oulghazi, S., Sarfraz, S., Zaczek-Moczydłowska, M., Khayi, S., Ed-Dra, A., Lekbach, Y. Campbell, K., Novungayo-Moleleki, L., O'Hanlon, R., & Faure, D. (2021). *Pectobacterium brasiliense*: genomics, host range and disease management. *Microorganisms*, *9*(1), 106. https://doi.org/10.3390/microorganisms9010106

Perry, R., Moens, M., & Starr, J. (Eds.). (2009). *Root knot nematodes*. CAB International.

Piccolo, R. (2007). *Enfermedades de la zanahoria. Manual de producción de la zanahoria*. Instituto Nacional de Tecnología (INTA).

Probst, C., Jones, E. E., Ridgway, H. J., & Jaspers, M. V. (2012). *Cylindrocarpon* black foot in nurseries - two factors that can increase infection. *Australasian Plant Pathology*, *41*, 157-163. https://link.springer.com/article/10.1007/s13313-011-0103-5

Punja, Z. K. (1985). The Biology, Ecology, and Control of *Sclerotium rolfsii*. *Annual Review of Phyitopathology*, *23*, 97-127. https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.000525

Remesal, G. E. (2011). Diversidad genética y patogénica de *Sclerotium rolfsii* Sacc. como factor determinante de epidemias de Podredumbres de raíces. [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/6326

Riley, M. B., Williamson, M. R., & Maloy, O. (2002). Plant disease diagnosis. *The Plant Health Instructor*. https://doi.org/10.1094/PHI-I-2002-1021-01

Robledo, J., Aguirre, C. A., & Castaño- Zapata, J. (2019). *Guía ilustrada de enfermedades en postcosecha de frutas y verduras y sus agentes causantes en Colombia*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. https://repositorio.accefyn.org.co/entities/publication/680c845a-23ad-4dd3-8926-e5953fd2f37e

Sabhikhi1, H. S., & Hunjan, M. S. (2021). Management of potato scab (*Streptomyces scabies*) by seed treatment with chemical and biocontrol agents. *Plant Disease Research*, *36*(2), 188-195. https://doi.org/10.5958/2249-8788.2021.00030.5

Souza, R., & Pala, P. R. (2022). Control Biológico de *Meloidogyne* spp. con hongos nematófagos en el cultivo de zanahoria. *Research, Society and Development*, *11*(12). https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34301

Suasnabar, C., & Torres, G. (2022). *Fitosanidad del cultivo de zanahoria*. Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/9f0e0855-07cc-4ba9-9a47-e2549f8abeec/content

Teklu, M. G., Meressa, B. H., Radtke, E., Been, T. H., & Hallmann, J. (2016). Damage thresholds and population dynamics of *Pratylenchus penetrans* on carrot (*Daucus carota* L. cv. Nerac) at three different seed densities. *European Journal of Plant Pathology*, *146*, 117-127. https://doi.org/10.1007/s10658-016-0898-6

Töfoli, J. G., Domínguez, R. J., & Ferrari, J. T. (2015). *Alternaria* spp. en oleráceas: síntomas, etiología, manejo y fungicidas. *Biológico, 77*(1), 21-34. https://biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v77_1/tofoli1.pdf

Van Gijsegem, F., Van der Wolf, J., & Toth, I. K. (Eds.). (2021). *Plant Diseases Caused by Dickeya and Pectobacterium Species*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61459-1

Viric, H., Jurković, A., & Lemić, D. (2022). Integrated pest management approaches for two major carrot pests - the carrot root fly and carrot cyst nematode. *Journal of Central European Agriculture*, *23*(1), 69-81. https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3380

Watson A., Pung, H., & Hall, B. (2017). Managing leaf diseases of carrots with traditional and alternative fungicides including baseline sensitivity studies. C*rop Protection*, *93*, 52-59 http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.017





Título

Diversidad de trabajadores de la zanahoria

Técnica

Macrofotografía con agrupamiento de 30 fotos. Colores propios del tejido del insecto.

Autoría

Alejandro Moscoso Rojas
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Insecto benéfico del orden coleóptera, familia Staphylinidae, que actúan como insectos controladores biológicos del cultivo. Se observa la cabeza que es la estructura oscura, casi negra, que domina el centro de la imagen. Se observan numerosas setas (pelos) erectas, distribuidas de forma más o menos ordenada. Los ojos compuestos son visibles a ambos lados de la cabeza, como estructuras ovaladas con textura reticulada (omatidios), de color grisáceo plateado.

Capítulo X

Insectos plaga asociados al cultivo de zanahoria

José Antonio Rubiano-Rodríguez
Carolina Ortiz Muñoz
Rosa Helen Mira Herrera

Introducción

En Colombia son pocos los estudios referentes a las plagas que afectan el cultivo de zanahoria, a diferencia de los reportes de otros países productores. Por ejemplo, la mosca de la zanahoria (*Psila rosae* Fabricius) es quizá la plaga de mayor importancia, principalmente en los países de climas templados (Blatt et al., 2017). Aparentemente, no se encuentra en los países tropicales y en América ha sido reportada únicamente en Chile (Poole & Flores, 2009). Existen otros insectos que, sin llegar a ser reportados como plagas de importancia económica, podrían definirse como plagas potenciales de la zanahoria, tales como trips (*Frankliniella* sp.), áfidos (*Myzus* sp. y *Aphis* sp.), el gusano blanco de la zanahoria (*Listroderes* sp.) y el gusano alambre (*Agriotes obscurus*) (Infoagro, 2023; Lardizábal, 2013; Dughetti & Lanati, 2013). En Colombia existen reportes para áfidos (*Myzus persicae* Sulzer), trips (*Thrips palmi*) y babosas (Castellanos & Saboyá, 2018). En este capítulo se abordan las especies de insectos plaga que se encontraron en fincas de productores en el Oriente antioqueño y en parcelas experimentales establecidas en el C. I. La Selva de AGROSAVIA.

¿Qué es una plaga?

Existen varias definiciones del concepto de plaga. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, s. f.), es cualquier organismo vivo vegetal, animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales. En términos agrícolas, una plaga es una población de artrópodos fitófagos, especialmente insectos, cuya densidad poblacional puede causar un daño o una pérdida económica a los productores (Jiménez, 2009). Los artrópodos plaga pueden causar daño de modo diferente, alimentándose de hojas, raíces, frutos, tallos y corteza, succionando la savia, o taladrando y abriendo galerías en los troncos, ramas, frutos, hojas y raíces (Arguedas-Gamboa, 2006).

Tipos de plagas

Según el daño, se puede hablar de plagas primarias, aquellas que tienen la capacidad de provocar daños por sí mismas, atacando tejidos sanos; plagas secundarias, que aprovechan el daño provocado en los tejidos por las plagas primarias para alimentarse; plagas directas, que afectan la parte comerciable de la planta, y plagas indirectas, que causan daño en cualquier otra parte de la planta diferente a la que se va a comercializar.

De acuerdo con la frecuencia, existen plagas clave, que se presentan en cada ciclo de cultivo; plagas ocasionales, que aparecen con determinada frecuencia y causan daño solo en cierta época o en determinadas localidades; plagas esporádicas, que aparecen con una menor frecuencia que las ocasionales y no siempre causan daño, y plagas potenciales, cuya importancia depende de su densidad poblacional (Jiménez, 2009).

Métodos de colecta de insectos

En la colecta de insectos se puede utilizar una amplia variedad de técnicas, teniendo en cuenta la gran cantidad, diversidad y hábitos de vida de estos organismos. La mayoría de los métodos dependen del tipo de estudio y de sus objetivos. A pesar de ello, pueden dividirse, de manera muy general, en técnicas de colecta directas (activas) e indirectas (pasivas) (Andrade et al., 2013). La colecta directa consiste en la búsqueda y recolección activa de organismos en su hábitat natural, que puede ser manual o emplear diferentes herramientas e instrumentos, los cuales varían según el sustrato o tipo de hábitat; suelen usarse elementos como la red entomológica, aspiradores, bolsas plásticas, cámaras letales y frascos, entre otros. Entre las técnicas más utilizadas se encuentra la red entomológica o jama, que es efectiva para la captura de insectos que vuelan rápido, como abejas, mariposas, moscas o libélulas. Otra de las más comunes y tradicionales es la colecta manual, con ayuda de pinceles o pinzas, a través de los cuales se pueden colectar más fácilmente los insectos poco móviles. Por otro lado, la colecta indirecta consiste básicamente en capturar organismos usando algún tipo de trampa. Por lo general, se utilizan trampas con atrayentes e incluso sin estos, como trampas adhesivas, de color, de luz, de intercepción, con feromonas y Malaise, entre otras (Andrade et al., 2013).

Insectos plaga

Lepidópteros

Las larvas de los lepidópteros son fitófagas, hábito que las convierte en plagas de diferentes cultivos. Se destacan las larvas de la familia Noctuidae, siendo *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Spodoptera* spp., *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), *Agrotis bilitura* (Guenée) las más importantes, dado que realizan un corte en las plántulas para alimentarse, lo que afecta el cultivo cuando se presentan altas poblaciones, y también se pueden observar consumiendo el área foliar (Alves et al., 2018). Estas larvas son de hábito nocturno y generalmente son problemáticas durante las primeras semanas del cultivo, pero no tanto en las etapas posteriores (figura 10.1a). Son insectos polífagos que afectan diversos cultivos como hortalizas, gramíneas, solanáceas y cucurbitáceas, entre otros (Sánchez & Vergara, 2014).

Los adultos de esta familia (figura 10.1b) son polillas de coloración gris o marrón oscuro, con envergaduras de 45 a 50 mm, las alas anteriores suelen ser de color gris oscuro con manchas casi negras, y las posteriores son blancas-perladas con márgenes grises oscuros y flecos en el borde (Quimbayo et al., 2010). *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) es una especie que actúa más como trozador, cuyo ciclo de vida comprende los estadios de huevo (4 a 6 días), el estado larval (20 a 25 días), pupa (8 a 12 días) y adulto (6 a 8 días) (Delgado, 2019). Entretanto, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (figuras 10.1c y 10.1d) actúa como trozador inicialmente y como barrenador cuando la raíz está formada, cuyo ciclo de vida puede variar dependiendo de factores como la temperatura; por ejemplo, en condiciones cálidas (26-32 °C), el ciclo varía de 20 a 30 días, y en temperaturas más bajas (18-22 °C), se sitúa entre 40 y 80 días (Du Plessis et al., 2020).

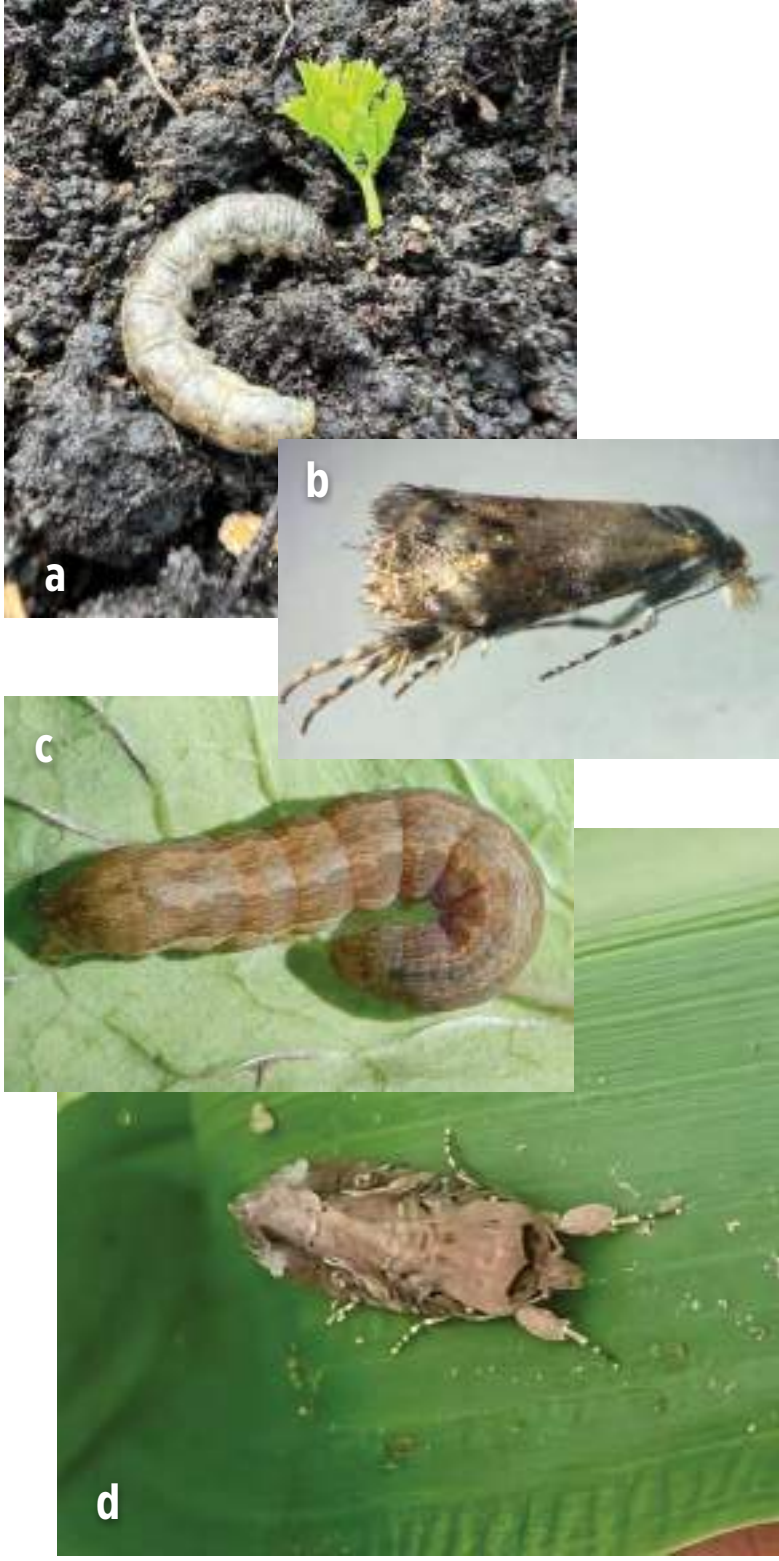


Figura 10.1. Lepidópteros de la familia Noctuidae. a. Larva de *Agrotis ipsilon*; b. Adulto de *Agrotis ipsilon*; c. Larva de *Spodoptera* sp.; d. Adulto de *Spodoptera* sp.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Descripción del daño

Los daños son muy importantes en plantas jóvenes con pocos días de germinadas, debido a que las larvas cortan los tallos al nivel del suelo (figura 10.2a). Por lo general, el ataque ocurre en horas de la noche y al otro día se puede observar a la larva escarbando en la planta cortada (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2010); más adelante, las plantas atacadas se marchitan y finalmente mueren (Tamayo & Londoño, 2001). Posteriormente, cuando la raíz de la zanahoria está formada, las larvas ocasionan una especie de galerías o daños tipo barrenador (figuras 10.2b y 10.2c). Al parecer, este tipo de daño es causado por *S. frugiperda*. Sin embargo, es importante anotar que este tipo de daño no ha sido reportado en el cultivo de zanahoria en Colombia.



Figura 10.2. Tipos de daño que puede causar *Spodoptera* spp. a. Trozado de plántulas; b. y c. Perforación de raíces.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Manejo

La implementación de buenas prácticas agronómicas, como la preparación adecuada del suelo, el control de arvenses (que pueden servir de hospederos alternos) y un riego permanente, reduce la incidencia de estas plagas (IICA, 2010). Como control físico se puede hacer recolección de las pupas y colocar trampas para la captura de adultos. En cuanto a controladores biológicos, se pueden utilizar los hongos *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff), que, aplicados al suelo, contribuyen al control de las poblaciones (Arias et al., 2007).

De igual forma, se puede recomendar el uso de algunos enemigos naturales como *Trichogramma pretiosum* (Riley) y *Trichogramma atopovirilia* (Oatman y Platner), *Calosoma alternans* (Weber) y *Zelus* spp., y avispas del género *Polistes* (Enciclopedia Colaborativa Cubana en la Red [EcuRed], 2011). Se pueden aplicar bioinsecticidas como *Bacillus thuringiensis*, spinosad y productos a base de neem, los cuales son compatibles con producción limpia (Larraín et al., 2012). Solo se deben usar insecticidas de síntesis química si el daño es extendido y supera el umbral del 5% de plantas afectadas por metro lineal. Para el control químico se utilizan cebos tóxicos en la base de la planta trozada, y otros ingredientes activos como Clorpirifos y cipermetrina (Sierra-Baquero et al., 2023)

Trips o piojillo

Los trips son una de las plagas más polífagas que afectan a las hortalizas, y, además de atacar a la zanahoria, se registran en cultivos de cebolla, col, fríjol, calabaza, melón, nabo, remolacha, orégano, papa, perejil, tomate, cucurbitáceas, gramíneas, leguminosas, solanáceas, especies ornamentales y árboles frutales. En zanahoria se ha reportado a *Thrips palmi* (Karny) y *Thrips tabaci* (Lindeman) (González et al., 2012). Son insectos muy pequeños de color amarillo y marrón, generalmente, y adquieren importancia porque las ninfas (figura 10.3a) y los adultos se alimentan de los tejidos jóvenes de las plantas (Córdova, 2015) (figuras 10.3b y 10.3c). Su ciclo biológico es de aproximadamente 15 días, las hembras adultas viven entre 15 y 20 días, el periodo larval completo es de tan solo 5 días y el periodo pupal se completa entre 5 y 7 días (Bellés, 2013). Se localizan principalmente en los brotes y hojas jóvenes, tanto en el haz como en el envés de las hojas.

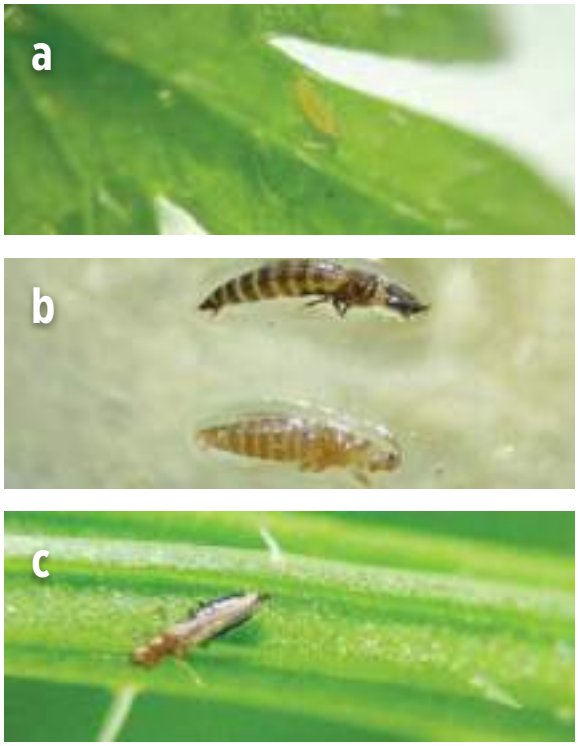


Figura 10.3. Trips presentes en el cultivo de zanahoria. a. Estado inmaduro; b. Adultos de diferentes especies; c. Adulto de *Thrips* sp.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Descripción del daño

Los trips se alimentan de la savia de las plantas al raspar el tejido principalmente de los brotes y hojas jóvenes, lo que origina lesiones de coloración blanquecino-plateada característica, la planta toma una tonalidad cenicienta y si el ataque es severo se produce deformación. Este daño lo hace principalmente en estado larval y adulto (Patiño et al., 2019). Además del daño directo que ocasiona al alimentarse genera un daño indirecto, que es la transmisión de virus mediante su saliva al momento de raspar los tejidos para alimentarse.

Manejo

Se debe iniciar con una adecuada preparación del terreno, para destruir o exponer estadios inmaduros como prepupas y pupas, pues en esta parte de su ciclo permanecen en el suelo (Arévalo et al., 2009). El monitoreo se hace mediante el uso de trampas cromáticas, especialmente aquellas de color azul, blanco o amarillo. Esto permite evaluar la dinámica y decidir el momento de realizar el control. Se aconsejan buenas prácticas agronómicas como control de arvenses, riegos oportunos y adecuada fertilización nitrogenada. También se puede hacer uso de controladores biológicos con *Beauveria bassiana* o depredadores como crisopas (*Chrysoperla* spp.), coccinélidos (*Coleomegilla maculata* [De Geer]) y chinches (*Orius* spp. y *Geocoris* spp.) (Fok et al., 2014). A nivel foliar, se deben realizar aplicaciones de extractos de ajo-ají o extractos naturales como aceite de neem, *Stemona japonica* (Blume) y té, para el control de los adultos. Como última opción está el control químico con ingredientes activos como Spinetoram, Spinosad, imidacloprid y abamectina, siguiendo recomendaciones de un profesional y dosis de la etiqueta del producto (Nault & Shelton, s. f.).

Áfidos o pulgones

Son insectos pequeños con coloración diversa entre verde, amarilla y negra (Delfino et al., 2007). Son plagas cosmopolitas y polífagas que afectan cultivos como hortalizas, frutales, forestales, gramíneas, entre otros (Andorno & López, 2014). En el cultivo de zanahoria se suele encontrar a *Myzus persicae* y *Aphis* sp. (Castellanos & Saboyá, 2018). La reproducción de los áfidos en países del trópico como Colombia es asexual mediante partenogénesis y países templados alternan la reproducción sexual y asexual (Blackman & Eastop, 2007); su forma alada (hembras) es la encargada de la dispersión hacia nuevos hospederos. El ciclo de vida de los áfidos es de 15 a 17 días (Duarte et al., 2011).

Descripción del daño

Estos insectos se alimentan de la savia de las hojas jóvenes, por lo que toman un aspecto amarillento y se marchitan. Si los ataques son severos, la planta puede morir. Los áfidos son más activos en las épocas secas y en los órganos tiernos de la planta (Summers et al., 2005); forman colonias de ninfas, adultos ápteros (figura 10.4a) y alados (figura 10.4b) en el órgano atacado, y se localizan principalmente en las partes tiernas de la planta (brotes apicales de las ramas y hojas nuevas) (figura 10.4c). Al succionar la savia de las plantas, producen una secreción azucarada que puede asociarse con la fumagina y también atraer hormigas. Además, se caracte-

rizan por ser transmisores de enfermedades virales en la zanahoria, como el virus del mosaico de la zanahoria (*carrot mosaic virus*), el virus de la hoja roja de la zanahoria (*carrot red leaf virus*), el virus latente de la zanahoria (*carrot latent virus*), el virus del moteado de la zanahoria (*carrot mottle virus*), el virus de la hoja fina de la zanahoria (*carrot thin leaf virus*) y el virus de la hoja amarilla de la zanahoria (*carrot yellow leaf virus*) (Font et al., 1999).

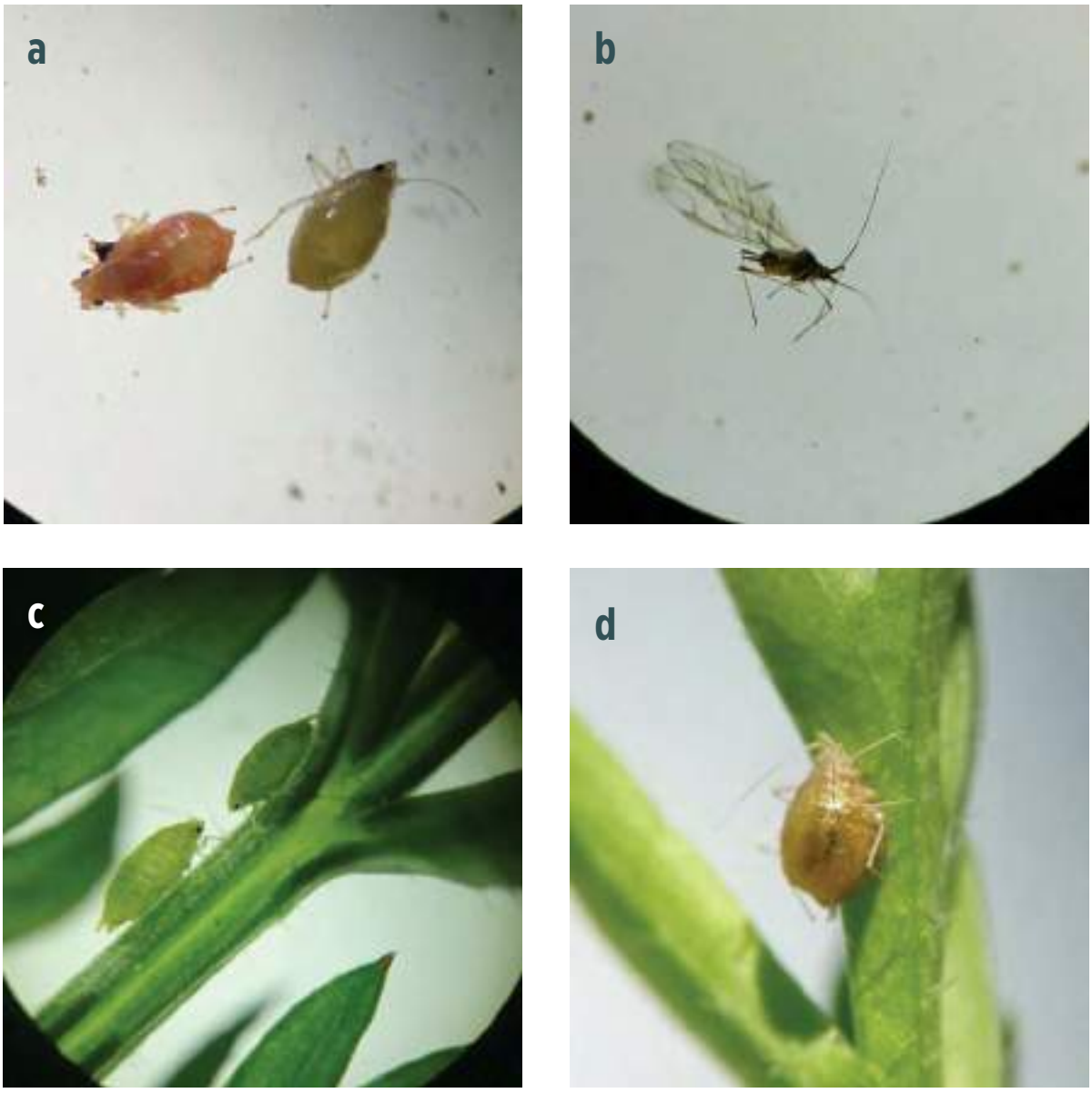


Figura 10.4. *Myzus persicae* en zanahoria. a. Adultos ápteros; b. Adulto alado; c. Colonia en hojas de zanahoria; d. Adulto parasitado.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Manejo

Para el manejo y control de áfidos se deben implementar buenas prácticas agrícolas, riegos oportunos y adecuados, evitar el exceso de fertilización nitrogenada, distancia de siembra adecuada y control de plantas arvenses que sirven como hospederos alternos. Naturalmente, son de gran utilidad los géneros de avispas parasitoides como *Aphidius* sp. y *Aphelinus* sp. (figura 10.4d); depredadores de la familia Coccinellidae, como *Cycloneda sanguinea* (Limbifer) y *Coleomegilla maculata*, y crisopas *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Rodríguez-Vélez et al., 2019). También existen hongos entomopatógenos como *Isaria fumosorosea* (Wize), *B. bassiana* y *M. anisopliae*, que ejercen un buen control de áfidos cuando se aplican de manera oportuna.

Para el control químico se pueden realizar aplicaciones de insecticidas a base de los siguientes ingredientes activos: acetamiprid, imidacloprid, Lambda-cyalotrina, tiametoxam y tiacloprid (Larraín et al., 2012).

Crisomélidos

Los crisomélidos son pequeños cucarrones que presentan diversidad de tamaño, forma y colores, son insectos fitófagos muy comunes en cultivos de importancia agrícola como hortalizas, gramíneas, solanáceas y cucurbitáceas, entre otros (Camero et al., 2023). En zanahoria se han registrado *Systena* sp. (figura 10.5a) *Diabrotica balteata* (LeConte) (figura 10.5b), *Chrysolchus* sp. y *Altica* sp. (figura 10.5c), entre otras, todas atacando el follaje de la zanahoria (Morales-Payán, 2008).

Descripción del daño

Los crisomélidos son considerados defoliadores que en su estado adulto hacen perforaciones en las hojas, lo que conlleva una reducción considerable de la capacidad fotosintética de la planta, mientras que en estado larval consumen las raíces de las plantas (Corrales et al., 2017).

Manejo

Las buenas prácticas agrícolas siempre van a contribuir al manejo de los insectos plaga. En este caso, con la preparación del suelo se exponen los estados inmaduros de los crisomélidos como larvas y pupas, así como el control de las arvenses que sirven de hospederos alternos (Vanegas, 2017). Los adultos son atacados naturalmente por chinches depredadores, especialmente de la familia Reduviidae; como control biológico se pueden realizar aplicaciones de hongos entomopatógenos como *B. bassiana* y *M. anisopliae*, que se encuentran comercialmente disponibles en el mercado (De Oro et al., 2021). Si las poblaciones aumentan y se observa un aumento del daño, deben aplicarse insecticidas químicos de acción sistémica, que por su modo de acción realizan un control más prolongado del insecto cuando se alimenta (Mejía, 2018).



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas, Paola Andrea Hormaza Martínez y Alejandro Moscoso Rojas



Figura 10.5. Diferentes crisomélidos sobre follaje de zanahoria. a. *Systena* sp.; b. *Diabrotica* sp.; c. *Epitrix* sp.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Gusano alambre o trozador

Se les llama "gusanos alambre" a las larvas de *Agriotes* spp. de la familia Elateridae, coleópteros (figura 10.6) considerados plagas polífagas, que se encuentran en el suelo alimentándose de raíces y tubérculos (La Forgia & Verheggen, 2019). Estas son de color amarillento anaranjado, cilíndricas, alargadas, comprimidas y segmentadas, con tres pares de patas verdaderas y poderosas mandíbulas, de hábitos nocturnos y durante el día se ocultan debajo del suelo. Los adultos son cucarrones de consistencia dura, elongados y algo aplanados (Dughetti, & Lanati, 2013).

Descripción del daño

El daño que ocasionan las larvas de *Agriotes* spp. se observa en las partes de la planta que tienen crecimiento subterráneo. Los principales efectos de la alimentación de la larva del gusano de alambre se observan en el cuello y los órganos subterráneos, con pequeños agujeros y túneles estrechos (Barsics et al., 2013).

Manejo

El manejo de las larvas del gusano alambre se debe hacer desde antes de sembrar, mediante una buena labranza del suelo para exponer tanto a las larvas como a las pupas. Como métodos de control físico se utilizan trampas con cebo para captura de larvas, así como drenajes profundos. Las aplicaciones a suelo de cepas de *B. bassiana* y *M. anisopliae* presentan excelentes controles, permitiendo su establecimiento en el suelo (Barsics et al., 2013). En el caso de muestreos donde se registren más de 30 larvas por metro cuadrado, se deben tratar con insecticidas de síntesis química antes de la siembra.



Figura 10.6. Larva de gusano alambre (*Agriotes* spp.).

Foto: Carolina Ortiz

Babosas

Las babosas son moluscos, de cuerpo blando, de consistencia mucosa, no tienen patas y se mueven arrastrándose por el suelo y dejando un rastro de baba sobre la superficie por donde pasan (figura 10.7a). Son consideradas plagas de importancia agrícola y pueden habitar en un amplio rango de temperatura, teniendo gran preferencia por climas templados y humedades relativas altas (Villamizar & Jaramillo, 2017). En zanahoria se han reportado *Deroceras* sp. y *Arion* sp. (Castellanos et al., 2020).



Figura 10.7. Babosas observadas en zanahoria. a. Espécimen de babosa en suelo; b. Especie de babosa asociada a la raíz; c. Huevos de babosa; d. Babosa alimentándose de una raíz rajada.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Descripción del daño

Durante el día los adultos e inmaduros buscan lugares frescos para descansar, como hojarasca, restos de plantas, bajo piedras, bases de muros, etc., y, por la noche salen en busca de alimento (figura 10.7b), consumiendo las hojas y brotes tiernos. En zanahoria, aparentemente, también aprovechan el rajado de la raíz por daños físicos o por desorden fisiológico para alimentarse (figuras 10.7c y 10.7d).

Manejo

Una buena preparación del terreno al efectuar las camas expone los huevos y los adultos, consiguiendo que estos se deshidraten fácilmente. Se recomienda instalar trampas (como tejas, tablas y costales impregnados con cerveza), las cuales deben ser inspeccionadas todos los días a primeras horas del día para colectar y eliminar los especímenes que se encuentren. Entretanto, el control químico consiste en la aplicación de cebos tóxicos a base de carbamatos y metaldehídos, así como de molusquicidas granulados.

Entomofauna benéfica

En este grupo se encuentran los artrópodos que actúan como agentes controladores o enemigos naturales de los artrópodos insectos fitófagos; de acuerdo con el tipo de interacción, pueden clasificarse como:

Depredadores

Un depredador se define como un insecto que ataca, mata y consume varios o muchos otros individuos durante su ciclo de vida. Estos individuos juegan un papel importante en el equilibrio de poblaciones de artrópodos en los agroecosistemas (Kondo et al., 2018). Algunas de las familias de depredadores que se encontraron en el cultivo de zanahoria son: Coccinellidae, Staphylinidae, Syrphidae, Reduviidae y Vespidae.

Coccinellidae: Coleoptera

Estos insectos son llamados comúnmente como mariquitas (figuras 10.8a a 10.8e) y son enemigos naturales de los áfidos como *M. persicae, Aphis gossypii* (Glover)*, A. craccivora* (Koch), ya que pueden consumir hasta 200 pulgones por día. Otros insectos fitófagos devorados por los coccinélidos son: Psílidos (Psyllidae), moscas blancas (Aleyrodidae), cochinillas (Pseudococcidae), chinches de encaje (Tingidae), saltahojas (Cicadellidae), saltamontes (Fulgoroidea), arañas rojas (Acari) y larvas de primeros instares de mariposas (Lepidoptera) (Lara et al., 2022).



Foto: Carolina Ortiz



Figura 10.8. Coccinélidos observados en zanahoria. a. *Coleomegilla* sp.; b. *Cycloneda* sp.; c. *Hippodamia* sp.; d. *Harmonia* sp.; e. Larva de coccinélido.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Syrphidae: Diptera

Los sírfidos o moscas de las flores son insectos de la subfamilia Syrphinae (figura 10.9a), cuyas larvas contribuyen al control biológico de plagas, pasando a estado pupal (figura 10.9b), y cuyos adultos actúan como polinizadores (figura 10.9c). Son depredadores de diversos grupos de artrópodos, entre los que destacan áfidos, escamas, trips y larvas de mariposas. Ejercen tal voracidad sobre sus presas, que son considerados importantes agentes de control biológico (Díaz et al., 2020).

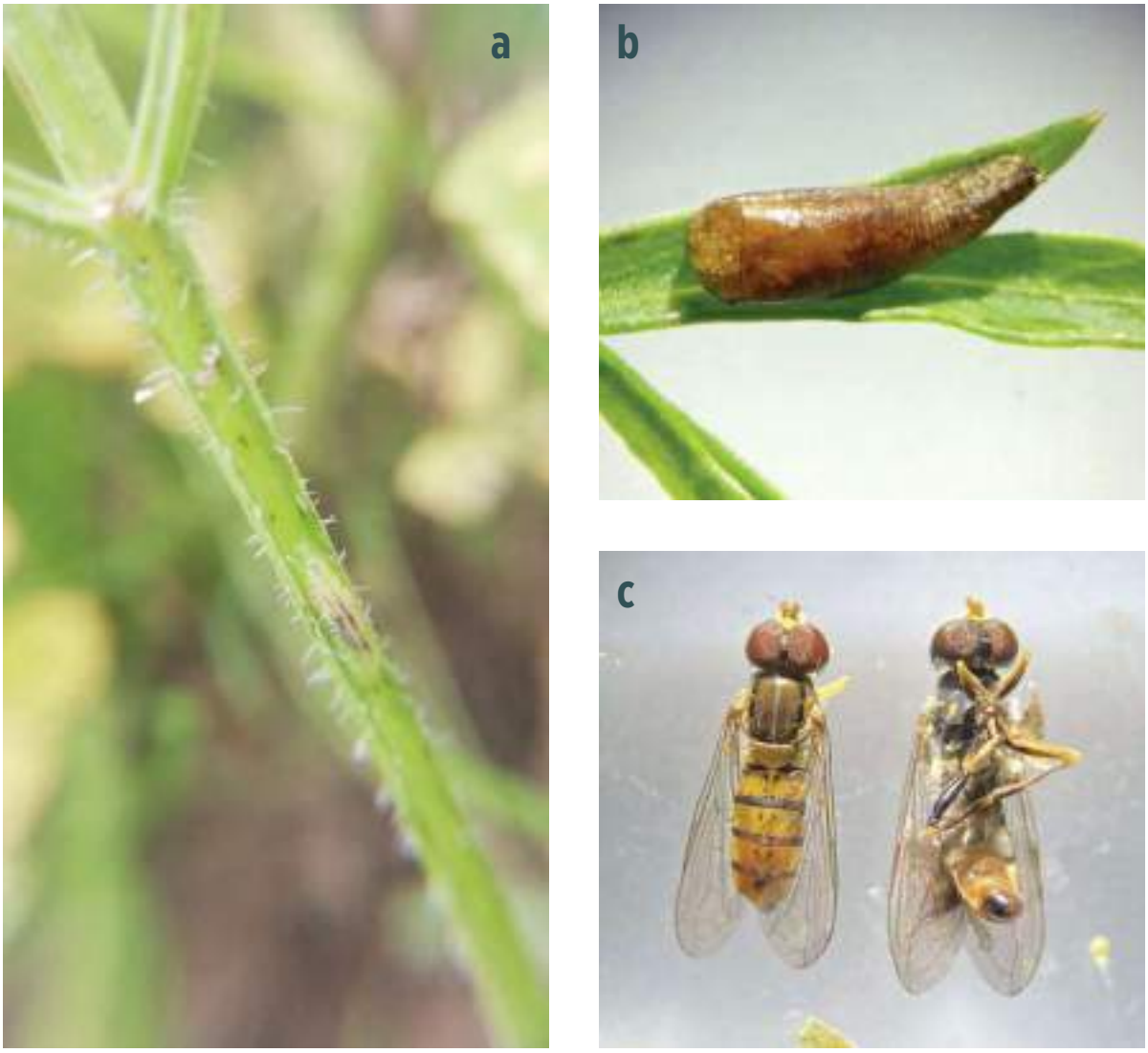


Figura 10.9. Sírfidos presentes en la zanahoria. a. Larva; b. Pupa; c. Adultos.

Fotos: Carolina Ortiz y José A. Rubiano

Reduviidae: Hemiptera

Los chinches redúvidos (figura 10.10) son depredadores generalistas de varias especies de insectos fitófagos como áfidos, cicadélidos y larvas de lepidópteros de hábito diurno. Por ello, estos chinches pueden ser considerados dentro de un programa de control biológico conservativo (Ordaz-Silva et al., 2014).



Figura 10.10. Adulto de *Zelus* sp. familia Reduviidae.

Foto: José A. Rubiano

Vespidae: Hymenoptera

Los géneros *Polybia* spp. (avispas angelitas) y *Polistes* spp. (avispas carniceras o de papel) (figura 10.11) se caracterizan por ser avispas sociales, es decir que están organizadas jerárquicamente. Estas avispas son activos depredadores de larvas de lepidópteros (Somavilla & Carpenter, 2023).



Figura 10.11. Adulto de *Polistes* sp.

Foto: José A. Rubiano

Parasitoides

Chalcididae: Hymenoptera

Son aquellos insectos que viven a expensas de otro organismo, al cual se le denomina hospedero o huésped, ocasionándole la muerte. Quien realiza el control es la larva, la cual eclosiona de un huevo depositado por la hembra, ya sea en el interior del hospedero (endoparasitoide) o sobre el cuerpo de este (ectoparasitoide). Las larvas matan al hospedero antes de alcanzar el estado adulto. Muchos parasitoides son específicos, es decir, eligen una o pocas especies muy relacionadas entre sí como hospederos (Löhr et al., 2018).

Esta familia de himenópteros está distribuida en todo el mundo y actúan como reguladores de poblaciones de insectos fitófagos. La característica distintiva para identificar este parasitoide es el ensanchamiento del fémur del tercer par de patas, que a su vez presenta una línea de espinas o dientes a lo largo del margen inferior (figura 10.12). La familia Chalcididae suele poseer especies de parasitoides de larvas o pupas de otros insectos, principalmente lepidópteros y dípteros, y suelen clasificarse como endoparasitoides específicos (Kissayi et al., 2019).



Figura 10.12. Adulto de la familia Chalcididae.

Foto: Carolina Ortiz

Braconidae: Hymenoptera

Los Braconidae forman una familia con numerosos ejemplos de especies parasitoides (figura 10.13). La hembra puede poseer un ovipositor largo o corto. Son parasitoides de huevos o larvas de lepidópteros, dípteros y coleópteros, así como de inmaduros de pulgones y chinches. Los adultos de la familia se alimentan de néctar y flores (Sarmiento, 2012).



Figura 10.13. Adulto de la familia Braconidae.

Foto: José A. Rubiano

Tachinidae: Diptera

Tachinidae constituye la principal familia de parasitoides del orden Diptera (figura 10.14). Es considerada de gran utilidad en programas de control biológico, porque la mayoría de sus especies son exclusivamente parasitoides primarios de otros insectos, actúan como endoparasitoides de especímenes de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera, Orthoptera y Diptera, de importancia agrícola o forestal (Ramírez-Salinas et al., 2006).



Figura 10.14. Taquínido adulto posado sobre planta de zanahoria.

Foto: José A. Rubiano



Para no olvidar...

» La zanahoria (*Daucus caraota* L.) representa para los pequeños productores de la región del Oriente antioqueño un renglón importante en su desarrollo económico y generación de empleo. Por ello, es de vital importancia cultivarla de la mejor manera posible, lo que incluye un buen manejo de las plagas, partiendo de su reconocimiento, ya que varios de los productores, por desconocimiento de estos insectos plaga, realizan un manejo de forma inadecuada, incurriendo en altos costos y afectando la rentabilidad del cultivo.

» Este documento se convierte en una herramienta práctica, ilustrada y actualizada para el conocer los insectos plaga comúnmente encontrados en la zona del Oriente antioqueño, principalmente en los municipios de El Santuario y Marinilla, tales como crisomélidos, áfidos, trips, trozadores y barrenadores. Se incluyen también las babosas que, aunque no son artrópodos, sí pueden llegar a ser una plaga en el cultivo. Además, contiene sugerencias de umbrales de acción, diferentes métodos de control como cultural, biológico y químico. Adicionalmente, se presentan algunos insectos benéficos que ejercen regulación natural de poblaciones de insectos plagas.

Conclusiones y perspectivas de los autores

- En el Oriente antioqueño se encontró que los principales insectos fitófagos para el cultivo de zanahoria son los trips, que raspan y chupan la savia; los lepidópteros, que pueden actuar como trozadores y/o barrenadores; los coleópteros del género *Epitrix,* que son defoliadores, y los ácaros, que succionan la savia y pueden transmitir virus.

- Moluscos como las babosas se encuentran generalmente en raíces rajadas. Sin embargo, a pesar de la presencia de estos organismos y de acuerdo con los niveles poblacionales reportados, no se pueden considerar plagas potenciales, según la definición mencionada.

- Posiblemente, los únicos que se deben analizar y evaluar son los lepidópteros que actúan como barrenadores, pues estos se convierten en plaga primaria al afectar el producto que se comercializa.

- Se destaca la presencia de insectos depredadores como chinches, avispas, coleópteros y dípteros, así como algunos microhimenópteros que actúan como parasitoides.

Referencias

Alves, L., De Carvalho, W., Teixeira, C., De Sousa Almeida, A., Ribeiro da Cunha, P., & Gonçalves de Jesus, F. (2018). Resistance of common vean (*Phaseolus vulgaris) cultivars to Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Revista Colombiana de Entomología, 44(1), 12-18.* https://www.doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6531

Andorno, A. V., & López, S. N. (2014). Biological control of Myzus persicae (Hemiptera: Aphididae) through banker plant system in protected crops. *Biological Control, 78, 9-14.* https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.07.003

Andrade, M. G., Henao Bañol, E. R., & Triviño, P. (2013). Técnicas y procesamiento para la recolección, preservación y montaje de mariposas en estudios de biodiversidad y conservación (Lepidoptera: Hesperoidea - Papilionoidea). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, 37(144), 311-325.* https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/12/12

Arévalo, H. A, Fraulo, A. B., Liburd, O. E. (2009). Management of flower thrips in blueberries in Florida. *Florida Entomologist, 92(1), 14-17.* https://doi.org/10.1653/024.092.0103

Arguedas-Gamboa, M. (2006). Clasificación de tipos de daños producidos por insectos forestales. Primera parte. Kurú: *Revista Forestal, 3(8), 77-82.* https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/518

Arias, J. H., Jaramillo, M., & Rengifo, T. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de fríjol voluble. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).* http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf

Barsics, F., Haubruge E., & Verheggen F. J. (2013). Wireworms' management: an overview of the existing methods, with particular regards to *Agriotes* spp. (Coleoptera: Elateridae). *Insects, 4, 117-152.* https://doi.org/10.3390/insects4010117

Bellés, X. (2013). *La metamorfosis de los insectos. La Catarata.*

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2007). Taxonomic issues. En H. F. van Emden & R. Harrington, Aphids as Crop Pests (pp. 1-29). CABI. https://doi.org/10.1079/9780851998190.0001

Blatt, S., Ryan, A., Adams, S., Kim Hiltz, K., & Driscoll, J. (2017). Evaluation of GF-120™ (Naturalyte) for control of Psila rosae in carrot in Prince Edward Island. *Journal of the Acadian Entomological Society, 13, 15-20.* https://www.acadianes.ca/journal/papers/blatt_16-8.pdf

Camero, E., Silva, G., & García, S. (2023). *Habitantes de seis patas: guía ilustrada de la entomofauna de la Ciudad Universitaria. Universidad Nacional de Colombia.* https://repositorio.unal.edu.co/items/db35a82a-dd9a-49b0-9fd8-83eceedc9d33

Castellanos, C., & Saboya, J. (2018). *Introducción de materiales de zanahoria tipo Nantes para el mercado gourmet de Bogotá.*

Castellanos, L., Serrano, J., & Berra, W. (2020). Preferencia por morfoespecies de babosas en diferentes cultivos y ambientes del municipio Pamplona, Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 1, 1-10. https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/3996/2436

Córdova, P. M. (2015). *Fluctuación poblacional de los insectos plaga en el cultivo de espárrago 'Asparagus officinalis' en Chincha [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].* https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b8e6bf09-810a-4b20-9f54-87158b527695

Corrales, J., González, A., Rodríguez, J. A., Vargas, A., & Villalobos, K. (2017). *Principales plagas de artrópodos en el cultivo de frijol en Costa Rica: guía ilustrada de artrópodos adultos en campo y grano almacenado. Universidad Nacional de Costa Rica.*

De Oro, R. F., Sánchez, T., Rubiano-Rodríguez, J. A., & Sierra-Baquero, P. V. (2021). Principales plagas del fríjol ('Phaseolus vulgaris' L.) en el Cesar, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404593

Delfino, M. A, Monelos, H. L., Peri, P. L., & Buffa, L. M. (2007). Áfidos (Hemptera, Aphididae) de interés económico en la provincia de Santa Cruz. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 36(1), 147-154.* https://www.redalyc.org/pdf/864/86436109.pdf

Delgado Loor, E. V. (2019). *Manejo y control de 'Agrotis ípsilon' en el cultivo de maíz (Zea mays L.), en el barrio El Tejar, ciudad de Ibarra [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo, sede El Ángel]. FAO Agris.* https://agris.fao.org/search/en/providers/124888/records/674896307625988a371e20d6

Díaz, B. M., Maza, N., Castresana, J. E., & Martínez, M. A. (2020). *Los sírfidos como agentes de control biológico y polinización en horticultura. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).*

Du Plessis, H., Schlemmer, M.-L., & Van den Berg, J. (2020). The effect of temperature on the development of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae). Insects, 11(4), 228. https://doi.org/10.3390/insects11040228

Duarte, L., Ceballos, M., Baños, H. L., Sánchez, A., Miranda, I., & Martínez, M. A. (2011). Biología y tabla de vida de 'Myzus persicae' (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. *Revista de Protección Vegetal, 26(1), 1-4.* https://censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/177/162

Dughetti, A. C., & Lanati, S. (2013). Plagas de la zanahoria y su manejo. En J. C. Gaviola (Ed.), *Manual de producción de zanahoria (pp. 109-128; 1.ª ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).* https://es.scribd.com/document/226040056/INTA-Cap-6-Plagas-de-La-Zanahoria-y-Su-Manejo-1

Enciclopedia Colaborativa Cubana en la Red [Ecured]. (2011). *Gusano trozador.* https://www.ecured.cu/Gusano_trozador

Fok, E. J., Petersen, J. D., & Nault, B. A. (2014). Relationships between insect predator populations and their prey, *Thrips tabaci*, in onion fields grown in large-scale and small-scale cropping systems. *BioControl, 59, 739-748.* https://doi.org/10.1007/s10526-014-9612-9

Font, I., Abad, P., Albinana, M., Espino, A. I., Dally, E. L., Davis, R. E., & Jorda, C. (1999). Amarilleos y enrojecimientos en zanahoria: una enfermedad a diagnóstico. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas, 25, 405-415.* https://search.nal.usda.gov/discovery/fulldisplay?context=L&vid=01NAL_INST:MAIN&search_scope=MyInstitution&tab=LibraryCatalog&docid=alma9916104852907426

González, C., Suris, M., & Retana-Salazar, A. P. (2012). Incidencia de las poblaciones de thrips sobre *Daucus carota D. C y Beta vulgaris var. Cicla L. en diferentes sistemas de cultivos en Cuba. Métodos en Ecología y Sistemática, 7(3), 24-30.*

Infoagro. (2023). El cultivo de la zanahoria. https://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2010). *Plagas del fríjol en Centroamérica: guía de identificación y manejo integrado.* https://dicta.gob.hn/files/2010,-Identificacion-y-manejo-de-plagas-del-frijol-en-CA.pdf

Jiménez, E. (2009). *Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria.* https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf

Kissayi, K., Benhalima, S., Bentata, F., Labhilili, M., & Benhoussa, A. (2019). New records for a catalogue of Chalcididae (Hymenoptera, Chalcidoidea) from Morocco. *Arxius de Miscel·lània Zoològica, 17, 145-159.* https://museucienciesjournals.cat/es/amz/issue/17-2019/new-records-for-a-catalogue-of-chalcididae-hymenoptera-chalcidoidea-from-morocco

Kondo, T., Rincón, D. F., Pérez-Álvarez, R., Vásquez Ordóñez, A. A. & González F., G. (2018). Uso de depredadores como agentes de control biológico para insectos plaga. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros (pp. 454-485, vol. 1). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).* https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/4d506aa3-c671-4b36-af58-a7b1931013da/content

La Forgia, D., & Verheggen, F. (2019). Biological alternatives to pesticides to control wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Agri Gene, 11, 100080.* https://doi.org/10.1016/j.aggene.2018.100080

Lara, L. A., Godinez-Cortés, S., Torres, R. I., Padrón-Torres, E., Reyes, J., González-González, F. A., Hernández, V., González-Nieto, E. D., & Hernández Torres, H. (2022). Coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) asociados a cítricos del centro-sur de Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.), 38(1), 1-10.* https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812454

Lardizábal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria.* United States Agency for International Development (Usaid). https://dicta.gob.hn/files/2013,-Produccion-de-zanahoria,-G.pdf

Larraín, P., Ulloa, M., Vega, B., & Contreras, L. (2012). Protocolos de manejo de plagas bajo criterios de producción limpia en acelga, alfalfa, maíz y zanahoria. En: F. Tapia & B. Vega (Eds.), *Protocolo de Buenas Prácticas Agrícolas para los principales cultivos hortícolas y forrajeros de las provincias de El Loa y Atacama La Grande, en la Región de Antofagasta (pp. 43-80). Boletín INIA 255. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).* https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/b6fdf397-049a-49b8-a1e1-83f0ee3c2892/content

Löhr, B., Díaz Niño, M. F., Manzano, M. R., Narváez Vásquez, C. A., Gómez-Jiménez, M. I., Carabalí, A., Vargas, G., Kondo, T., & Bustillo Pardey, A. E. (2018). Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia. En A. M. Cotes (Ed.), *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros (Vol. 1, pp. 486-543). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).* https://repository.agrosavia.co/items/84646807-ebdd-441d-9660-d88cf14cb8cf

Mejía, K. J. (2018). Efecto de bioplaguicidas sobre la incidencia de plagas y enfermedades foliares y componentes de rendimiento del fríjol común (*Phaseolus vulgaris L.) en Santa Rosa de Copán. Ciencia y Tecnología, (22), 58-73.* https://www.camjol.info/index.php/RCT/article/view/6439

Morales-Payán, J. P. (2008). *Guía técnica cultivo de zanahoria. CEDAF.* https://es.scribd.com/document/680066472/Guia-Tecnica-Cultivo-de-Zanahoria

Nault, B. A., & Shelton, A. M. (s. f.). *Guidelines for managing onion thrips on onion*. Cornell University. https://s3.amazonaws.com/assets.cce.cornell.edu/attachments/5088/2013_ONION_THRIPS_INSECTICIDES.pdf?1418059989

Ordaz-Silva, S., Chacón-Hernández, J., Hernández-Juárez, A., Cepeda-Siller, M., Gallegos-Morales, G., & Landeros-Flores, J. (2014). Depredación de *Pselliopus latispina (Hemiptera: Reduviidae) sobre Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae). Acta Zoológica Mexicana (N.S.), 30(3), 500-507.* https://doi.org/10.21829/azm.2014.30374

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.). *Glosario de términos fitosanitarios.* https://www.fao.org/4/w3587e/w3587e03.htm

Patiño, A. A., Palacios, S., & Kogson, J. F. (2019). Caracterización de los subsistemas de plagas en mora sin espina (*Rubus glaucus Benth) en el departamento de Risaralda. Luna Azul, 49, 162-171.* https://doi.org/10.17151/luaz.2019.49.9

Poole, M. & Flores, V. R. (2009). *A national industry pest specific incursion management plan (PSIMP) for carrot rust fly ('Psila rosae').* Ausveg. https://ausveg.com.au/project/a-national-industry-pest-specific-incursion-management-plan-psimp-for-carrot-rust-fly-psila-rosae/

Quimbayo, N., Serna, F., Olivares, T. S., & Angulo, A. O. (2010). Nóctuidos (Lepidoptera) en cultivos de flores colombianas. *Revista Colombiana de Entomología, 36(1), 38-46.* https://doi.org/10.25100/socolen.v36i1.9117

Ramírez-Salinas, C., Pacheco-Flores, C., & Castro-Ramírez, A. E. (2006). *Cryptomeigenia sp. (Diptera: Tachinidae) como parasitoide de adultos de Phyllophaga (Phytalus) rufotestacea (Moser, 1918) (Coleoptera: Melolonthidae) en Chiapas, México. Acta Zoológica Mexicana (N.S.), 22(1), 1-8.* https://doi.org/10.21829/azm.2006.2211957

Rodríguez-Vélez, B., Suaste-Dzul, A., Gallou, A., Rodríguez-Vélez, J. M., Sarmiento-Cordero, M. A., & Arredondo-Bernal, H. C. (2019). Pulgones (Hemiptera: Aphididae) y sus parasitoides (Hymenoptera) en cultivos de sorgo en los estados de Colima y Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.), 35, 1-9.* https://doi.org/10.21829/azm.2019.3501085

Sánchez, G., & Vergara, C. (2014). *Plagas de hortalizas (4.*ª Ed.). Universidad Nacional Agraria La Molina.

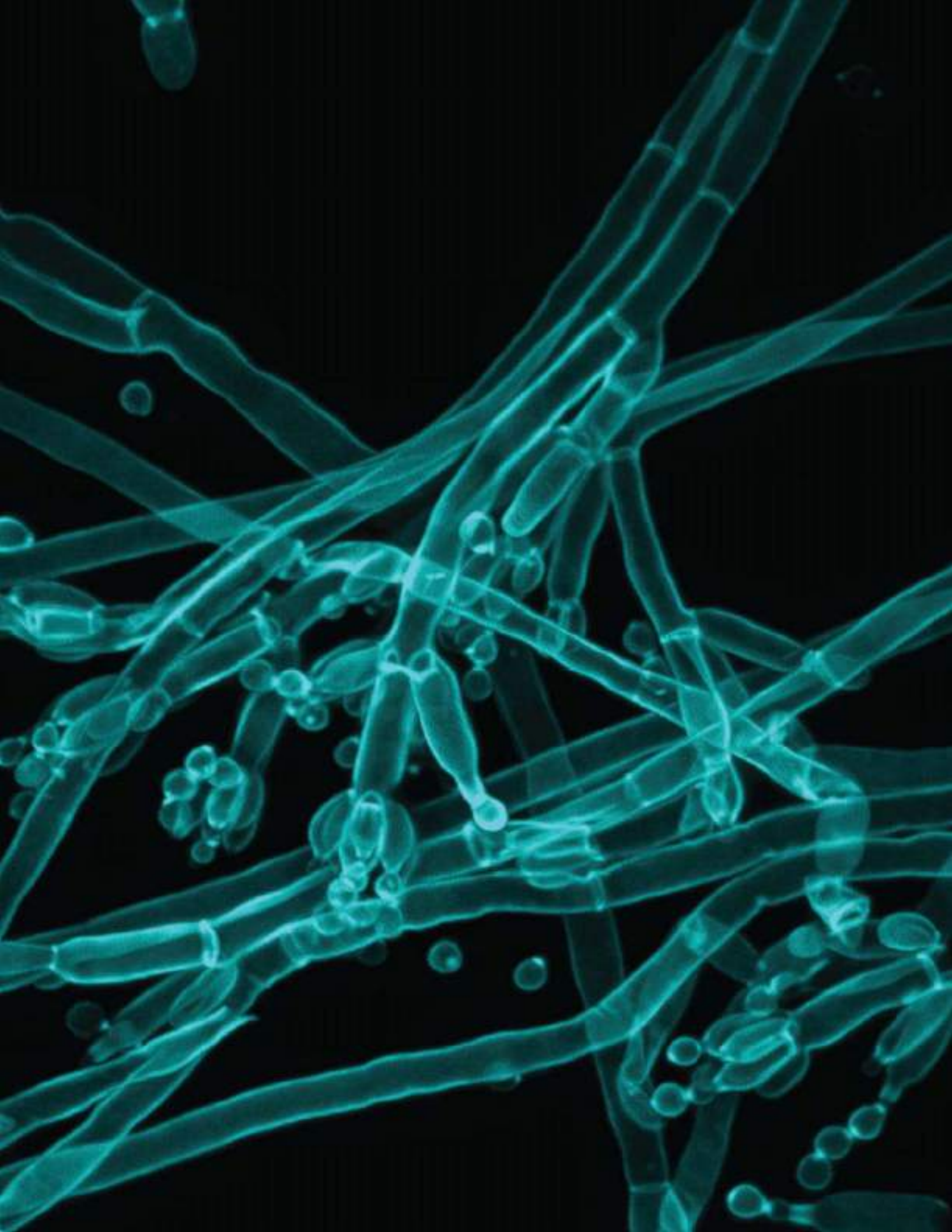
Sarmiento, C. E. (2012). Avispas Braconidae (Hymenoptera) de Colombia, novedades sobre su sistemática y uso en agricultura. *Boletín del Museo Entomológico Francisco Luís Gallego, 4(2), 11-20.* https://ciencias.medellin.unal.edu.co/museos/entomologico/images/Boletin/2012-06/4.pdf

Sierra-Baquero, P. V., Gómez-Ramírez, L. F., Sánchez Doria, T., De Oro Aguado, R. F., Fuentes Cassiani, D. A., & Rubiano Rodríguez, J. A. (2023). Plagas asociadas al cultivo de sorgo forrajero Corpoica JJT-18 (*Sorghum bicolor [L.] Moench) en el departamento del Cesar, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).* https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7406566

Somavilla, A., & Carpenter, J. M. (2023). Description of a new Amazonian species of *Polistes (Epicnemius) (Vespidae: Polistinae: Polistini). Entomologica Americana, 128(1-4), 11-16.* https://doi.org/10.1664/NYES-D-21-00005

Tamayo, P., & Londoño, M. (2001). *Manejo integrado de enfermedades y plagas del fríjol: manual de campo para su reconocimiento y control. Corpoica.* https://repository.agrosavia.co/items/ea24eb90-a17c-4700-91f7-a3515b9714f3

Villamizar, V. A., & Jaramillo, A. (2017). Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental de los territorios de la llanura inundable del Araucana a partir del análisis de sedimentos recientes, departamento de Arauca. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, 8(1).* https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2056





Título

Acompañantes invisibles

Técnica

Microscopía confocal para observar paredes celulares de los hongos mediante tinción de blanco de calcoflúor (BCF), agrupando 54 fotos de 54 micras de profundidad. Color dado por marcación del BCF de la estructura del hongo.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao-Rojas

Descripción

Estructuras de hongos denominadas hifas tubulares alargadas, de bordes paralelos definidos, que se entrecruzan en múltiples direcciones formando una red densa (micelio) y conidios encontrados en zanahoria.

Capítulo XI

Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de zanahoria, el primer paso hacia la calidad y la inocuidad

Tatiana Alejandra Rodríguez-Quiroz

Introducción

Las buenas prácticas agrícolas (BPA) se definen como un conjunto de acciones o prácticas que se realizan en una explotación agrícola, tendientes a reducir los peligros químicos, físicos y microbiológicos. Están orientadas a obtener productos inocuos (sanos-limpios), mejorar las condiciones de los trabajadores (salud y bienestar) y proteger el medio ambiente, con métodos ecológicamente seguros, higiénicamente aceptables y económicamente factibles (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012)

Dentro de los prerrequisitos en los sistemas de aseguramiento de la calidad (SAC) se encuentran las BPA, las cuales son fundamentales e indispensables en la producción primaria, como una base sólida para asegurar la inocuidad de los alimentos (Torrado, s. f.).

Actualmente en Colombia, la implementación de las BPA y la certificación de predios son de adopción voluntaria, ya que los marcos normativos no son obligatorios; sin embargo, para que el mercado nacional especializado (como las grandes superficies, la agroindustria o los productores) pueda comercializar sus productos, se convierte en un factor determinante que permite ganar competitividad, demandando su adopción. En cuanto a la comercialización en el mercado internacional, la implementación es exigida e incluso resulta necesaria la certificación en una o más normas, o sellos de calidad (Agencia de Desarrollo Rural [ADR], 2021).

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) reporta 1.352 predios a nivel nacional certificados y recertificados en BPA en diferentes rubros productivos como frutales y hortalizas, de los cuales 14 predios incluyen el cultivo de zanahoria.

En el departamento de Antioquia se registraron un total de 61 predios para diferentes rubros productivos, dentro de los cuales dos predios incluyen zanahoria (ICA, 2021), identificando la importancia de incrementar la implementación de BPA en este cultivo y que los productores puedan contar con su respectiva certificación.

Normas alimentarias

Las normas alimentarias y el comercio van de la mano para asegurar que los alimentos sean inocuos, nutritivos y se produzcan en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de una población mundial en aumento, generando la confianza de los consumidores en la inocuidad, calidad y autenticidad de los alimentos, dado por el cumplimiento de las normas de intercambios comerciales y los productores. Esto permite el acceso a los mercados de productos de alto valor, donde el cumplimiento de las prescripciones de exportación puede resultar difícil, en especial para los pequeños productores de economías emergentes y en desarrollo. Por lo anterior, la implementación a escala mundial de normas alimentarias internacionales no solo contribuye a mejorar la salud pública, sino que también ayuda a reducir los costos y a aumentar la eficiencia y transparencia del comercio, y así generar mayor fluidez de los alimentos entre mercados (FAO & Organización Mundial del Comercio [OMC], 2018). Actualmente, existe el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF), que permite a los miembros de la OMC establecer sus propias normas en materia de inocuidad de los alimentos, sanidad animal y preservación de los vegetales (OMC, s. f.). Colombia adoptó, mediante la Ley 170 de 1994, la adhesión a dicho acuerdo (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MinCIT], 2022).

Por otra parte, la FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) definieron la Comisión del Codex Alimentarius (CAC), que establece normas alimentarias desde 1963 y es el punto de referencia más importante a escala internacional en la materia. Se trata de una recopilación de normas, directrices y códigos de prácticas internacionales armonizados sobre los alimentos. En conjunto, los textos del *Codex* tienen el objetivo de proteger la salud de los consumidores y promover prácticas equitativas en el comercio de los alimentos (FAO & OMC, 2018). Los resultados de la Comisión del Codex Alimentarius comprenden:

» El establecimiento de más de 200 normas para alimentos, productos específicos o grupos de productos, que abarcan los principales productos alimentarios que participan en el comercio internacional, y normas para el etiquetado y los métodos de análisis.

» Más de 100 códigos de prácticas y directrices para reducir la contaminación y asegurar la higiene de los alimentos durante la producción, la manipulación y el transporte, así como directrices para la inspección y certificación de los alimentos, y para la evaluación de los alimentos modificados genéticamente.

» Más de 3.700 límites máximos de residuos (LMR) para los diversos plaguicidas y medicamentos veterinarios que se utilizan en la agricultura.

» Más de 2.000 disposiciones sobre aditivos alimentarios.

» 150 dosis máximas y de referencia recomendadas para contaminantes y sustancias tóxicas presentes naturalmente en los alimentos, comprendidas las micotoxinas.

Estas normas funcionan como referencias en el mercado internacional de alimentos y como guía para la armonización de las normas nacionales de inocuidad alimentaria regional y mundial (FAO, 2026a).

De acuerdo con la base de datos del Codex Alimentarius y la información adoptada por la CAC a noviembre de 2023, los usuarios pueden consultar respecto a los límites máximos de residuos (LMR) del Codex y los límites máximos para residuos extraños (LMRE), tanto para un plaguicida como para varios, y para un producto básico o un grupo de ellos. Los alimentos listados no deben contener una cantidad mayor de residuos de plaguicidas (comprendidos, individualmente, en la definición del residuo) que la señalada en el LMR o LMRE (en mg/kg) en: a) al punto de entrada en un país o b) el punto de entrada en los canales comerciales de un país. Dicho límite máximo no se podrá exceder a partir de entonces. Los LMR y LMRE son de aplicación para el contenido en residuos de la muestra final representativa del lote y de la porción de los productos básicos analizados. La tabla 11.1 presenta los LMR para zanahoria (FAO, 2026b).



Foto: Carolina Ortiz

Tabla 11.1. Datos correspondientes al cultivo de zanahoria con los LMR y LMRE adoptados por la Comisión del Codex Alimentarius

Pesticida	Clase funcional	LMR	Año de adopción	Símbolo	Nota
Oxamil	Insecticida	0,01 mg/kg	2018	(*)	
Metalaxil	Fungicida	0,02 mg/kg	2022	(*)	**Datos de residuos que sirvieron de base para la estimación:** Metalaxil-M (MM)
Deltametrina	Insecticida	0,02 mg/kg	2004		
Spirotetramat	Insecticida	0,04 mg/kg	2021		
Sulfoxaflor	Insecticida	0,05 mg/kg	2014		
Glufosinato de amonio	Herbicida	0,05 mg/kg	2013		
Clorantraniliprol	Insecticida	0,08 mg/kg	2014		
Trifloxystrobin	Fungicida	0,1 mg/kg	2006		
Permethrin	Insecticida	0,1 mg/kg			
Isopyrazam	Fungicida	0,15 mg/kg	2018		
Fenamidone	Fungicida	0,2 mg/kg	2015		
Difenoconazol	Fungicida	0,2 mg/kg	2008		
DDT (diclorodifeniltricloroetano)	Insecticida	0,2 mg/kg	1997	E	
Carbendazim	Fungicida	0,2 mg/kg	2006		
Tebuconazole	Fungicida	0,4 mg/kg	2012		
Fluopyram	Fungicida	0,4 mg/kg	2013		
Fluazaindolizin	Nematicida	0,4 mg/kg			
Pendimetalin	Herbicida	0,5 mg/kg	2017		
Methoxyfenozide	Insecticida	0,5 mg/kg	2010		
Carbaryl	Insecticida	0,5 mg/kg	2004		
Penthiopyrad	Fungicida	0,6 mg/kg	2013		

Continúa en la siguiente página

Fluazifop-p-butil	Herbicida	0,6 mg/kg	2017		
Pyrimethanil	Fungicida	1 mg/kg	2008		
Fluxapyroxad	Fungicida	1 mg/kg	2016		
Fludioxonil	Fungicida	1 mg/kg	2019		
Dithiocarbamates	Fungicida	1 mg/kg	1999		
Cyprodinil	Fungicida	1,5 mg/kg	2018		
Iprodione	Fungicida	10 mg/kg	1997	Po	
Fluensulfone	Nematicida	4 mg/kg	2017		
Cycloxydim	Herbicida	5 mg/kg	2013		

(*): En o alrededor del límite de determinación.
Po: El LMR tiene en cuenta el tratamiento poscosecha del producto.
E: (solo para LMR) El LMR se basa en residuos extraños.
Fuente: FAO (2026b)

Actualmente, para el caso de la Unión Europea (UE) está el Reglamento (CE) 396/2005, relativo a los LMR de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal. Todos los productos alimenticios destinados al consumo humano en la UE están sujetos a esta norma.

En Colombia, la Resolución 5897 de 2018 determina actualmente la permanencia del reglamento técnico que regula los LMR de plaguicidas en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes, expedidos en la Resolución 2906 de 2007, en la cual se considera el cumplimiento de los LMR de plaguicidas del Codex Alimentarius CAC/MRL 3, actualizada a 2007.

Para acceder a mercados internacionales, se debe considerar la reglamentación de orden sanitario de cada uno de los países o territorios. Es importante tener en cuenta que existen certificaciones obligatorias que son demandas, como el certificado de registro sanitario, el certificado fito/zoosanitario, el certificado de buenas prácticas de manufactura (BPM) y el certificado del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP), en Estados Unidos para productos del mar, pulpas y jugos de fruta, etc. También existen certificaciones que no son de obligatorio cumplimiento, pero que el cliente en particular puede pedir y con ellas asegurar un nicho de mercado definido (Procolombia, 2018). En la tabla 11.2 se relacionan algunas certificaciones de orden internacional para acceso a mercados.

Tabla 11.2. Certificaciones para la exportación de agroalimentos

Certificación	Descripción
GLOBALG.A.P.	Es la más ampliamente utilizada en los procesos de certificación a nivel internacional en BPA (*good agricultural practice* - GAP), y corresponde a un conjunto de normas internacionalmente reconocidas por la Iniciativa Mundial de Seguridad Alimentaria (GFSI, por sus siglas en inglés) y aplicables para la producción segura y sostenible de alimentos, con el fin de beneficiar a los productores, minoristas y consumidores en todo el mundo. En la actualidad, es el programa de aseguramiento de fincas líder en el mundo, logrando que los requerimientos del consumidor se vean reflejados en la producción agrícola (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2024). Cubre todas las etapas de la producción, desde las actividades precosecha, como siembra, manejo del suelo, aplicaciones de productos fitosanitarios, hasta la manipulación del producto en poscosecha, el empaque y almacenamiento. Actualmente, se encuentra vigente la versión 6 de la norma, que incluye nuevos requisitos relacionados con: » Gases de efecto invernadero y cambio climático. » Restauración de ecosistemas. » Gestión de residuos de alimentos. » Gestión de plásticos. » Prevención de la deforestación. » Bienestar animal. » Mejora continua (Intedya, s. f.).

Continúa en la siguiente página

	Es el sello internacional que les permite a los productores recibir un precio justo por sus productos, reduciendo la cadena de intermediación en la comercialización. Fairtrade ofrece a los productores un trato más justo y mejores condiciones comerciales, permitiendo mejorar su calidad de vida. Este sello garantiza al consumidor final que se están aplicando los valores éticos del producto, que han sido producidos en condiciones de trabajo dignas y comprados a un precio justo, lo cual contribuye al desarrollo sostenible del productor o la organización productora. No es una certificación de obligatorio cumplimiento (Procolombia, 2018). Ampliar información en: www.fairtrade.net/
	Según Rainforest Alliance, el programa de certificación se basa en el Estándar de Agricultura Sostenible, que tiene diferentes conjuntos de requisitos para agricultores y empresas. » Estos requisitos les ayudan a los agricultores a alcanzar un mejor nivel de vida y, al mismo tiempo, enriquecen la tierra a través de una agricultura sostenible y regenerativa. Las fincas certificadas deben brindar condiciones de trabajo seguras y justas para sus trabajadores. » Para las empresas, los requisitos fomentan prácticas comerciales responsables y la transparencia desde la finca hasta el anaquel. Así, este sello significa que los productos emplean prácticas que apoyan los tres pilares de la sostenibilidad: social, económico y ambiental. Ampliar información en: https://www.rainforest-alliance.org/

	Las buenas prácticas de manufactura (BPM) —en inglés *good manufacturing practice (GMP)*— comprenden "los principios básicos y prácticos generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos en cada una de las operaciones mencionadas cumplan con las condiciones sanitarias adecuadas, de modo que se disminuyan los riesgos inherentes a la producción" (Resolución 2674 de 2013). Estos principios se encuentran alineados con las exigencias de las normas más importantes a nivel internacional sobre inocuidad alimentaria que emite la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Se articulan con las BPA y ambos son prerrequisitos del HACCP (Procolombia, 2018). En Colombia, a través del Decreto 335 de 2022, el Ministerio de Salud presentó el procedimiento que deberán seguir los interesados en la obtención del certificado de buenas prácticas de elaboración, laboratorio y manufactura ante el Invima (Minsalud, 2024).

Fuente: Elaboración propia



Para certificar un predio en BPA a nivel nacional, es necesario el cumplimiento de normas como las definidas por el Icontec, que certifica con la NTC 5400:2012: Norma Técnica Colombiana de buenas prácticas agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas, que define requisitos y procedimientos, que sirven de orientación a los pequeños, medianos y grandes productores, y con ello se espera mejorar las condiciones de la producción agrícola con un enfoque preventivo que incluye la búsqueda de la inocuidad, la competitividad, la seguridad de los trabajadores y el desarrollo sostenible, garantizando que los productores logren satisfacer las exigencias de calidad impuestas por los mercados internacionales para hierbas aromáticas culinarias, hortalizas y frutas frescas (Icontec, 2024). Igualmente, las normas del ICA, como la Resolución 30021 de 2017, modificada en algunos artículos por la Resolución 82394 de 2020. Así pues, cuando se ha cumplido con los procedimientos y protocolos para la implementación de las BPA en el cultivo, se pasa al proceso de certificar el predio bajo el reglamento del ICA, que el productor debe solicitar en la oficina de su jurisdicción, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

1. Acreditar la propiedad, posesión o tenencia del predio productor.

2. Copia de la cédula de ciudadanía, cédula de extranjería (si aplica) o RUT, si se trata de una persona natural, o informar el nombre de la empresa y el NIT, si es persona jurídica.

3. Documento que acredite la asistencia técnica al predio por parte de un ingeniero agrónomo, con fotocopia de la tarjeta profesional vigente y datos de contacto (dirección, teléfono, fax y correo electrónico).

4. Croquis de llegada y plano del predio, indicando las áreas destinadas al cultivo y especies.

5. Certificado del uso del suelo expedido por la autoridad competente.

6. Análisis microbiológico de agua proveniente de las fuentes utilizadas en las labores del predio, con vigencia no mayor a un (1) año.

7. Permiso de uso de aguas o radicado de la solicitud del permiso de uso de aguas, cuando se requiera según normatividad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 3930 de 2010) para tal fin.

8. Para efectos de la visita establecida, de acuerdo con los anexos I y II de la Resolución 82394 de 2020. Los anexos corresponden a:

   » Anexo I. Lista de chequeo certificación de buenas prácticas agrícolas

   » Anexo II. Criterios de cumplimiento para certificación de predios en buenas prácticas agrícolas



Foto: Carolina Ortiz

Factores relacionados con la implementación de un programa de BPA en fincas productoras de zanahoria

Actualmente, la implementación de las BPA en predios productores de zanahoria no es un proceso generalizado ni organizado. A partir de un acercamiento con productores del municipio de El Santuario, Antioquia, se encontró que algunos de ellos muestran dentro de sus prácticas algunas nociones y procesos de implementación parcial vinculados a las BPA, debido a su experiencia y manejo de otros sistemas productivos como papa, arveja, lechuga y repollo en su finca; sin embargo, se evidenciaron algunos casos de productores que desconocen las BPA o las consideran poco relevantes, por lo que no llegan a aplicarlas en su finca.

De acuerdo con Franco y Quintero (2024), a partir de consultas con productores de esta zona, se encontró dentro del proceso de acondicionamiento del producto, en la selección de los materiales, que estos son empacados para comercializar en costales reutilizados de fibras de colores, con el fin de disminuir costos, lo cual afecta la inocuidad del producto (figura 11.1a). Adicionalmente, en el proceso del lavado del producto se hace uso de agua de la quebrada, de nacimientos de agua de la finca o en combinación con agua del acueducto, con máquinas mezcladoras de cemento adecuadas para ello (figura 11.1b) o sobre la fuente de agua directamente (figura 11.1c); estas prácticas evidencian diferentes riesgos en cuanto al uso de la máquina, exposición de los trabajadores a los cables de energía por la disposición de estos y la falta de elementos de protección personal. Con respecto a la fuente de agua, ya fuera en máquina o de manera manual empleando canecas, baldes y costales (figura 11.1d), hay desconocimiento del grado de contaminación del agua, lo que evidencia limitaciones en la implementación de buenas prácticas sobre la inocuidad del producto y en la protección de los trabajadores.









Figura 11.1. Prácticas de empacado y lavado de zanahoria en fincas del municipio de El Santuario, Antioquia. a. Zanahoria empacada en costales de fibra reutilizados; b. Lavado en máquina y manual, operario sin indumentaria de protección; c. Lavado en fuentes hídricas sin elementos de protección; d. Lavado manual, sin elementos de protección.

Fotos: Carolina Ortiz Muñoz y Luz Mary Quintero Vásquez

Frente a estas prácticas identificadas, resulta evidente la necesidad de implementar las BPA en los diferentes procesos de producción, no solo a nivel de la inocuidad del producto, sino de la protección de los trabajadores. En las normas elaboradas para el cumplimiento de las BPA se contemplan elementos clave para tener en cuenta en cualquier unidad productiva y, de acuerdo con la norma que se esté aplicando, algunos de ellos pueden ser de mayor o menor cumplimiento. Sin embargo, para un proceso de certificación, la mayoría de estos factores se deben contemplar en la respectiva unidad productiva, a saber:

1. Área e instalaciones.
2. Protección de los operarios.
3. Componente ambiental.
4. Material de propagación.
5. Nutrición de las plantas.
6. Protección del cultivo.
7. Cosecha y poscosecha.
8. Soporte documental.
9. Trazabilidad.

Las acciones relacionadas con las BPA deben considerarse como actividades rutinarias propias del manejo del cultivo, las cuales involucran todo el sistema de producción (cosecha y poscosecha). Por eso, los productores deben tener en cuenta condiciones y características de la finca que intervienen en el sistema de producción y que hacen parte de la planeación para el establecimiento del cultivo. Algunas de estas características son la organización, la higiene y el aseo, las instalaciones, elementos de trabajo, entre otras, contribuyendo directamente a la obtención de un producto inocuo, el cumplimiento de las exigencias del mercado y el bienestar del consumidor final.

Se consideran acciones tales como:

1. Topografía del predio (plano, ondulado, pendiente).
2. Tipo de suelo (arenoso, arcilloso, franco).
3. Condiciones climáticas de la zona (temperatura, precipitación, brillo solar).
4. Antecedentes del lote (inundaciones, erosión, aplicación de agroquímicos).
5. Abastecimiento de agua (nacimientos, pozo, quebrada, acueducto) (Vásquez, 2020).

Al respecto, es aconsejable elaborar un mapa de la finca y sus alrededores, para que el productor identifique todos los componentes del sistema de producción, reconozca los sectores aledaños al cultivo de la zanahoria y determine la presencia de algún tipo de peligro (figura 11.2).

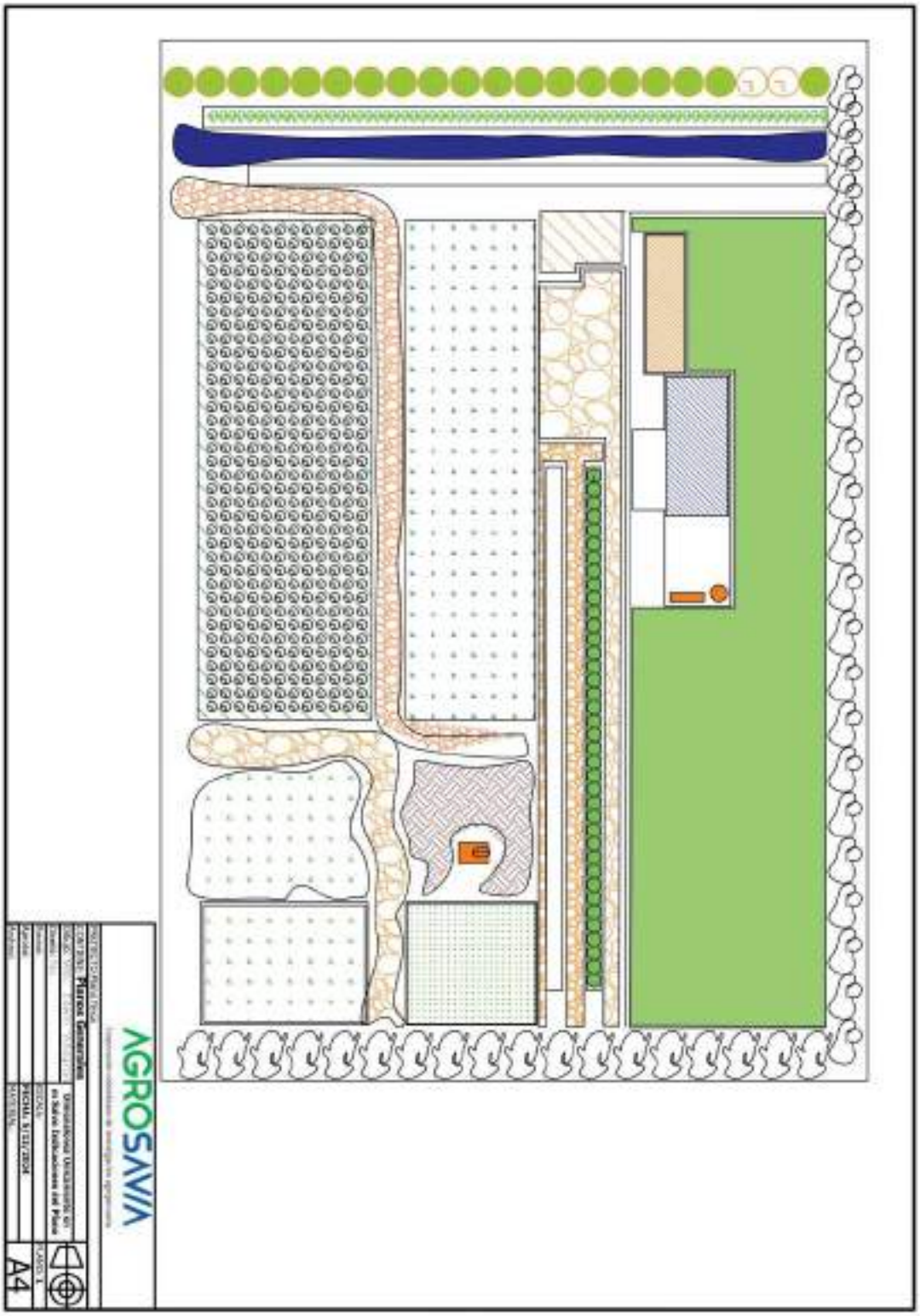


Figura 11.2. Modelo de mapa o plano de la finca, con zonas delimitadas según las prácticas y usos en la finca.

Fuente: Villagrán (2024)

Áreas e instalaciones

Toda finca productora de zanahoria debe contar con áreas, espacios o instalaciones que faciliten la implementación de las BPA (figura 11.3), cuyas adaptaciones o reformas deben realizarse según los recursos del productor, buscando cumplir con la norma. Es clave que estos lugares estén debidamente identificados, organizados y acordes con los planes de aseo e higiene, tal como se describen a continuación.



Figura 11.3. Diagrama de áreas o instalaciones que facilitan la implementación de las BPA.

Fuente: Elaboración propia

Unidad sanitaria y sistema de lavado de manos

Debe estar ubicada a unos 100 m como mínimo de fuentes de agua, y máximo a 15 m de donde hay manipulación o almacenamiento de productos de cosecha. Debe ser construida con materiales de fácil limpieza y con sistemas de evacuación de aguas servidas. Debe contar con avisos de identificación, señalización e indicaciones, soportadas en gráficas, sobre el procedimiento correcto para el lavado de las manos (ICA, 2016) (figura 11.4a y figura 11.4b). Si en el campo no es viable construir las unidades sanitarias y de lavamanos, los operarios pueden hacer uso de las instalaciones propias de las fincas, cumpliendo con las normas de limpieza e higiene.





Figura 11.4. Tipos de unidades sanitarias y de aseo. a. Construcción en ladrillo; b. Construcción artesanal.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Área de almacenamiento de insumos agrícolas

Es necesario destinar un área de la finca retirada de la vivienda, en preferencia resistente al fuego, reservada para almacenar únicamente agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fungicidas y adherentes, productos biológicos, entre otros), para lo cual se debe tener en cuenta:

» Mantener organizada esta área.

» Su construcción debe permitir la realización de aseo y su respectiva señalización (figura 11.5a y figura 11.5b).

» Es recomendable contar con muebles o estanterías para situar los insumos a utilizar en la finca.

» Los productos se almacenan en el empaque original.

» Los productos o agroquímicos líquidos se ubican en la parte inferior del mueble, separados y marcados por tipo de producto.

» Los agroquímicos en polvo se ubican en la parte superior (figura 11.5c).

» La señalización debe ser resistente al agua.

» Esta área debe permanecer con llave y debidamente marcada.

» Se debe restringir la entrada de niños y animales.

» El área debe contar con iluminación y ventilación.

» Los envases, bolsas y paquetes de productos deben permanecer debidamente cerrados.

» La bodega debe tener un kit para manejo de derrames (con aserrín, periódico, escoba, pala, papelera), para facilitar la limpieza en caso de que ocurra un accidente con algún compuesto (ICA, 2016; Osorio, 2014; Corporación Colombia Internacional [CCI], 2011), Franco et al., 2020).

» En caso de un derramamiento, el manejo se debe orientar a:

- El uso por parte del operario del equipo de protección personal (botas, guantes, respirador).

- No aplicar agua sobre el líquido derramado, este debe cubrirse con material absorbente (arena o aserrín); después de absorbido el producto derramado, recoger con pala, depositarlo en una bolsa plástica y ser ubicado en una caneca con tapa. Para derrame de sólidos (polvo), se recogen con la pala, se depositan en bolsa plástica y luego en caneca. Los productos derramados se marcan y se empacan muy bien, para ser entregados a la entidad que recoge los envases (Asociación Nacional de Industriales [ANDI], 2017).









Figura 11.5. Área de almacenamiento o bodega de insumos agrícolas bajo diferentes acondicionamientos de infraestructura y señalización. a. Vista de una bodega construida en madera con correcta señalización; b. Vista de una bodega en construcción tradicional señalizada. c. Distribución correcta de productos dentro de una bodega; d. Distribución incorrecta de productos dentro de una bodega.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez, Carolina Ortiz Muñoz y Paola Andrea Hormaza Martínez

Nota. Resolución de foto b mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.

Consideraciones importantes:

1. Tener en cuenta el tiempo de conservación y rotación de los productos; comprar solo lo necesario para un tiempo definido.

2. Para llevar un control, marcar cada recipiente con fecha de compra.

3. Utilizar productos registrados y autorizados por el ICA, como se muestra en la etiqueta: Registro de venta ICA, N° _____.

4. Leer muy bien la etiqueta y seguir las indicaciones escritas allí para asegurarse de la dosificación, peligrosidad, forma de aplicación, ingrediente activo y precauciones, entre otras, antes de preparar mezclas y aplicar el producto.

5. Contar con un espacio informativo, para colocar letreros o notificaciones orientadoras para los trabajadores, relacionadas con el manejo de equipos, precauciones, cuidados y acciones a tomar en caso de que ocurra algún accidente.

6. En el caso de los fertilizantes, estos se deben ubicar en el piso sobre estibas, para evitar humedad, deben estar cerrados para evitar volatilización y el lugar de almacenamiento debe permanecer limpio, seco y ventilado (figura 11.6).

7. Para el control de todos los agroquímicos que ingresan en la finca, es necesario registrarlos en un formato para el inventario, seguimiento y trazabilidad de entradas, costos y fechas del producto.



Figura 11.6. Almacenamiento correcto de fertilizantes.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

Área de almacenamiento de utensilios, equipos y herramientas

En todas las fincas de producción agrícola se utilizan diferentes equipos o elementos como aspersores, tijeras, machetes, guadañas, baldes, azadones, palas, rastrillos, canastillas, mangueras, etc., los cuales se deben lavar en un área específica e independiente, y luego se deben guardar de manera organizada en un lugar limpio, ordenado y señalizado (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria [Senasa], s. f.; Osorio, 2014) (figura 11.7).





Figura 11.7. Áreas de almacenamiento. a. Área destinada a guardar herramientas; b. Área destinada a guardar equipos de trabajo.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez y Paola Andrea Hormaza Martínez

Otras consideraciones:

1. Separar los implementos de trabajo de los insumos y agroquímicos.

2. Ubicar los equipos sobre una repisa, estantería o algún soporte sobre la pared.

3. Contar con manuales de instrucción, para evitar riesgos de contaminación cruzada y accidentes laborales, así como el deterioro y mal funcionamiento de las herramientas.

4. Una vez usadas las herramientas y otros elementos de trabajo, se deben lavar con agua limpia y, si es posible, desinfectar con hipoclorito al 2,4 % o amonio cuaternario.

5. Es importante tener un formato donde se especifique el mantenimiento que se realiza a los elementos y utensilios de trabajo, para el seguimiento del proceso.

Área de dosificación y preparación de mezclas de insumos

Se debe destinar y adaptar un área exclusiva para preparación de las mezclas de los agroquímicos a aplicar al cultivo, con suministro de agua, retirada de la vivienda y de fuentes de agua, debidamente señalizada. Puede localizarse dentro de la bodega de insumos. Es importante leer detalladamente la etiqueta y seguir las indicaciones escritas allí, para el proceso de preparación de mezclas, dosificación, peligrosidad, forma de aplicación, ingrediente activo y precauciones, así como verificar que el producto corresponda al problema que se busca controlar. También es importante evitar la aplicación de varios productos en el mismo equipo de aspersión, y que los elementos de medición empleados para la correcta dosificación, tales como balanzas, probetas, recipientes graduados, etc., se encuentren en buen estado y sean de uso exclusivo para este fin (ICA, 2020).

Área de vertimiento de aguas sobrantes

Es un área de la finca no sembrada o área de barbecho demarcada para tal fin y alejada de las fuentes de agua; esta zona debe estar plenamente identificada y demarcada, en la cual se pueden verter los sobrantes de las aplicaciones de plaguicidas y lo que sobra del lavado de aspersores, baldes y demás implementos (ICA, 2020).

Área de acopio de productos cosechados

Las zanahorias, una vez cosechadas, se deben llevar a algún sitio del campo que las proteja de las condiciones ambientales (calor, lluvia, viento, radiación solar) y donde se puedan disponer y estén libres de contaminación por polvo. En lo posible, se debe hacer una separación inicial rápida de las raíces dañadas o afectadas por plagas o enfermedades, y así evitar contaminaciones que puedan afectar la calidad e inocuidad. En caso de que no sean transportados inmediatamente al punto de venta, los productos se deben llevar a un centro de acopio transitorio, el cual, independientemente del material empleado para su construcción (madera, plástico u otros), debe estar en las mejores condiciones higiénicas posibles (figura 11.8).





Figura 11.8. Ejemplos de áreas de acopio construidas en diferentes materiales. a. Sitio de acopio construido en madera; b. Sitio de acopio construido en madera, plástico y zinc; c. Mesa de acero inoxidable para acopio.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Nota. Resolución de fotos a y c mejorada con ayuda de Codex en ChatGPT.

Área para consumo de alimentos y descanso de los trabajadores

Es un área destinada para el bienestar de los trabajadores, independiente de las zonas de trabajo donde puedan guardar, tomar sus alimentos y descansar; debe permanecer limpia y ordenada, con canecas para la disposición de basuras. Se recomienda que este espacio disponga de un área o casilleros para guardar elementos personales, donde el personal se sienta bajo condiciones óptimas que faciliten su desempeño laboral. Esta puede ser un área adaptada dentro de la finca y que tenga disponible un lavamanos cerca (ICA, 2020).

Área para la disposición de residuos

A partir del plan de manejo de residuos con el que debería contar el predio, en este se contempla la identificación y disposición de los residuos. Se ubican recipientes debidamente marcados para depositar materiales plásticos, metal, vidrio y residuos peligrosos que provengan de las diferentes actividades de la finca, para su correcta clasificación, lo que conlleva la conservación y protección del medio ambiente (figura 11.9).

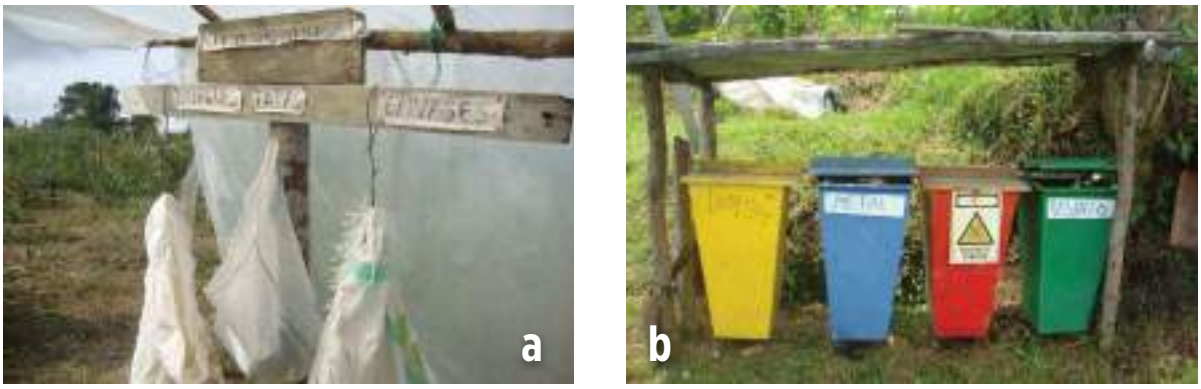


Figura 11.9. Disposición de residuos en recipientes o bolsas debidamente marcados, tapados y protegidos de la lluvia. a. Bolsas marcadas; b. Recipientes plásticos.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Áreas para la ubicación de elementos de protección personal, botiquín de primeros auxilios y extintor

Por norma, los elementos de protección personal (EPP) se deben lavar y guardar limpios, una vez utilizados, en un espacio exclusivo para ello. Además, es obligatorio disponer de un extintor multiusos cargado (figura 11.10a) y de un botiquín de primeros auxilios (figura 11.10b), los cuales se pueden ubicar en alguna de las bodegas, debidamente separados y señalizados.



Figura 11.10. Elementos de protección. a. Extintor en un lugar visible; b. Botiquín de primeros auxilios.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

De acuerdo con las BPA, todas las instalaciones y áreas mencionadas, así como otras que se utilizan en el sistema de producción, deben contar con avisos informativos (figura 11.11), claros o restrictivos, de limpieza, aseo, organización y desinfección, así como de fácil acceso y evacuación, según corresponda.



Figura 11.11. Áreas con letreros de señalización. a. Aviso restrictivo; b. Avisos de información; c. Aviso sobre advertencia de peligro; d. Aviso que indica el sitio para la disposición de basuras.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Bienestar, salud y seguridad de los operarios

En relación con los trabajadores de campo, las BPA buscan asegurar la implementación de medidas para el equilibrio entre las metas económicas y sociales, con miras a evitar que las labores asignadas generen riesgos para los trabajadores, a través de horarios de trabajo aceptables y periodos de descanso justos, planes periódicos de capacitación e instrucción en el uso sin riesgos y eficiente de equipos y maquinaria, así como garantizar remuneraciones razonables y sin explotación, en especial de las mujeres y los niños (FAO, 2003).

Otras consideraciones:

1. Todos los operarios deben recibir una dotación completa que proteja su salud; se recomiendan guantes, botas, protector facial, respirador, gafas y traje de protección. Estos elementos se deben usar en la preparación de las mezclas y en la aplicación de los plaguicidas en el campo.

2. Todo personal que labore en la finca debe contar con buen estado de salud, y el personal con síntomas de enfermedades infecciosas no debe manipular los productos. Las personas con afección respiratoria severa no deben realizar fumigaciones ni manipular elementos tóxicos.

3. Durante la manipulación de agroinsumos, el operario no debe consumir alimentos o bebidas ni fumar, para evitar posibles intoxicaciones.

4. Los operarios de campo con heridas no deben manipular los productos (cosecha y poscosecha).

5. Los trabajadores permanentes deben estar afiliados a una Empresa Prestadora de Servicios de Salud (EPS) y a un Administrador de Riesgos Laborales (ARL), y los trabajadores ocasionales deben tener un certificado de afiliación como independientes (ICA & MADR, 2009).

6. Se debe contar con un **plan de capacitación permanente** y debidamente documentado con registro, idealmente en formato establecido, que incluya temas relacionados con almacenamiento, manejo y aplicación de productos químicos e insumos agrícolas, prácticas de higiene personal, primeros auxilios, manipulación de alimentos, manejo de residuos sólidos, riesgos profesionales y manejo de equipos de protección, manejo e higiene de equipos, manejo de extintores y calibración de equipos.



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Componentes ambientales

Para proteger los recursos naturales en torno a la unidad productiva, se deben respetar y aplicar las guías registradas en las normas de las BPA, lo cual garantiza la sostenibilidad del sistema, la competitividad de la producción agrícola y la conservación de los factores ambientales.

Selección del lote

Antes de establecer un cultivo, el productor debe estar al tanto de los antecedentes del lote, como es conocer el uso anterior (tipo de cultivo, instalaciones pecuarias, uso de lotes aledaños, entre otros). Esto permite determinar la posibilidad de contaminación del agua para riego, del suelo por residualidad de metales pesados, herbicidas o estiércol, factores que de una u otra forma pueden impactar en el rendimiento del cultivo, contaminar el producto o incrementar los costos de producción.

Consideraciones:

1. Es importante hacer una evaluación previa de los riesgos, que puede ser del orden de agentes químicos, físicos o microbiológicos, para determinar que el terreno es o no apropiado para la siembra.
2. Ante la posibilidad de identificar riesgos, elaborar un plan de acción correctivo para reducirlos.
3. El productor debe consultar, en la oficina de planeación del municipio, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que indica el uso de la tierra, lo que le permitirá conocer la viabilidad del establecimiento del cultivo en el sitio seleccionado.

Triple lavado

Es necesario el triple lavado de los envases con residuos de plaguicidas; para esto, se vierte agua hasta la cuarta parte de la capacidad del envase, se agita fuertemente por 30 segundos y se esparce en la zona de barbecho; esta acción se repite tres veces y el envase es perforado para evitar su reutilización. Estos envases se guardan para luego ser recogidos por la entidad encargada y llevados a un sitio definido por las autoridades regionales (Federación Nacional de Cafeteros, 2024). Con la disposición correcta de estos envases, los productores están aplicando el Plan de Gestión Integral de Residuos a su finca. Los envases vacíos de plaguicidas se consideran, por normas nacionales e internacionales, “residuos peligrosos”, y por lo tanto deben tener un manejo ambientalmente cuidadoso y controlado.

Manejo del agua

En caso de aplicar riego en el cultivo, el agua debe ser usada de manera apropiada, como es proteger las fuentes de agua de algún contaminante, evitar encharcamientos y programar con precisión tiempos, frecuencia y caudal de riego. Un aspecto muy importante es conocer la calidad del agua de riego, sobre todo la proveniente de aguas profundas y superficiales (pozos, nacimientos, quebradas, ríos, lagunas), ya que se debe cumplir con parámetros definidos, como la ausencia de contaminantes químicos (residuos de plaguicidas y metales pesados) y de microorganismos patógenos (bacterias, hongos o virus), que puedan afectar la inocuidad del producto y la salud de los trabajadores (Torrado, 2005). De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se fijarán los usos del agua, los criterios de calidad para cada uso y los criterios de calidad para uso agrícola. Para el caso de los microorganismos coliformes totales, el número más probable (NMP) no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto; para el caso de coliformes fecales, el NMP no deberá exceder de 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior. De acuerdo con el ICA (2016), se debe hacer análisis del agua, mínimo una vez al año, cuyos resultados deben ser guardados como fuente de verificación, trazabilidad y seguimiento.

Manejo de suelos

La gestión en el manejo de los suelos mantendrá y mejorará su fertilidad, reduciendo al mínimo la erosión y la pérdida de sus nutrientes; también pretende optimizar la actividad biológica del suelo y proteger la vegetación natural lindante, mediante prácticas apropiadas como:

1. Utilizar la labranza mínima o de conservación, y la protección de la cubierta del suelo, para reducir al mínimo su pérdida por erosión eólica o hídrica.

2. Sembrar en las distancias recomendadas.

3. Aplicar en forma razonable y bajo las dosis establecidas para cada producto, tanto productos químicos como orgánicos.

4. Hacer rotación de cultivos cuando sea técnicamente posible, para conservar y enriquecer la materia orgánica y la fertilidad del suelo.

5. Hacer drenajes cuando se presenten problemas de saturación de humedad en el suelo.

6. Sembrar en curvas a nivel si el lote de siembra es pendiente, para proteger el suelo de procesos de erosión.

7. Realizar prácticas racionales mecánicas o de trabajo de suelo de conservación (ICA, 2016; FAO, 2003).

8. Proteger el suelo, dejando en las calles material vegetal que no afecte el desarrollo normal del cultivo y las labores de manejo.

9. Prevenir la formación de cárcavas.

10. Sembrar barreras vivas para evitar procesos de erosión.

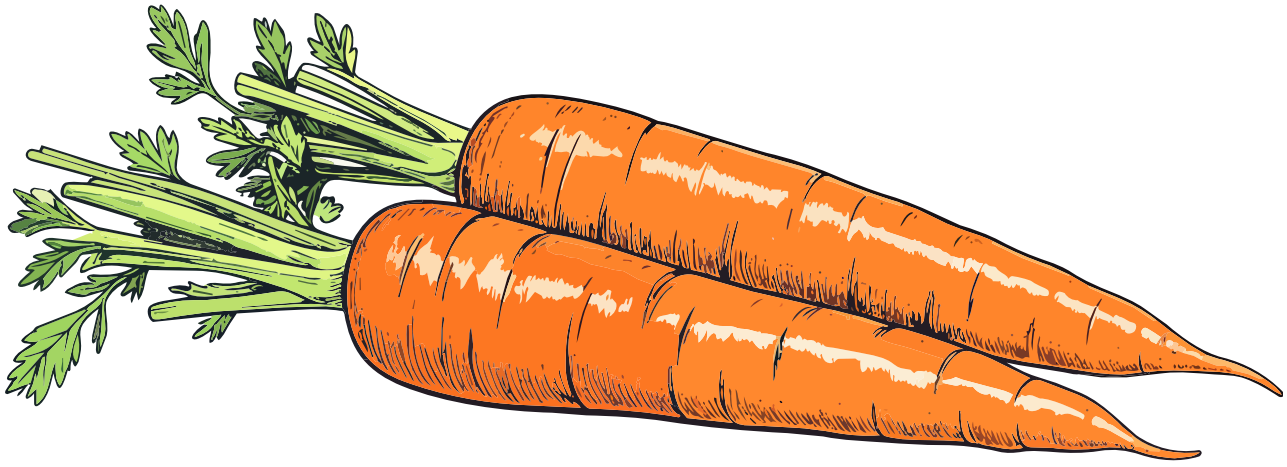
11. Elaborar los registros correspondientes de las labores que se realicen.

Material de siembra

Para el caso de zanahoria, se debe garantizar buena calidad de las semillas y dar cumplimiento mínimo de los siguientes requisitos: i) *pureza física*, lo cual garantiza que la semilla conserve la forma, uniformidad en peso y apariencia de la variedad, sin daños e impurezas; ii) *calidad fitosanitaria*, que garantiza que la semilla no porte alguna plaga ni se encuentre contaminada con semillas de malezas; iii) *calidad genética*, para garantizar la pureza varietal, sus condiciones de adaptación a diversos pisos ecológicos, su ciclo vegetativo y sus cualidades nutricionales, y iv) *calidad fisiológica*, con la que se garantiza la viabilidad de la semilla para germinar aún bajo condiciones adversas, y mostrar uniformidad de las plantas en el campo. A partir de esto, lo que se busca es obtener una mayor uniformidad de germinación en campo, ya que este será un factor determinante en el rendimiento y calidad de la producción (Senasa, 2020).

Nutrición

Los productores deben diseñar un plan de fertilización, para favorecer el rendimiento del cultivo y la calidad de los productos, basado en el análisis del suelo y los requerimientos técnicos, determinando dosis y frecuencias de aplicación, previo análisis fisicoquímico del suelo antes de la siembra y durante el cultivo en producción. Esto se debe hacer al menos una vez al año.



Otras consideraciones:

1. El plan de fertilización debe estar supervisado por un asistente técnico.

2. Se deben utilizar insumos agrícolas y abonos orgánicos con registro del ICA; igualmente, comprar en establecimientos autorizados por esta entidad.

3. Si se preparan abonos orgánicos en el predio (compostaje), es necesario llevar registros del tipo y origen del material vegetal, así como de los procedimientos de elaboración y controles realizados, con fines de seguimiento.

4. No usar fuentes de agua con contaminación microbiológica, como tampoco heces humanas, tratadas o sin tratar, ni desechos urbanos sin clasificar o cualquier otro material que presente contaminación microbiológica y de metales pesados (ICA, 2016).

5. Para el caso del compostaje, se debe contar con un procedimiento documentado para la preparación de abonos orgánicos. No se deben usar las heces humanas tratadas o sin tratar, desechos urbanos sin clasificación o cualquier otro material que presente riesgo de contaminación microbiológica, metales pesados u otros productos químicos (ICA, 2020); se pueden usar desperdicios orgánicos como cáscaras de frutas y hortalizas, restos de cosecha, pasto, hojas caídas de los árboles, viruta de aserrín, cáscaras de huevo, servilletas, pañuelos de papel, etc. (Román et al., 2013).

6. En el caso de estiércol, preferiblemente de vaca o caballo, tierra y melaza, entre otros, cuando es crudo, no debe contaminar el suelo, el agua o los cultivos con patógenos, exceso de nutrientes, etc. El estiércol animal crudo deberá ser compostado, a menos que sea aplicado a tierras utilizadas para un cultivo no destinado al consumo humano; que sea incorporado al suelo no menos de 120 días antes de la cosecha de un producto cuya porción comestible tenga contacto directo con la superficie del suelo o las partículas del suelo, o sea incorporado al suelo no menos de 90 días antes de la cosecha de un producto cuya porción comestible no tenga contacto directo con la superficie del suelo o las partículas del suelo. En caso de ser seco o húmedo, es relevante que esté bien aireado y que tenga la relación adecuada de carbono y nitrógeno (NCAT, 2015). Luego de obtener el compost, este se empaca en sacos para su transporte o se utiliza directamente en la finca (Vásquez, 2020).

7. Registrar en un formato todas las aplicaciones de fertilizantes tanto foliares como edáficas, para llevar un control de insumos y garantizar la trazabilidad (Osorio, 2014).

Protección del cultivo

La protección del cultivo comienza desde la selección del material de siembra, así como la adecuada época de siembra, la aplicación de fertilizantes (orgánicos e inorgánicos) en la cantidad y momento adecuados, de acuerdo al plan de fertilización (Asociación de Bananeros de Colombia - Augura, 2009). En el lote ya establecido y con la ayuda de un técnico, se debe constituir un programa de control fitosanitario, promoviendo el manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) fundamentado en los conceptos de prevención, observación e intervención (Augura, 2009).

Prevención

Son medidas indirectas que se realizan de forma rutinaria en el cultivo y que contribuyen a mantener en bajos niveles los problemas sanitarios originados por plagas y enfermedades; de acuerdo con el ICA (2009), las siguientes son algunas de las medidas de prevención:

1. Realizar cultivos trampa.
2. Usar variedades resistentes.
3. Hacer rotación de cultivos.
4. Llevar a cabo una fertilización basada en el análisis del suelo.
5. Hacer poda de formación y sanitarias, en el tiempo y la forma adecuada.
6. Cosechar en el momento oportuno.
7. Desinfectar el calzado antes de entrar a los lotes.
8. Promover el desarrollo de especies de fauna benéfica.
9. Manejar el riego.
10. Realizar drenajes cuando sea necesario.
11. Desinfectar el sustrato antes de la siembra en el vivero.
12. Desinfectar las herramientas.
13. Retirar plantas enfermas.
14. Reciclar restos vegetales y disponerlos adecuadamente.
15. Usar material de siembra proveniente de viveros registrados ante el ICA.

Observación

Consiste en realizar monitoreo del cultivo, hacer sistemas de pronóstico y modelos de predicción, con el fin de evaluar el desarrollo y la presencia de plagas mediante inspecciones (figura 11.12a) y el uso de trampas (figura 11.12b).



Figura 11.12. Observación de problemas fitosanitarios. a. Observación mediante inspección o monitoreo; b. Uso de trampas para evitar la presencia de insectos plagas.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez y Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Son medidas utilizadas con el fin de reducir las poblaciones de las plagas y disminuir la incidencia y severidad de las enfermedades por debajo del nivel de daño económico. Estas medidas incluyen el control natural, que puede ser abiótico (altas o bajas temperaturas, lluvias, vientos, sequías) o biótico (enemigos naturales, parasitoides, depredadores) (figura 11.13). Igualmente, incluyen el control artificial mediante la exclusión (evitar el ingreso de la plaga mediante campañas preventivas), erradicación (eliminar la plaga mediante acciones legales), protección (construir barreras físicas y drenajes, modificar el pH del suelo, como medidas para mitigar la presencia de las plagas), inmunización (técnicas de mejoramiento genético con el fin de obtener plantas con tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades), aplicación legal (leyes, normas o disposiciones legales emanadas por la autoridad fitosanitaria del país, para evitar el ingreso de una plaga o una enfermedad) y aspectos físicos (uso de electricidad, temperatura, sonido y ultrasonido, pegantes y radiaciones, control mecánico) (Augura, 2009).



Figura 11.13. Predadores y parasitoides. a. Áfido parasitado; b. Mariquita predador de pulgones.

Fotos: Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Dichas medidas también se refieren a las prácticas etológicas (empleo de sustancias para alterar el comportamiento de las plagas), prácticas culturales (actividades agronómicas como podas de formación, sanitarias y de renovación, retirar del lote el material podado, control selectivo de malezas, preparación del suelo, tutorado) y prácticas químicas (uso de plaguicidas con dosis y en épocas recomendadas por el técnico y solo cuando sea necesario, respetando los periodos de carencia, así como la desinfección del calzado antes de entrar a los lotes) (Augura, 2009).

Todos los controles deben quedar registrados en formatos, para la verificación en un proceso de certificación.

Cosecha y poscosecha

Con respecto a la implementación de las BPA en estas etapas de la producción primaria, los productores deben tener presente las siguientes recomendaciones:

1. Cosechar en la época apropiada, cuando el producto ha alcanzado la madurez fisiológica.

2. Cosechar respetando los "periodos de carencia", tiempo que transcurre entre la última aplicación de un plaguicida y la cosecha, para evitar que el producto sea cosechado con residuos.

3. Cosechar en elementos de plástico que se puedan lavar y desinfectar, en el caso de que aplique.

4. Cosechar zanahorias tanto sanas como enfermas, pero de manera independiente, para evitar contaminación cruzada con los focos de infección.

5. Utilizar elementos de protección por parte de los operarios de campo durante la cosecha (gorra o sombrero, bloqueador, botas, camisa de manga larga).

6. Trasladar los productos cosechados en canastillas plásticas debidamente lavadas y desinfectadas, los cuales se protegen de la intemperie colocándolos a la sombra o cubriéndolos con otra canastilla o con algún objeto limpio. Durante esta labor debe evitarse el tratamiento inadecuado del producto.

7. Utilizar canastillas plásticas para la comercialización, con protección de contaminación microbiológica.

8. Tener cuidado en la manipulación de la zanahoria, para proteger de contaminación; por eso, durante la cosecha y poscosecha, principalmente, se deben mantener limpias las manos de los operarios, así como limpias y desinfectadas las mesas, los recipientes y canastillas, y además se debe realizar un transporte adecuado.

9. El agua utilizada en poscosecha que tenga contacto directo o indirecto con la zanahoria debe estar libre de microorganismos patógenos.

Soporte documental (registros, planes y procedimientos)

Una de las condiciones de la aplicación de las BPA es demostrar lo que se está haciendo en la producción primaria. Esto se logra a través de registros que se llenan en cada una de las actividades; además, es un requisito fundamental para la trazabilidad del producto y para la certificación de los predios. Estos registros pueden ser utilizados también para conocer los estados financieros del predio.

Registros documentales

Los registros que se exigen en general para la certificación de BPA agrícolas de acuerdo con la normatividad vigente del ICA son los siguientes:

1. Mantenimiento, limpieza, desinfección y calibración de equipos.
2. Capacitaciones al personal.
3. Preparación de abono orgánico en el predio.
4. Producción de material vegetal en la finca.
5. Aplicación e inventario de fertilizantes y plaguicidas.
6. Obtención del material vegetal.
7. Consumo de agua en la actividad agrícola.
8. Acciones de protección del agua.

Planes y procedimientos

Los productores deben llevar a cabo planes para la buena aplicación de las BPA (ICA, 2020), entre los cuales se pueden mencionar:

1. Plan de uso racional de agua.
2. Plan para evitar la erosión de suelos.
3. Procedimiento para la obtención del material de siembra.
4. Plan de mantenimiento, desinfección y calibración de equipos.
5. Plan de fertilización de acuerdo con el análisis del suelo.
6. Plan de manejo integrado de insectos plaga y enfermedades.
7. Plan de manejo de residuos líquidos y sólidos.
8. Procedimiento para la elaboración de abonos orgánicos.
9. Procedimiento para el manejo de equipos.

El soporte documental evidencia el funcionamiento eficaz de la aplicación de las BPA, que a su vez apoya los procesos de auditoría externa, de trazabilidad y de certificación. La consolidación de los registros de campo en un cuaderno o electrónicamente (dependiendo del nivel tecnológico) constituye el sistema de documentación (Vásquez, 2020).

Trazabilidad

Según el Decreto 931 del 28 de mayo del 2018, la trazabilidad es el proceso que permite identificar una especie vegetal desde la producción de la semilla hasta la adquisición de los productos vegetales terminados por parte del consumidor final, incluida la producción de la semilla, la trasformación, el procesamiento y el transporte, distribución y comercialización, y demás información asociada a todos los eslabones de la cadena productiva. Es la capacidad para seguir el movimiento de un producto a través de una o varias etapas de la producción, transformación y distribución, es decir, el conocimiento de la historia del alimento. El Sistema de Trazabilidad Vegetal estará integrado por el conjunto de actores, normas, procesos e información organizados para generar y mantener la trazabilidad en las especies y productos vegetales (Decreto 931 de 2018).

Es necesario, entonces, que los productores implementen un sistema de trazabilidad, a través del registro de todas las acciones o actividades cotidianas del manejo en la producción primaria, el cual se consigna en los libros de campo o en formatos. Estas actividades, identificadas dentro del sistema de trazabilidad vegetal, permitirán identificar las especies vegetales, desde la producción de la semilla, la trasformación, procesamiento, transporte, distribución y comercialización, y demás información asociada a todos los eslabones de la cadena productiva, hasta la adquisición de los productos vegetales terminados por parte del consumidor final (Decreto 931 de 2018). Lo anterior indica que, si los productores de zanahoria o algún agente externo de la cadena de producción detectan algún problema o algún peligro o riesgo en el producto, se debe identificar qué, cómo, cuándo y quién, en cada una de estas actividades de producción. Esto permitirá precisar o caracterizar la causa de la eventualidad registrada que pudiera haber afectado la inocuidad del producto.

Otras consideraciones:

1. Una persona debe ser la responsable de llenar estos formatos o registros, previa capacitación.

2. Es necesario diseñar un formato de fácil acceso para la toma de datos.

3. Si se tienen varios lotes y son manejados del mismo modo, se pueden asumir como un solo lote, siempre que se reporte cada una de las actividades.





Foto: Tatiana Rodríguez

Para no olvidar...

» Con la aplicación de las normas de BPA en los predios de los agricultores de zanahoria se benefician los diferentes eslabones de la cadena de producción: el agricultor, porque aporta un valor añadido a su producto, debido a que está ofreciendo un producto inocuo que genera un ingreso adicional (producto diferencial); los consumidores, al estar seguros de que consumen un producto inocuo y libre de contaminantes desde la producción hasta la comercialización; el comercio y la industria, porque pueden vender y procesar productos inocuos mediante la adopción de medidas sanitarias, fitosanitarias y de inocuidad, de acuerdo con las políticas establecidas por el ICA, y la sociedad en general, porque producir con BPA asegura una agricultura sostenible con la que se protege el medio ambiente.

» Cuando el productor ha llevado a cabo todos los protocolos para la implementación de las BPA en el cultivo de zanahoria, puede certificar su predio bajo el reglamento del ICA, para lo cual debe solicitar, en la oficina de su jurisdicción, tal certificación, siguiendo la normativa previamente mencionada.

Conclusiones y perspectivas de la autora

» La implementación de las BPA no solo garantizan el cumplimiento de estándares de inocuidad alimentaria, sino que también generan beneficios económicos y sociales al permitir acceso a mercados exigentes, tanto nacionales como internacionales, que valoran productos certificados y producidos bajo condiciones responsables. Su adopción mejora la calidad del producto, protege la salud de los consumidores y fortalece la sostenibilidad agrícola.

» La normativa nacional e internacional y certificaciones como GLOBAL G.A.P. son herramientas clave para garantizar la trazabilidad, el cumplimiento regulatorio y el posicionamiento en los mercados especializados.

» Actualmente, la adopción de las BPA en el cultivo de zanahoria es parcial y desorganizada, lo que evidencia la necesidad de sensibilización, capacitación técnica y apoyo institucional para que los productores adopten prácticas adecuadas de manejo de agua, almacenamiento, higiene, uso de agroquímicos y condiciones laborales.

» La adecuación de instalaciones básicas en la finca, como unidades sanitarias, áreas de almacenamiento, zonas de descanso y estaciones de lavado, es un pilar indispensable para cumplir con los requisitos de certificación en BPA. Su implementación mejora no solo la inocuidad del producto, sino también el bienestar y la seguridad del trabajador agrícola, así como el componente documental y la trazabilidad, que son esenciales para verificar el cumplimiento de las BPA. Los registros permiten evidenciar el proceso, identificar riesgos, tomar decisiones correctivas y avanzar hacia la certificación del predio.

» La certificación en BPA, aunque voluntaria, se convierte en una ventaja competitiva, pues permite a los productores ofrecer alimentos confiables, saludables y sostenibles, fortaleciendo sus vínculos con el consumidor y accediendo a nichos de mercado que valoran la calidad y la responsabilidad social y ambiental.

» La implementación de las BPA desde la perspectiva técnico-productiva, se consolida como una estrategia integral para mejorar el manejo del cultivo, desde la selección del lote hasta la poscosecha, así como la implementación de infraestructura básica en la finca (unidades sanitarias, bodegas, zonas de descanso, señalización), acciones fundamentales para el cumplimiento de los requisitos técnicos y garantizar la inocuidad del producto. En consecuencia, desde el alcance sanitario y de inocuidad, el enfoque preventivo de las BPA reduce riesgos microbiológicos, químicos y físicos a lo largo de la cadena de producción.

Referencias

Agencia de Desarrollo Rural. (2021). *Guía técnica requisitos para acceso a mercados agroalimentarios*. https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Requisitos-para-Acceso-a-Mercados-Agroalimentarios.pdf

Asociación de Bananeros de Colombia [Augura]. (2009). *Uso seguro de plaguicidas e insumos agrícolas*. https://es.slideshare.net/slideshow/cartilla-uso-seguro-de-plaguicidas-bpa/65784041

Asociación Nacional de Industriales [ANDI]. (2017). *Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia*. http://cep.unep.org/repcar/capacitacion-yconcienciacion/andi/publicaciones-andi/Guia%20ambiental%20plaguicidas.pdf

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2009). *Mis buenas prácticas agrícolas: guía para agroempresarios*. https://es.slideshare.net/slideshow/cartilla-bpa/231666647

Corporación Colombia Internacional (CCI). (s. f.). *Agricultural value*. Colombia GAP. http://www.cci.org.co/colombiagap/

Corporación Colombia Internacional (CCI). (2011). *Experiencia en implementación de Buenas Práctica Agrícolas: zonas rurales de Bogotá D.C*. Secretaría Distrital de Ambiente.

Decreto 931 de 2018. "Por el cual se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal y se incluye como Título 11 de la Parte 13 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=86580

Decreto 1076 de 2015. "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf

Decreto 3930 de 2010. "Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI —Parte III— Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/decreto-3930-2010.pdf

Federación Nacional de Cafeteros (2024, febrero). *El manejo de envases vacíos de plaguicidas de Campo Limpio*. https://federaciondecafeteros.org/static/files/ManejofungicidasCampoLimpio.pdf

Franco, G., & Quintero, L. M. (2024, 5 de enero). *Situación del sistema de producción de Zanahoria en el Oriente Antioqueño* [Informe interno de proyecto en ejecución]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Global GAP. (s. f.). *Global Gap 5-Steps to Certification*. https://qcsinfo.org/download/global-gap-5-steps-to-certification-spanish/

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2009). *Resolución 003180. "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"*. https://www.ica.gov.co/getattachment/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones-Oficinas-Nacionales/2020/2020R78006/2009R3180.pdf.aspx?lang=es-CO

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017). *Resolución 30021. "Por medio de la cual se establecen los requisitos para la Certificación en Buenas Prácticas Agrícolas en producción primaria de vegetales y otras especies para consumo humano".* https://www.ica.gov.co/getattachment/9d8fe0fa-66d2-4feb-9513-cbba30dc4844/2017R30021.aspx

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). *Resolución 082394. "Por medio de la cual se Modifica los artículos 2º, 3º, 4º, 12, y 14 de la Resolución 30021 de 2017"*. https://www.ica.gov.co/getattachment/446ac25a-0fd7-4fd8-ae9f-2e50f0047c8b/2020R82394.aspx

International Dinamyc Advisors [Intedya]. (s. f.). *Protocolo Global G.A.P. Sistema de Gestión de Calidad y Seguridad del Sector Primario* https://www.intedya.com/internacional/49/consultoria-protocolo-global-gap.html

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Ministerio de Salud y Protección Social. (2018). *Resolución 5897. "Por la cual se determina la permanencia del reglamento técnico que regula los límites máximos de residuos de plaguicidas —LMR— en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes"*. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-5897-de-2018.pdf

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MinCIT]. (2022). *Medidas sanitarias y fitosanitarias MSF*. http://mincit.gov.co/minindustria/estrategia-transversal/regulacion/medidas-sanitarias-y-fitosanitarias-msf

Ministerio de la Protección Social. (2007). *Resolución 2906. "Por la cual se establecen los Límites Máximos de Residuos de Plaguicidas – LMR en alimentos para consumo humano y en piensos o forrajes"*. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-2906-de-2007.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social (2013). *Resolución 2674. "Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones".* https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf

National Center for Appropriate Technology [NCAT]. (2015). *Hoja de datos: estiércol en sistemas de producción orgánica*. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Esti%C3%A9rcol%20en%20Sistemas%20de%20Produccion%20Organica.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *Manual de buenas prácticas agrícolas para el productor hortofrutícola* (2.ª ed.). https://www.fao.org/3/as171s/as171s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2026a). *Codex Alimentarius. Normas internacionales de los alimentos*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/home/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2026b). *Codex Alimentarius. Normas internacionales de los alimentos. Residuos de plaguicidas en los alimentos y piensos*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/pestres/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Organización Mundial del Comercio [OMC]. (2018). *Comercio y normas alimentarias*. https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/tradefoodfao17_s.pdf

Organización Mundial del Comercio [OMC]. (s. f.). *Medidas sanitarias y fitosanitarias*. https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/sps_s.htm

Osorio, C. (2014). Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). En *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 153-181). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). http://hdl.handle.net/20.500.12324/37030

Reglamento (CE) n.º 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo. (2005, 23 de febrero). Relativo a los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal y que modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo Texto pertinente a efectos del EEE. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex:32005R0396

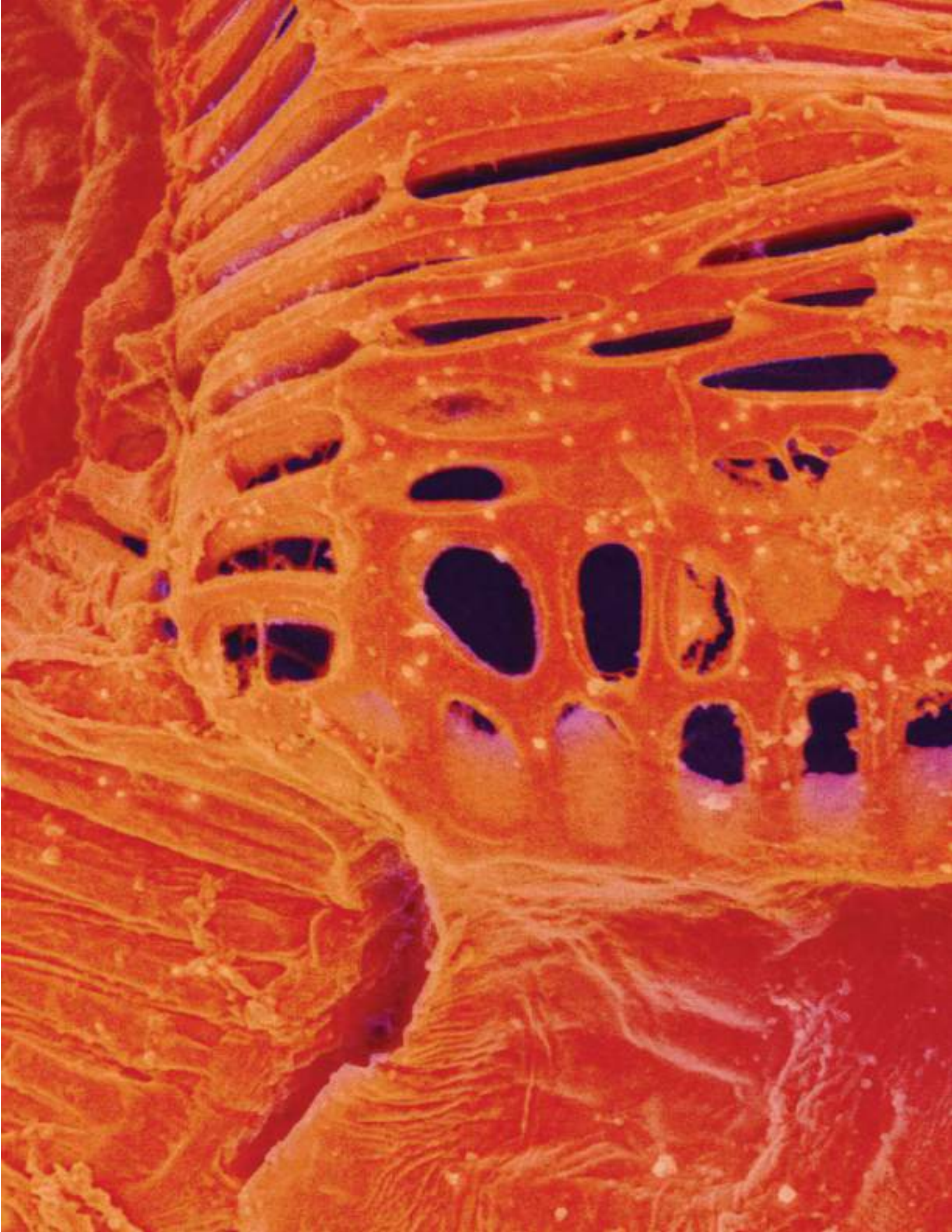
Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

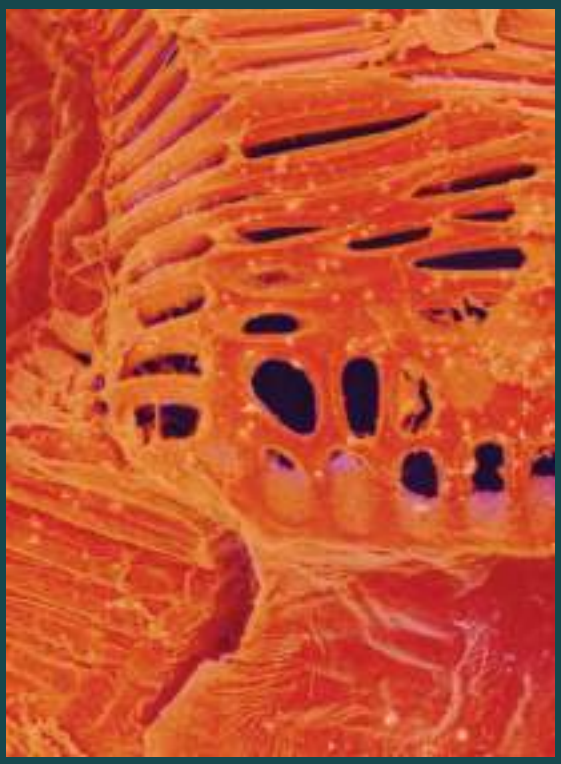
Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [Senasa]. (s. f.). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de zanahoria*. https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2020/07/Guia-BPA-ZANAHORIA.pdf

Torrado Pacheco, A. (s. f.). *Buenas prácticas agrícolas: sistema de aseguramiento de la inocuidad de los alimentos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://www.ica.gov.co/getattachment/b51b85e3-7824-44f7-858d-c0af5a653568/Publicacion-3.aspx

Vásquez, L. A. (2020). Buenas prácticas agrícolas (BPA). En G. Franco & J. A. Bernal (Comps.), *Tecnología para el cultivo de la mora ('Rubus glaucus' Benth.)* (pp. 250-292). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). http://hdl.handle.net/20.500.12324/36636







Título

Deshidratación

Técnica

Microscopía de barrido SEM (*scanning electron microscope*) con agrupación de imágenes del detector de electrones secundarios y del detector de electrones retrodispersados. Coloración digital.

Autoría

Nydia Yadira Arias Morales
Jaime Wilches
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Sección de raíz en donde se presenta el colapso de las estructuras de los haces vasculares por deshidratación.

Capítulo XII

Cosecha y poscosecha de la zanahoria

Germán Franco
Luz Mary Quintero Vásquez

Importancia de la poscosecha

La zanahoria es una fuente alimenticia rica en provitamina A y carotenoides, por lo cual hace parte de la dieta alimenticia de una gran cantidad de personas; es una de las hortalizas más consumidas y producidas, y actualmente es considerada una de las diez especies más importantes en términos económicos en el mundo (Rodrigues et al., 2022).

En el eslabón de la producción agrícola, la información mundial indica que las mayores pérdidas de vegetales frescos se producen en la etapa de poscosecha, donde las frutas y las verduras tienen la mayor participación, puesto que de cada tres toneladas se pierde o se desperdicia una. Ampliando la mirada a la cadena de todos los alimentos que se pierden y desperdician, el 64 % ocurre en las etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y procesamiento industrial; el 14 % se pierde en la cosecha y distribución, correspondiente a 400.000 millones de USD aproximadamente, y el porcentaje restante está representado por los desperdicios generados en el comercio minorista y el consumo de los hogares (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021).

Conceptualmente, la pérdida y el desperdicio de alimentos son diferentes. Básicamente, la **pérdida de alimentos**[1] ocurre a lo largo de la cadena de suministro alimentaria, desde la cosecha hasta el nivel minorista, pero no lo in-

[1] Este concepto incluye los subproductos de zanahoria identificados en dos localidades de Antioquia, Colombia.

cluye, y es el resultado de las acciones de los proveedores, lo que afecta el suministro de alimentos. Por su parte, el **desperdicio de alimentos** se produce a nivel de la venta al por menor y el consumo (FAO, 2019). La figura 12.1 muestra las etapas del proceso en donde ocurre pérdida y desperdicio de alimentos (PDA) a lo largo de la cadena de suministro de zanahoria, desde la producción hasta su consumo final en los hogares y comercios, así como las principales causas.

Pérdida de alimentos



En los lotes

Se realiza la selección de zanahorias, de acuerdo con su calidad, en buena, regular y mala, empacadas en tres tipos de costales. Los menores ingresos ocurren cuando la zanahoria no es comercializada con el valor total, comparada con las zanahorias de mejor calidad, y también se representa por la presencia de semillas de zanahorias blancas del 2 % (mano de obra, insumos y semilla). Los productores indican que la falta de controles químicos preventivos puede producir pérdidas por ataque de plagas y enfermedades entre el 80 y el 100 % de la producción.



Lavado

En el proceso de lavado de la zanahoria, sea manual o mecánico, una vez es descargada de la máquina y pasa a la plataforma, se empaca por tipo embudo. Allí se realiza una selección rápida de las zanahorias que no cumplen con la calidad del mercado por daño sanitario o físico.



Desperdicio de alimentos

Transporte

Inadecuadas condiciones de transporte (falta de cobertura o refrigeración). Una buena infraestructura y una logística comercial eficaz podría evitar la pérdida de alimentos. La elaboración y el envasado son determinantes en la conservación de alimentos, y las pérdidas suelen deberse a instalaciones obsoletas.





Consumidores - Hogar

Se relaciona con rutinas de provisionamiento inadecuadas, preocupaciones por la inocuidad, la planificación de las compras y las comidas, exceso de compra (influido por porciones y grandes tamaños de envases) confusión sobre las etiquetas y almacenamiento inadecuado en el hogar.

Selección final

Sucede luego del lavado manual en poceta o en quebrada. El productor extiende la zanahoria en patio o manga, y manualmente realiza otra selección rápida de las zanahorias, empacando las adecuadas y descartando las que no cumplen con la calidad del mercado por daño sanitario o daño físico.

Figura 12.1. Momentos de la cadena de suministro de la zanahoria en Marinilla y El Santuario, y características de las pérdidas y desperdicios.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2019).
Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez y Jaison Martínez Saldarriaga

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015) señala que se requiere mitigar los índices de PDA, lo cual comprende uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente la meta 12.3: "De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio [...] y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha", ya que sus incrementos impactan negativamente la seguridad alimentaria y la nutrición.

Además, esta problemática incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que representan el 7 % de las emisiones globales, y en consecuencia aumenta la contaminación del medio ambiente, la degradación de los ecosistemas naturales y la pérdida de biodiversidad. Además, las PDA también afectan el uso del suelo, pues se ocupa el 30 % de tierras con vocación agrícola en la producción de alimentos que nunca serán consumidos (FAO, 2012).

Las PDA en el mundo presentan variaciones significativas según el tipo de producto agrícola. Los cultivos como raíces, tubérculos y oleaginosas reportan los niveles más altos de mermas, seguidos por las frutas y las hortalizas (figura 12.2). Este comportamiento es esperable, considerando que frutas y hortalizas son productos con alta perecibilidad, debido a sus características fisiológicas y bioquímicas (FAO, 2019).

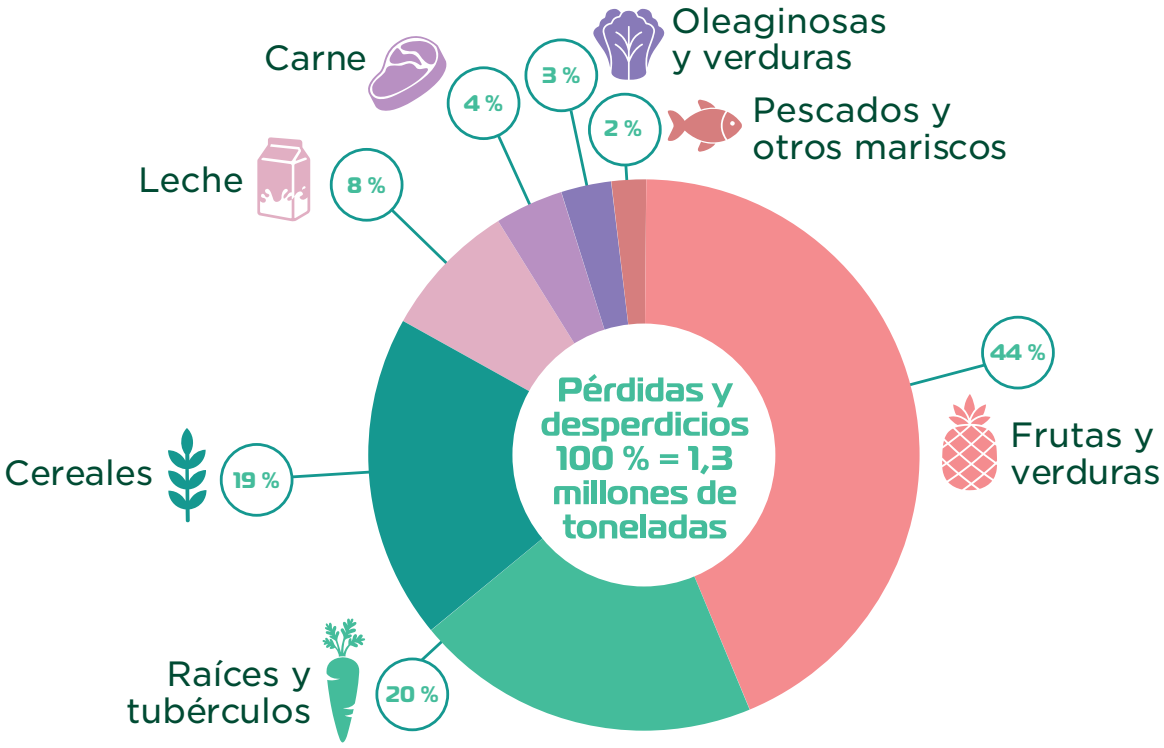


Figura 12.2. Pérdidas y desperdicios de alimentos de acuerdo con el grupo de productos.

Fuente: Elaboración propia con base en FAO (2019) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2024)

En Colombia, el eslabón con mayor participación en las PDA del total de los alimentos es el agropecuario, con el 40,5 %, seguido por la distribución y el comercio minorista, con el 20,6 %, luego están la poscosecha (19,8 %) y el almacenamiento y consumo (15,6 %) (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016). En cuanto a zanahoria, ubicada dentro del segmento de las raíces y tubérculos, las pérdidas y desperdicios alcanzan valores cercanos al 30 % (Kaur et al., 2020; Rodrigues et al., 2022), información que coincide con lo reportado por Ochoa (2015) y por el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (Pectia, 2016), que identificaron que los subproductos[2] de hortalizas participaron con un 25-30 %, situación que a la fecha no ha cambiado. Por su parte, Quintero y Franco (2023) identificaron en fincas de productores de zanahoria en los municipios de Marinilla y El Santuario 27,5 % de subproductos categorizados como zanahoria de calidades de segunda y tercera.

En el sector de los hogares, el desperdicio equivale a 32 kg per cápita, siendo las raíces y tubérculos el rubro más desperdiciado, con 800.000 t/año. Finalmente, se observa que las pérdidas en Colombia en cuanto a raíces y tubérculos son siete puntos porcentuales superiores con respecto al resto del mundo, lo que la convierte en una situación preocupante que debe ser atendida de manera urgente (DNP, 2016). Reducir las pérdidas en poscosecha resulta más estratégico para el ambiente, la sostenibilidad y la economía territorial que ampliar las áreas de producción para compensarlas.

Planella (1987) indica que la poscosecha es el "lapso o periodo de tiempo que transcurre desde el momento mismo en que el producto es retirado de su fuente natural y acondicionado en la finca, hasta el momento en que es consumido bajo su forma original o sometido a la preparación culinaria o al procesamiento y transformación industrial".

Atendiendo a lo anterior, cuando se ha realizado un manejo integral del cultivo incluyendo estrategias como las planteadas por Kader (2007a), mediante la aplicación de buenas prácticas de cultivo, el uso de genotipos adaptados a los ambientes de producción, cosecha en el momento óptimo y un manejo en poscosecha que asegure el mantenimiento de la calidad y la inocuidad del producto, es de esperar que en la recolección se logren los beneficios de este esfuerzo. Sin embargo, cuando el manejo ha sido deficiente, la zanahoria obtenida no será de buena calidad para satisfacer los requisitos del mercado y es seguro que los recursos que se invirtieron durante meses —como insumos, recursos naturales, recursos humanos y el crédito para la producción— se habrán perdido parcial o totalmente. Similar a lo expresado para la fase de producción, si durante la etapa de poscosecha la zanahoria no se maneja correctamente, se puede malograr la calidad obtenida; por lo tanto, existirá la posibilidad de que gran parte de la inversión realizada por el productor se pierda o su cosecha sea comprada a precios inferiores a los esperados.

Obtenido el producto con las mejores condiciones de calidad, hay que tener en cuenta que

[2] Un subproducto es todo aquel bien que se obtiene de manera secundaria dentro del proceso productivo, es decir, que se consigue al mismo tiempo que el producto principal, pero tiene un valor de venta mucho menor que este.

este concepto abarca diferentes características, pues en cuanto al cliente final, es importante satisfacer sus expectativas debido a que el consumidor espera un producto que reúna los requisitos según el uso final que le vaya a dar. En el caso de la zanahoria se tiene en cuenta la frescura, la firmeza, que no presente daños mecánicos, el color, la forma, el tamaño, el sabor y la crujencia, además del valor nutritivo y las propiedades benéficas para la salud, inocuidad y precio.

La tendencia mundial de los consumidores hacia el área de productos frescos con algún grado de adecuación o listos para consumir, dada su comodidad y rapidez de preparación, ha propiciado el crecimiento de este mercado con ofertas como zanahorias peladas, troceadas, en conserva y dosis unitarias, algunas de las cuales se presentan con salsas u otros acompañantes y que son preferidas por determinados segmentos de consumidores que aprovechan estos beneficios y contribuyen a un menor desperdicio. El productor y el comercializador juegan un rol importante en la producción y distribución, puesto que de ellos depende la obtención y preservación de la calidad; ellos deben comprender que la pérdida de calidad en los productos frescos es acumulativa, pues cada episodio de mal manejo reduce la calidad al consumidor final (Bruhn, 2007; Sargent et al., 2019). Barrett et al. (2010) consideran que la calidad de un vegetal está determinada por cuatro características: 1) color y apariencia, 2) sabor y aroma, 3) textura y 4) valor nutricional. Estos factores son intrínsecos a la zanahoria, pues a los ojos del consumidor su color y forma son llamativos, posee un agradable sabor y aroma en fresco, y en diversas preparaciones su crujencia la hace apetecible, además de considerarse la reina de los carotenos (poderosos antioxidantes).

Con el objetivo de mantener la calidad del producto en la poscosecha, se deben conocer los factores que influyen sobre la hortaliza y los cambios que sufre durante este periodo. Las actividades de la poscosecha se encargan de conectar la producción en campo, los parámetros de calidad exigidos por el cliente, los consumidores y la agroindustria, por lo que se debe garantizar que el producto seleccionado que llega a este eslabón de la cadena cumpla con los estándares requeridos. Esto se logra mediante todas las labores que en esta etapa mantengan su integridad, evitando diferentes fuentes de daño y, además, se pueda cumplir con mejores aspectos de calidad para lograr los mayores márgenes de utilidad.

Para realizar la cosecha y la poscosecha de la mejor forma posible, es importante conocer algunos aspectos de la fisiología de la zanahoria (raíz), los cuales explican su respuesta bajo diferentes condiciones o estímulos ambientales; esta información le permitirá al agricultor mantener la calidad final de su producto.

Según Almeida y Zambrano (2007, p. 15), "la zanahoria fisiológicamente tiene relación entre la tasa de respiración y la composición química, la cual varía según el estado de desarrollo de la raíz, aumentando las cantidades emitidas de CO_2 a medida que crece, logrando un equilibrio cuando adquiere el volumen de cosecha". Además, al ser un órgano de almacenamiento, la zanahoria conserva la mayoría de sus sistemas reguladores bioquímicos, y por ende sus propiedades, por cierto tiempo después de la recolección.

Aspectos fisiológicos de la poscosecha

Con el estudio y entendimiento de los procesos fisiológicos que ocurren en los productos hortifrutícolas después de cosechados, se puede programar la realización del mejor manejo del vegetal, de tal forma que llegue en las mejores condiciones al eslabón final de la cadena de producción.

Respiración en poscosecha

Para realizar el mejor manejo de la zanahoria durante la cosecha y en poscosecha, hay que tener en cuenta que este vegetal es una estructura viva, que respira, transpira, se envejece y muere como todo ser viviente; por lo tanto, existen factores que favorecen ciertas características del proceso natural de maduración. Esta hortaliza tiene un patrón de respiración no climatérico, es decir que madura mientras está adherida a la planta madre y este proceso se detiene después de ser cosechada; además, su calidad se ve seriamente afectada si se cosecha antes de alcanzar completamente su maduración. Esta hortaliza presenta una tasa respiratoria con una disminución lenta y progresiva hasta las últimas etapas del desarrollo y luego de la cosecha, hasta la muerte del vegetal (Wills et al., 1984; Simson & Straus, 2010).

La respiración es el proceso metabólico que realiza la planta mediante el cual los compuestos orgánicos almacenados como carbohidratos, proteínas y grasas son desdoblados a otros productos más simples. Para respirar, las plantas utilizan oxígeno (O_2) y producen dióxido de carbono (CO_2), con liberación de energía (figura 12.3). Los productos recién cosechados no pueden reemplazar los carbohidratos ni el agua perdidos después de la cosecha, puesto que se separaron de la planta madre; por lo tanto, la respiración proporciona estos compuestos y utiliza el almidón o el azúcar almacenados y otras moléculas para mantener vivo el vegetal en la etapa de poscosecha. Debido a que durante la respiración se van perdiendo paulatinamente las reservas alimenticias, acumuladas por la planta durante la etapa de cultivo, se produce la senescencia y el producto muere y se descompone; entonces, en la medida que se agotan las reservas, se disminuirá la vida útil, lo que trae como consecuencias para el consumidor la disminución del valor alimenticio, del sabor (dulzura), del peso y, en caso de haberse realizado una deficiente poscosecha en campo, pérdidas económicas para el productor (Kader & Saltveit, 2002; Simson & Straus, 2010).

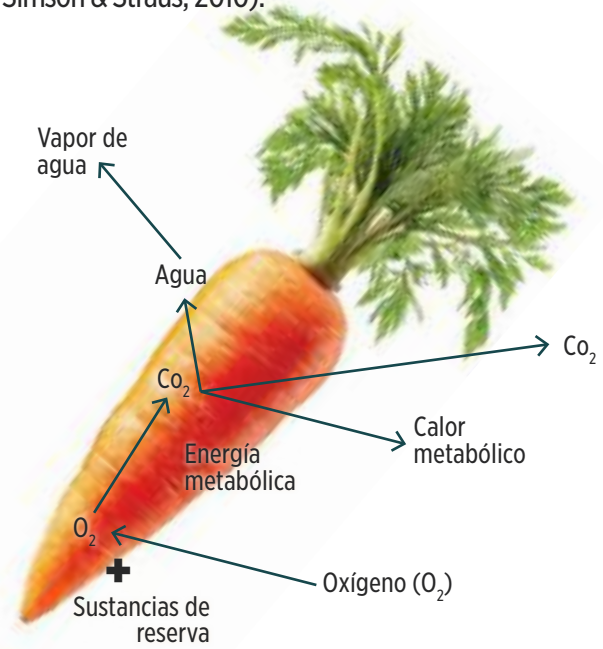


Figura 12.3. Esquema del proceso respiratorio en zanahoria.

Fuente: Elaboración propia

Es importante tener en cuenta la relación inversa entre la intensidad respiratoria (IR) y la vida útil de los vegetales frescos (Kader & Saltveit, 2002); es decir, a una mayor IR se tendrá una menor duración del vegetal después de cosechado. La vida útil de la zanahoria con el follaje se clasifica como un vegetal con baja (5-10 mL CO_2/kg · h) a moderada respiración (11-20 mL CO_2/kg · h) en condiciones de almacenamiento de 5 °C, lo que indica un potencial de conservación medio (4 a 8 semanas) (Kader & Salveit, 2002; Kader, 2007a).

Transpiración y pérdida de agua

La transpiración es un proceso físico consistente en el intercambio de agua entre el agua libre del vegetal (zanahoria) y el ambiente donde este se encuentre, lo que se manifiesta a través de la evaporación del agua libre de los tejidos del producto (Kader, 2007b) y pérdida de peso, hecho que disminuye los ingresos durante la comercialización. El contenido de humedad en el aire es un factor que condiciona la pérdida de agua del producto. En el interior de la planta se encuentran los espacios de aire necesarios para que el agua y los gases puedan entrar y salir en todas sus partes; el aire en estos espacios tiene vapor de agua, el cual hace presión y escapa al ambiente a través de los poros de la superficie del vegetal, lo que produce su pérdida y deshidratación (Simson & Straus, 2010).

La pérdida de agua se acelera cuando el flujo del aire sobre el producto tiene alta velocidad (Simson & Straus, 2010). Por ello, cuando la zanahoria no se protege de las corrientes de aire durante el transporte, pierde gran cantidad de agua y, por tanto, de peso vendible. Los productos frescos recién cosechados siguen perdiendo agua, pero, a diferencia de cuando están adheridos a la planta en el campo, ya no pueden reemplazar el agua y, por consiguiente, consumen el agua que tiene el producto al momento de la cosecha (Simson & Straus, 2010). La zanahoria presenta en promedio un 86 % de humedad (Srivalli et al., 2022) y, después de la cosecha, la raíz (zanahoria) no puede reponer el agua que pierde. Esto, sumado a un mal manejo en poscosecha, ocasiona que el producto se torne marchito, pierda peso (Simson & Straus, 2010) y disminuya su brillo. Según Ben-Yehodua y Rodov (2003), en este vegetal es admisible una pérdida hasta del 8 % de su peso, desde la cosecha hasta el momento de ser adquirido por el consumidor final.

El área superficial del producto o la relación entre su superficie y el volumen es un factor que se relaciona con el tamaño de la zanahoria y su forma; así, zanahorias con un área superficial mayor tendrán más riesgo de deshidratación, de manera que las quebradas, troceadas y las más pequeñas y delgadas perderán peso a una mayor velocidad que cuando el vegetal está entero o es de mayor tamaño. Es el caso expuesto por Sastry et al. (1978), quienes señalan que la forma de las verduras también afecta la relación entre la superficie y el volumen. Las zanahorias largas, delgadas y con forma de cono pierden más peso que las gruesas y cilíndricas en un entorno determinado. Las zanahorias más largas y delgadas se arrugan más rápido en las puntas debido a la mayor superficie por unidad de volumen. Esta situación se puede remediar manteniendo el producto en condiciones de alta humedad relativa.

En poscosecha es común que la zanahoria se comercialice troceada en fresco, proceso que aumenta el área superficial del producto y estimula la producción de fenoles, los cuales produce la planta como un medio de defensa ante las posibles pudriciones que puedan ocasionar los cortes. Esto es importante porque dichos compuestos actúan como antioxidantes para los humanos, pero esta práctica tiene un efecto negativo sobre los carotenoides, porque los disminuye al igual que el color, y por lo tanto no se pueden aprovechar al máximo las propiedades de provitamina A de este compuesto (García, 2018).

Evolución de las características fisicoquímicas durante la poscosecha y el almacenamiento

El contenido de fitoquímicos importantes que contiene la zanahoria varía en función del material cultivado, las condiciones ambientales, el manejo agronómico, la poscosecha realizada y el almacenamiento, en caso de que se realice (Nicolle et al., 2003).

El primer cambio físico en las zanahorias después de la cosecha es la *pérdida de humedad*, cuyos síntomas visibles consisten en un arrugamiento que inicia en la piel y continúa progresivamente al tejido interior; pérdidas de peso del 0,5 % no presentan signos visibles de deshidratación (Larsen & Wold, 2016), en general, esta es baja, con valor alrededor de 1,5 % (Richmond et al., 2010). El recubrimiento de la zanahoria con aloe reduce la pérdida fisiológica de peso, al controlar la permeabilidad del vapor de agua, la movilización del oxígeno y el dióxido de carbono de la raíz hacia el ambiente exterior, lo que contribuye además a alargar la vida útil del producto (Srivalli et al., 2022). Las pérdidas tolerables de peso deben ser menores al 8 %, pues de lo contrario se observa deshidratación y arrugamiento, perdiendo posibilidades de comercialización (Bevan et al., 1997).

En la zanahoria, los azúcares y los ácidos orgánicos son los compuestos encargados de conferirle el sabor y la dulzura; además, los azúcares, los ácidos orgánicos y el pH son determinantes en la constitución del aroma (Simon, 1985; Yusuf et al., 2021), los mono- y sesquiterpenoides volátiles aportan crujencia y sabor, los compuestos fenólicos influyen en la aparición de sabores amargos, los aminoácidos libres contribuyen al sabor delicado, el ácido glutámico influye en el sabor, las iononas imparten un sabor floral desagradable y el 2-metoxi-3-butilpirazina contribuye con el aroma (Simon, 1985; Srivalli et al., 2022).

Los *sólidos solubles* no presentan cambios consistentes en el tiempo y, aunque son relativamente estables, durante el almacenamiento presentan una tendencia a la disminución (Richmond et al., 2010; Larsen & Wold, 2016; Ghorbani et al., 2021). La zanahoria es rica en sacarosa (azúcar principal), fructosa, sorbitol y glucosa (Yusuf et al., 2021). La conservación de los azúcares después de la cosecha se puede realizar con la inmersión en aloe, compuesto que al disminuir la intensidad respiratoria ayuda en la conservación de los sólidos solubles totales (Srivalli et al., 2022). Las zanahorias de color púrpura tienen mayor contenido que las demás en azúcares totales, ácidos orgánicos, polifenoles y actividad antioxidante (Yusuf et al., 2021).

En observaciones de campo en el Oriente antioqueño, entre los 77 y 140 días después de la siembra (DDS) en la zanahoria comúnmente utilizada en la zona, la mayor acumulación de sólidos solubles totales se presenta entre los 107 y 126 DDS, con valores entre 6,6 - 7,6; en general su tendencia es similar a lo informado por Richmond et al. (2010), Larsen y Wold (2016) y Ghorbani et al. (2021). En cuanto a la calidad de la zanahoria, son mejores las que poseen una mayor cantidad de floema (parte externa) respecto al xilema (corazón) (Alessandro, 2013; Saavedra et al., 2019), porque en el floema se acumulan mayor cantidad de sólidos, carotenos y azúcares. La *relación floema-xilema* también es importante en la agroindustria (Richmond et al., 2010), aspecto en el que Bassett (1973) menciona una relación inversa entre el tamaño del xilema y los sólidos solubles totales (SST), pues entre mayor sea el floema, los SST serán mayores.

Así, la relación floema-xilema observada en el Oriente antioqueño para el material de siembra modal es similar (0,54), durante el periodo de observación comprendido entre los 77 y los 140 días después de la siembra (figura 12.4).



Figura 12.4. Corte transversal de zanahoria mostrando los haces vasculares. Xilema (parte interna-centro) y floema (parte externa).

Foto: Germán Franco

Los *ácidos orgánicos* presentes en zanahorias son el isocítrico (ácido principal), cítrico, maleico, málico, láctico, fumárico, oxálico y adípico, cuya presencia está influenciada por el clima, las condiciones de manejo del cultivo y la variedad (Yusuf et al., 2021). En el Oriente antioqueño, la acidez tiende a ser estable en el tiempo, con un promedio de 0,021 % de ácido málico.

En general, *el potencial de Hidrógeno (pH)* se mantiene constante los primeros días después de la cosecha y empieza a disminuir hacia el día 12 (Ghorbani et al., 2021), situación similar a lo observado en las condiciones ambientales del Oriente antioqueño, con valores que fluctúan entre 6,2 y 5,9. Si se tiene en cuenta un índice de madurez basado en los sólidos solubles/acidez titulable, los mayores valores se obtienen entre los 107 y 126 días, época que coincide con la recomendación realizada para la cosecha en el Oriente antioqueño.

Los vegetales que acumulan *carotenoides* pueden transformarlos biológicamente en vitamina A (provitaminas A). Se estima que aproximadamente el 60 % de la vitamina A dietaria proviene de las provitaminas A (Simpson, 1983). La síntesis y acumulación de carotenos en este vegetal está influenciada por el tipo de material sembrado y por la densidad de siembra (Schulzová et al., 2022). En zanahoria, la evolución de los carotenos es ascendente hasta los tres meses después de la siembra, que disminuyen progresivamente tras la cosecha (Phan & Hsu, 1973).

Según Lee (1986), el almacenamiento refrigerado influye positivamente en el mantenimiento de los carotenoides; en condiciones de temperatura de 2 °C y 90 % HR, el α-caroteno y el β-caroteno aumentan levemente durante los primeros días de almacenamiento, para luego disminuir progresivamente. Resultados similares para el β-caroteno fueron encontrados por Berger et al. (2008), al almacenar a 4 °C. Este comportamiento también fue confirmado por Negi y Roy (2000), quienes observaron disminución del β-caroteno al almacenar por encima de los 7,5 °C y a temperatura ambiente. La concentración de carotenos en zanahorias anaranjadas y moradas es mayor en el floema (parte externa) que en el xilema (corazón o parte interna de la raíz), como se muestra en la figura 12.4 (Feng et al., 2019).

Por otra parte, el etileno está correlacionado con la interrupción de la dormancia en zanahoria. El almacenamiento a 0 °C favorece que no se rompa la dormancia y, por lo tanto, no ocurra la emisión de brotes y raíces en la zanahoria. Sin embargo, cuando el almacenamiento es prolongado, los niveles de etileno se incrementan y se puede observar la emisión de brotes y raíces (Halloran et al., 2005), situación indeseable para la comercialización.

En cuanto al *color y la firmeza* del producto, Richmond et al. (2010) detectaron cambios mínimos en el color de la zanahoria durante ocho semanas de almacenamiento, notando solamente una leve disminución de la luminosidad, que atribuyen al inicio de la senescencia. En el Oriente antioqueño para el material comúnmente sembrado, a partir de los 77 DDS se puede decir que la raíz está próxima a alcanzar la tonalidad y la saturación típica de color, y en la medida que transcurre el tiempo el color se va acentuando, debido a que en este periodo los valores de la coordenada de color a* son superiores a 20, y para b* superiores a 35, lo que junto con el valor del tono con promedio de 59° producen un color anaranjado.

Durante el periodo de tiempo recomendado para la cosecha (115-125 DDS), la evolución del color en la parte externa de la zanahoria es mínima, por lo cual se puede decir que ha alcanzado el color naranja típico (figura 12.5). Entre la zona externa de la raíz y la parte interna (floema, xilema), la evolución del color indica que hay diferencias, siendo el color naranja más intenso en la parte interna. En esta zona, la variación del color en el floema es mínima, mientras que en el xilema se notan cambios visibles a los ojos del consumidor, pues la diferencia de color ΔE tiene un valor de 10.



Figura 12.5. Zanahoria madura que ha alcanzado el color normal del material genético.

Foto: Germán Franco

La *firmeza* no presenta cambios consistentes en el tiempo (Richmond et al., 2010) y se puede lograr su conservación con la inmersión de las raíces durante un minuto en jugo de penca sábila (*Aloe vera* Tourn. ex Linn; sin: *Aloe barbadensis* Miller) (Srivalli et al., 2022). En el Oriente antioqueño, la evolución de la textura a partir de los 77 y hasta los 140 DDS muestra una tendencia ascendente a través del tiempo para la dureza (fuerza necesaria para deformar la zanahoria) (Oficina Nacional de Normalización [ONC], 2002).

Se debe tener en cuenta que, para las etapas finales, este aumento coincide posiblemente con el incremento de la fibrosidad, debido a la mayor edad de la raíz. En general, la zanahoria se considera un vegetal duro, pues en etapas previas a la cosecha alcanza valores de unos 13 kilogramos-fuerza (kg-f) para ascender a unos 20 kg-f en el tiempo máximo de la cosecha. Los valores de la elasticidad, la rapidez con la cual se recupera la zanahoria de la deformación después de aplicar una fuerza; la cohesividad, relacionada con la crujencia de la raíz, y la masticabilidad, referida a la energía requerida para masticar la zanahoria hasta que esté lista para su deglución (ONC, 2002), presentan tendencia similar y ascendente. López (2019) reporta tendencias similares a las expuestas, manifestando que la zanahoria se caracteriza por tener valores altos de dureza, masticabilidad y fracturabilidad, esta última relacionada con la cohesividad y la fuerza necesaria para romper la zanahoria en trozos (ONC, 2002). La zanahoria cruda presenta también carácter crujiente y adhesividad baja.

En el Oriente antioqueño, *la ganancia de peso* de las raíces tiene una tendencia ascendente hasta los 126 DDS, cuando alcanza unos 220 g. A partir de esta edad, aparentemente se estabiliza para empezar a disminuir hasta los 140 DDS, evolución similar a la encontrada en el diámetro ecuatorial, tendencias observadas en el material modal de siembra en esta zona. Lo anterior sugiere que, para las condiciones ambientales del Oriente antioqueño, la cosecha puede realizarse entre los 115 y los 125 DDS, cuando alcanza buen rendimiento, apropiada calidad organoléptica y comercial, la mayor longitud de la raíz y diámetro. Sin embargo, estas épocas pueden variar en función del material sembrado.

El momento de la cosecha puede afectar la calidad de la zanahoria: cuando es tardía, aunque puede incrementarse el tamaño, se afecta la calidad puesto que las raíces se tornan fibrosas, se afecta el sabor y disminuye la textura (Gabriel, 2013; Saavedra et al., 2019), efectos notados también en el Oriente antioqueño. Cuando la cosecha es temprana, las zanahorias pierden textura rápidamente, por lo cual disminuye más pronto la calidad y la vida útil.



Consideraciones a tener en cuenta en precosecha y poscosecha para conservar la calidad

Seljåsen et al. (2013) mencionan algunos aspectos que se pueden tener en cuenta para obtener una cosecha de buena calidad. En primer lugar está la selección del material de siembra, pues esto influye en los contenidos fenólicos, β-caroteno, terpenos, falcarinol, algunos minerales, presencia de sabor amargo y dulce, y rajamiento de la raíz. La zanahoria producida en suelos arenosos y francos presenta características sensoriales similares, mientras que suelos orgánicos producen raíces más dulces, jugosas, con menor desarrollo de sabor amargo y terroso. Según Simon (1985), suelos arenosos y arcillosos tienden a producir zanahorias con más sabor amargo que las cultivadas en suelos francos, y el sistema de cultivo orgánico y convencional no presenta diferencias en el contenido de los azúcares.

De otra parte, el alto o bajo contenido de agua en el suelo puede manifestarse en la reducción del crecimiento y la producción (Seljåsen et al., 2013). Una sequía intensa induce la producción de etileno, que tiene como consecuencia la aparición indeseable del sabor amargo; entretanto, épocas de clima cálido y húmedo inducen la aparición de sabor a trementina y menor dulzura. Una temperatura promedio de 9 °C influye en el aumento del sabor dulce, el contenido de sacarosa y glucosa, además de reducir el sabor amargo y aumentar el contenido de sacarosa y β-caroteno. Ciclos de cultivo con una alta intensidad de luz UV y densidad de siembra baja (400.000 plantas ha^{-1} de zanahoria) aumentan el contenido de carotenos, en especial del α-caroteno en la zanahoria, debido a la expresión fotoprotectora de estos compuestos para la planta. Después de la cosecha, la exposición de la zanahoria a altas temperaturas acorta su vida útil e influye negativamente sobre su contenido nutricional y sensorial.

La condición del suelo influencia la concentración de azúcares, los niveles de nitrógeno, potasio, fósforo y calcio y el grado de maduración. Igualmente, la época de cosecha afecta el nivel de azúcar, pectina y almidón en las zanahorias (Simon, 1985).

El sistema de cultivo ecológico muestra diferencias en cuanto a algunos factores de calidad, al compararlo con la agricultura convencional. La agricultura ecológica aumenta el contenido de magnesio y de hierro y disminuye el contenido de nitritos y el ácido ascórbico, en tanto que la fertilización baja en nitrógeno, característica en este sistema, aumenta el contenido de terpenos y materia seca y disminuye el contenido de β-caroteno (Seljåsen et al., 2013).

Un ataque de plagas puede reducir la calidad sensorial de la zanahoria porque aumenta el contenido de compuestos amargos como el falcarinol y el 6-metoximellina (fitoalexinas que hacen parte del sistema de defensa de la planta ante el ataque de un patógeno); también se incrementa el sabor amargo, se reduce el dulce y el contenido de azúcar. El ataque de plagas como los psílidos de la zanahoria induce un aumento del sabor amargo (Seljåsen et al., 2013).

Altas temperaturas en el almacenamiento y en los puntos de venta al consumidor reducen la vida útil y la calidad sensorial, porque se disminuye el contenido de β-caroteno, los azúcares totales y el ácido ascórbico, con lo cual hay aparición de sabor amargo (Seljåsen et al., 2013).

Operaciones de buenas prácticas de cosecha y poscosecha para conservar la calidad

Cosecha

La cosecha es la fase del cultivo en la que se recolectan las raíces del suelo. Una vez la zanahoria llega al punto óptimo de recolección, el productor programa y planifica la cosecha, determinada por las posibilidades tecnológicas, el costo de la mano de obra, las condiciones topográficas de la zona, la calidad suscitada por los requisitos del comprador, que unida a los periodos de escasez y abundancia determinan el precio del producto; aunque en épocas de escasa producción aumentan los precios de venta, la calidad pasa a un segundo lugar, las zanahorias se cosechan antes de alcanzar su estado óptimo de desarrollo y las segundas pasan a tener precios de primera calidad.

Como vegetal no climatérico, la zanahoria no presenta transformaciones anabólicas muy evidentes después de su cosecha, sobre todo en cuanto al color, textura y sabor. López (2003) indica que el momento de cosecha (MC) está asociado tanto a su madurez fisiológica (cuando ha completado su desarrollo en campo) como a la comercial, que es la requerida por el mercado según la oferta y demanda; los productores tienen en cuenta este último criterio y, generalmente, realizan la cosecha los días de mercado de las diferentes plazas. Como se ha dicho, las zanahorias se cosechan comúnmente en estado "inmaduro", cuando las raíces han alcanzado el tamaño y la forma típica de la variedad, pero antes de lograr su tamaño potencial, peso o rendimiento máximo comercial (López, 2003; Gabriel, 2013; Saavedra & Kehr, 2023). El MC también depende de las características del material sembrado, el uso final del producto (fresco o industria), la fecha de siembra, la disponibilidad de agua durante el cultivo, la fertilidad del suelo y la altitud donde se establece el cultivo (Reina & Bonilla, 1997; Izquierdo & Naranjo, 2006; Galindo & Saboyá, 2020; Quintero & Franco, 2023). La etapa de maduración se inicia a partir de los 100 a 120 días después de la siembra, se considera que la raíz (zanahoria) ha alcanzado su madurez cuando su piel está firme y no se deja pelar fácilmente con los dedos, las hojas de la planta se abren en abanico y comienzan a doblarse hacia el suelo e inicia su amarillamiento (Yugsi, 2011; García, 2002; Moncayo, 1999; Mejía & Lobo, 1977).

Teniendo en cuenta la zona de cultivo y los criterios enunciados, en el Oriente antioqueño el 87 % de los cultivadores realizan la cosecha entre los 120 y 135 DDS (Quintero & Franco, 2023). En la región cundiboyacense se cosecha entre los 120 y los 192 DDS, y según la experiencia de los productores, a los 160 DDS en la zona productora del Huila. En general, se

puede decir que la recolección se realiza entre los 100 y los 120 DDS (Galindo & Saboyá, 2020; Reina & Bonilla, 1997).

En el Oriente antioqueño, los agricultores pueden retardar la cosecha hasta un mes, hecho que no responde a la fisiología de la planta sino a los acuerdos de venta que realizan los productores y compradores para realizar entregas parciales. Sin embargo, se sugiere no prolongarla por más tiempo, debido a que la presencia del follaje sigue aumentando la raíz en tamaño y peso (García, 2002), pero disminuye la calidad del producto final, pues las raíces que sobrepasan el periodo óptimo de recolección pueden tornarse de sabor amargo, fibrosas, lignificadas, ásperas, con tendencia al rajado (Morales-Payán, 2008; Mejía & Lobo, 1977), como también crearse condiciones favorables para el incremento en la aparición de insectos plaga, enfermedades e inducción de floración (Saavedra et al., 2019).

En la región del Oriente antioqueño se observó que, en cosechas tardías un mes posterior al momento óptimo de cosecha, los factores asociados a la calidad se afectan negativamente, pues las raíces tienden a perder peso (menor materia seca), disminuyen su diámetro y longitud, se pierde la intensidad del color, se afecta la dureza y se incrementa la masticabilidad debido al aumento de la fibrosidad y la menor dureza, porque el proceso de masticación antes de su deglución es más prolongado.

Según la cantidad de zanahoria a cosechar, el productor deberá planear la actividad, por lo que debe determinar el número de días a la semana que necesita recolectar, definir el personal requerido, lavar y desinfestar los recipientes y herramientas, tener los empaques (costales) necesarios para la recolección, alistar el equipo de lavado para evitar fallas durante la cosecha, así como organizar el lugar de acopio en el lote y en la finca, con el fin de llevar el producto lo más rápido posible a estos sitios y evitar exponerlo al sol antes de entregarlo al comprador; el lugar de acopio debe estar ubicado lejos de posibles focos de contaminación, protegido de la entrada de animales, tener buena iluminación y ventilación, y limitarlo exclusivamente al acopio de vegetales. El productor también prever un acuerdo de venta y coordinar el transporte.

Los trabajadores deben tener la capacitación necesaria para llevar a cabo la cosecha y poscosecha en la finca, y se recomienda que durante todo el cultivo se implementen las buenas prácticas agrícolas, como la recolección en la época apropiada, cuando la raíz haya alcanzado la madurez fisiológica o madurez comercial, y cosechar toda la producción clasificando el producto en bueno, regular y rechazo. En el proceso de selección y clasificación en finca, en el sitio donde se realice se debe cubrir el piso con plástico o costales limpios para evitar la contaminación. El agua que se usa en el proceso de lavado debe estar libre de contaminantes, los costales para empaque deben ser nuevos y, en caso de ser reutilizados, estar limpios y desinfectados; además, respetar los periodos de carencia de los agroinsumos utilizados durante el ciclo de cultivo. Para conservar la calidad higiénica de la zanahoria, los trabajadores deben utilizar elementos de protección (gorra o sombrero, bloqueador, botas, camisa de manga larga), realizar el lavado y desinfección de las manos cuando cambien de labor, después de almorzar, de sonarse, de manipular insumos o elementos extraños o de hacer uso del sanitario y estar en buenas condiciones de salud.

La cosecha en días lluviosos no es recomendable o si el suelo está demasiado húmedo, porque se hace difícil la labor, bien sea si es mecanizada o manual, ya que un suelo con alta humedad tiende a compactarse, lo que ocasiona que la tierra se adhiera a la raíz; la zanahoria es más suculenta y se torna más susceptible en poscosecha al ataque de patógenos que causan pudriciones (Moncayo, 1999; Maroto, 2002); además, en el proceso de extracción puede quebrarse y perder calidad comercial.

La cosecha puede ser manual o mecanizada (Simson & Straus, 2010), e incluye las operaciones de arrancado, limpieza, corte del follaje, lavado, empacado y recogida. Para el proceso de cosecha, el suelo debe estar húmedo, pero no encharcado; si es necesario, se remueve un poco el terreno para aflojar las raíces para el arranque. En el Oriente antioqueño, por encontrarse los cultivos en zonas con topografías de difícil acceso para la maquinaria, la mayoría de los productores realizan la recolección manual (figura 12.6), que consiste en aflojar el terreno con ayuda de herramientas como gancho, pala, barretones y azadones, entre otros, sin dañar las raíces, luego con la mano se toma una o varias plantas por la base de las hojas, halándolas con cuidado para no quebrarlas, y se extraen del suelo, se limpian con un suave golpe contra el suelo, y con un giro o torsión leve se les quita el follaje, se disponen en un empaque provisional, luego se acopian, se lavan y se colocan en el empaque de venta según la calidad, almacenándolas temporalmente en la finca para realizar la entrega al comprador (Quintero & Franco, 2023; Reina & Bonilla, 1997). En el Oriente antioqueño, por lo general, el productor cosecha tres días a la semana, que coinciden con la época de comercio del producto en las plazas de mercado (Quintero & Franco, 2023).



Figura 12.6. Cosecha manual de zanahoria en costales reutilizados.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

En la zona de producción de El Santuario y Marinilla (Oriente antioqueño), la mayoría de los productores utilizan como criterios para la definición del momento de la cosecha el tamaño de la zanahoria y la edad después de sembrado el cultivo, siendo la más frecuente entre los 4 y 4,5 meses. Tras la recolección se puede realizar una preselección y se acopia el producto antes de lavarlo, para lo cual se utilizan costales de diferente color, este método es ágil y disminuye la mano de obra; posterior al lavado se puede realizar otra selección rápida.

Acopio

Después de la recolección, la zanahoria se acopia para el lavado, selección, clasificación, empaque y comercialización. Por lo general, el producto se puede acopiar y adecuar en dos lugares específicos: 1) en la finca o 2) se contrata con acopios tecnificados comúnmente denominados lavaderos.

Acopio en finca

Inmediatamente la zanahoria es cosechada y seleccionada en el cultivo, el productor la traslada en bultos de diferente capacidad (45 a 70 kg) hasta la zona definida como acopio, que puede ser de diferentes tipos: un lote cercano al cultivo (figura 12.7), una corriente de agua (figura 12.7b), el patio de la finca (figura 12.7c) y superficies de cemento semicubiertas (figura 12.7d). Allí, los bultos separados por calidad se cubren con malla polisombra o follaje (figura 12.7e) para evitar deshidratación del producto y prevenir la pérdida de peso (Quintero & Franco, 2023; Saavedra & Kehr, 2023; Galindo & Saboyá, 2020).



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez



Figura 12.7. Sitios comunes de selección o acopio de la zanahoria. a. Selección de la zanahoria en lote cercano al cultivo; b. Lavado en zona con agua corriente; c. Acopio en patio de finca; d. Acopio en área semicubierta; e. Protección con cobertura de follaje de los bultos; f. Empaque sin protección.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Como se aprecia en la figura 12.7f, los lugares de acopio no reúnen las condiciones adecuadas para conservar la calidad de la zanahoria (manejo de la temperatura y humedad relativa, protección a plagas, entre otros). En estos sitios, se realiza lavado, una selección rápida y empaque del producto. Muchos agricultores no cuentan con acopios para el proceso de poscosecha, debido a que una vez lavada y empacada entregan el mismo día la zanahoria al comercializador. El diagrama de flujo de la figura 12.8 propone un acopio sencillo para finca de productor, con área de lavado y recirculación de agua, clasificación, selección, empaque y almacenamiento.

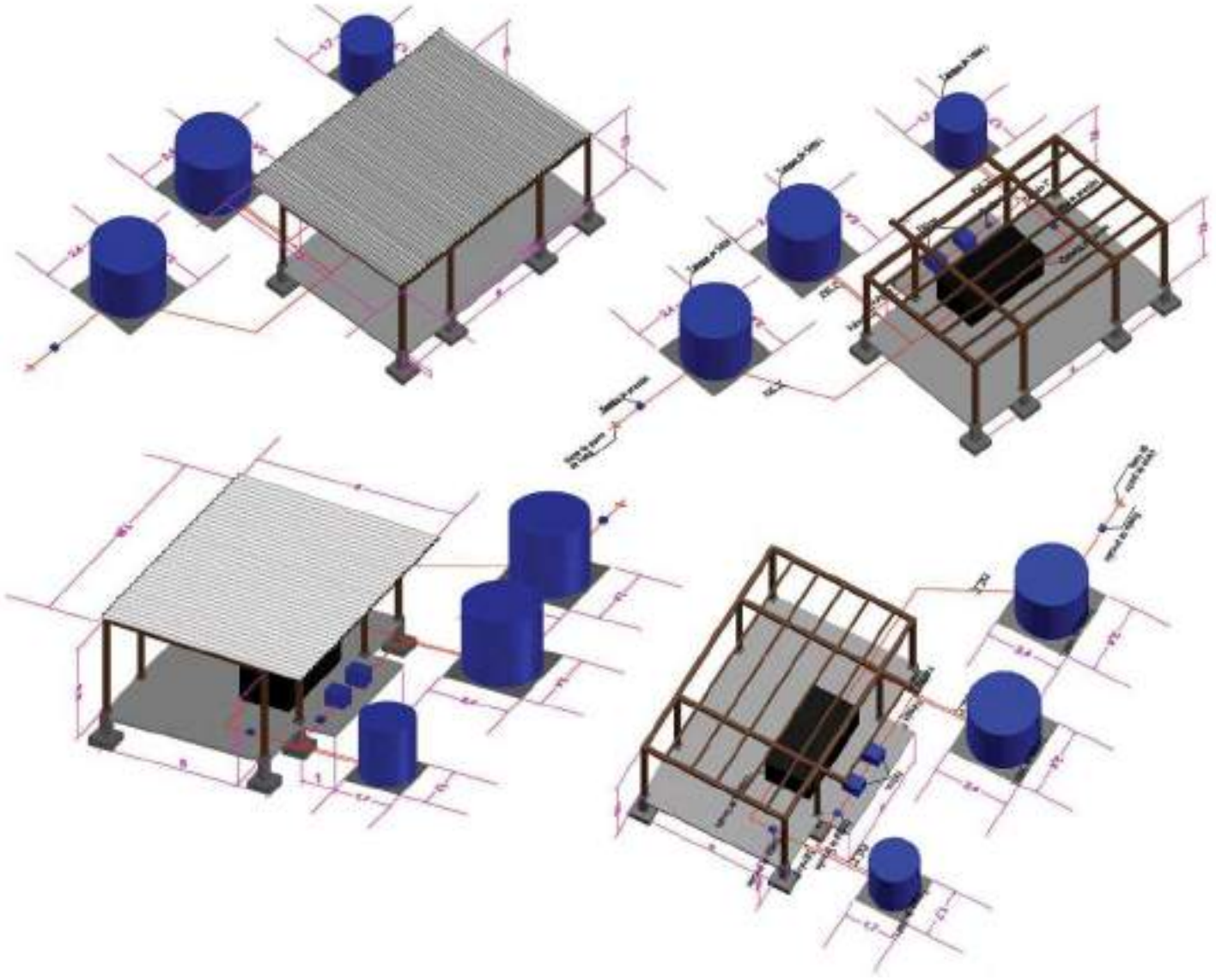


Figura 12.8. Sistema de acondicionamiento en acopio recomendado para finca de productor.

Fuente: Londoño et al. (2023)

Acopio en plantas de poscosecha denominadas lavaderos

Estos acopios prestan el servicio al productor de las operaciones de lavado y empacado de la zanahoria, con tarifas que dependen de la calidad y tipo de empaque en el cual se vende el producto, que puede ser comercializado por este tipo de empresa o por el productor. Son espacios cubiertos con piso de cemento y divididos en tres secciones: 1) recepción del producto sucio, 2) lavado con máquina especializada y 3) almacenamiento de la zanahoria limpia y empacada. Algunos cuentan con captación de agua lluvia y sistema de recolección y aprovechamiento del agua procedente del lavado. El diagrama de flujo de la figura 12.9 muestra el proceso de acopio en Puente Boyacá y Ventaquemada en Boyacá, y La Unión en Antioquia.

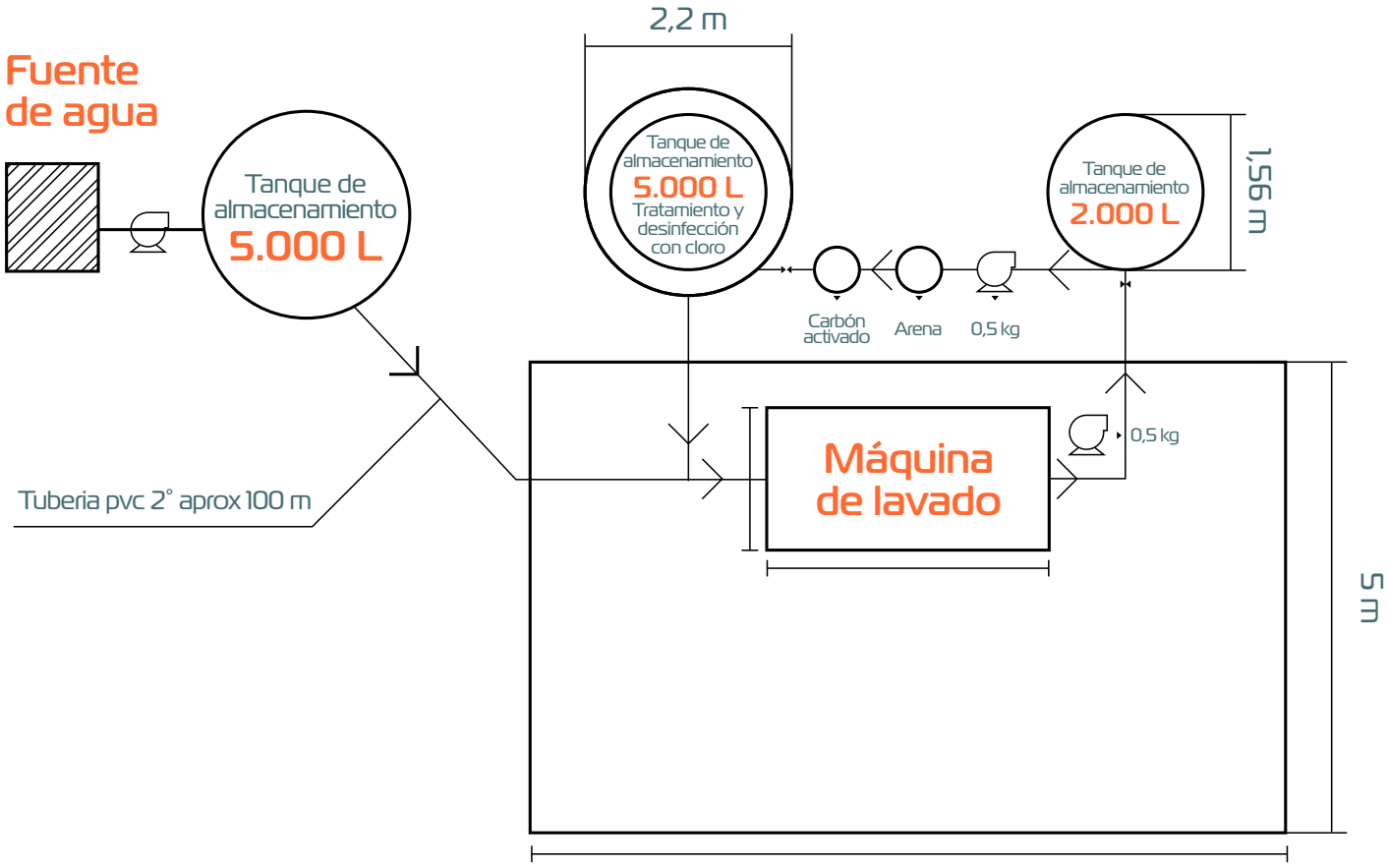


Figura 12.9. Proceso del acopio de zanahoria en planta de poscosecha denominada lavadero.

Fuente: Londoño (2023)

La recomendación de un acopio adecuado para zanahoria, tal como lo propone Avendaño (2006), consiste en un espacio que permita la realización del acondicionamiento en poscosecha del producto en una línea de flujo unidireccional con las operaciones de lavado, clasificación, empaque y almacenamiento con facilidad para el acceso y retiro del producto. El lugar destinado debe garantizar las condiciones físicas y de inocuidad del producto y tener las siguientes características: techado, amplio, aireado, fresco, con sistema de ventilación e iluminación, redes eléctricas, áreas separadas demarcadas, instalaciones sanitarias, estaciones de limpieza y desinfección de manos y herramientas, pisos de material resistente y diseñados con pendiente suficiente que permitan el drenaje, área de lavado con suministro de agua limpia y mesas para la clasificación y empaque.

Los equipos, recipientes y utensilios empleados durante las labores deben ser de un material que facilite su limpieza. El personal debe encontrarse en buen estado de salud, estar capacitado y cumplir con las prácticas higiénicas de manipulación. Se debe contar con planes de saneamiento que incluyan limpieza, desinfección y manejo y disposición de residuos sólidos y líquidos, según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5400:2012 (Icontec, 2012). Este tipo de instalaciones deben ser de carácter comunitario, donde los productores puedan llevar la zanahoria, tener la ventaja de realizar una operación que acondiciona bien el producto, evitar la contaminación de fuentes de agua, del ambiente y la erosión, además de proteger la salud de los operarios, que en las condiciones actuales de campo no cuentan con los elementos mínimos de protección personal.

Lavado

El proceso de acondicionamiento de la zanahoria incluye el lavado, el cual es indispensable para la comercialización limpia del vegetal. Este paso consiste en eliminar la tierra que la raíz trae adherida en el momento de la cosecha, para lo cual se pueden emplear tres metodologías: la manual y la semimecanizada, que se realizan en las fincas o predios, aunque son menos eficientes pues no garantizan la inocuidad del producto, y la tecnificada, que se lleva a cabo en la planta de poscosecha.

Lavado manual en finca

La zanahoria empacada en costales se deposita en un tanque o corriente de agua (figura 12.10a) para remojarla y desprenderle fácilmente la tierra; luego, se toma el bulto con las manos y se agita para que las raíces se froten, seguidamente se frota vigorosamente con los pies y, finalmente, se enjuagan con agua limpia (figura 12.10b).





Figura 12.10. Lavado manual de zanahoria en finca. a. Remojado y agitación del costal para desprender la tierra; b. Enjuague final.

Nota: Los operarios no cuentan con ningún equipo de protección personal (EPP).
Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Lavado semimecanizado en finca

La zanahoria se lava con una máquina de tambor rotativo con suministro de agua manual por medio de baldes o manguera, donde se depositan las raíces sueltas o en costales. Una vez desprendida la tierra y enjuagadas las raíces, se empacan en costales de fibra (figura 12.11a). Las máquinas comúnmente utilizadas (figuras 12.11b y 12.11c) tienen una capacidad de lavado de 30-40 kg por cada 8 min.







Figura 12.11. Lavado semitecnificado en finca de productor. a. Empaque de la zanahoria después del lavado; b. Máquina adaptada por los productores para el lavado (lado frontal); c. Lado posterior de la máquina.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Lavado tecnificado

El productor envía la zanahoria en bultos de 60 a 65 kg hasta la planta de poscosecha comúnmente llamada lavadero, donde se realiza el proceso de lavado en máquinas con capacidad hasta de 60 kg/min; mediante una banda cepilladora es retirada la tierra y restos de hojas. Luego, pasan a un tanque o cilindro rotativo con agua para un último lavado. De esta manera, las zanahorias quedan con un aspecto y color agradable al consumidor.

Selección y clasificación

El proceso de selección y clasificación garantiza que el producto final que llega a los consumidores se encuentre en las mejores condiciones de apariencia y calidad, con el tamaño y calibre según los estándares del mercado. De acuerdo con el apartado de cosecha de esta obra, el proceso de selección se inicia al momento de la cosecha, cuando se deben retirar aquellas zanahorias que presentan algún defecto físico o sanitario. En el Oriente antioqueño, este proceso es poco tecnificado, dado que el productor extiende una malla o un plástico sobre la cual realiza la selección. En las plantas poscosecha, la zanahoria lavada es conducida por una banda de distribución donde los operarios retiran las zanahorias que no cumplen las condiciones, y son ubicadas en otra banda.

La Norma Técnica Colombiana NTC 1226 (Icontec, 1994) indica los requisitos que debe cumplir la zanahoria para su comercialización, especificados en disposiciones sobre la calidad, calibre, tolerancias, presentación y rotulado. En las condiciones de calidad, se relacionan los requisitos mínimos para la presentación y en la clasificación, las cuales son categorizadas en extra, categoría I y categoría II. Otro parámetro de clasificación son las tolerancias, que se dividen en tolerancias por calidad y calibre. En la presentación se tiene en cuenta la homogeneidad, empaque y presentación. En cuanto al rotulado, se precisa la identificación, naturaleza y origen del producto, especificaciones comerciales y código de barras.

La clasificación manejada por los productores y comercializadores de la región no corresponde a lo especificado en la Norma Técnica Colombiana 1226 (Icontec, 1994), donde se establece para el requisito de la clasificación las categorías de extra, I y II, aunque de alguna manera podrían ser equivalentes a las primeras, segundas y rechazo.

Empaque

Se refiere al recipiente destinado a contener temporalmente la zanahoria para facilitar la protección del producto ante daño mecánico, manipulación y transporte. En algunos casos, es una forma atractiva de exhibición.

La comercialización de la zanahoria se realiza en costales de fibra de colores o de fique con capacidad de 45 a 60 kg, según la calidad, utilizando el blanco o naranja (figura 12.12a) para las zanahorias de mejor calidad (primeras), y el rojo para las segundas y rechazo; en lo posible, se deben utilizar empaques nuevos, pues los reutilizados (figura 12.12b) pueden afectar la inocuidad del producto. Algunos agricultores utilizan la canastilla plástica en los casos en que la venta se realice a las grandes superficies (Quintero & Franco, 2023).





Figura 12.12. Empaques utilizados en la comercialización de la zanahoria. a. Zanahoria de primera calidad empacada en costales de fibra blancos; b. Zanahoria de segunda calidad empacada en costales reutilizados.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

La recomendación para empacar la zanahoria se encuentra en la Norma Técnica Colombiana NTC 1226-2 (Icontec, 1996a), que menciona que los empaques deben ser nuevos, estar limpios, secos y sin olores extraños. Se pueden utilizar sacos de fique o polipropileno con capacidad máxima de 50 kg, cajas de cartón o canastillas plásticas que contengan hasta 25 kg.

El empaque de la zanahoria para el mercado minorista puede realizarse en bolsas plásticas de 33 x 23 cm con 13 microperforaciones de 0,1 mm de diámetro o de 11 microperforaciones de 0,5 mm de diámetro, que permite conservarla con pérdidas de humedad menores al 1 %, si se almacenan entre 4 y 6 °C durante 6 o 9 días (Larsen & Wold, 2016).

Calidad

Entre las características de calidad que debe reunir un producto hortícola se pueden mencionar los aspectos que el consumidor relaciona con el producto: en el caso de la zanahoria, su frescura y crujencia, la ausencia de defectos físicos como malformaciones, daños ocasionados por mal manejo durante la cosecha, acondicionamiento, manipulación y transporte, lesiones causadas por plagas y enfermedades, deshidratación, entre otros (Sargent et al., 2019). Aunque la zanahoria presenta buena resistencia mecánica, es susceptible a diferentes tipos de daños y pérdida de calidad, que se traduce en rechazo del producto. La FAO (2018) señala que el camino que recorre una zanahoria antes de llegar al consumidor final es exigente y que ligeros defectos pueden retirarla como producto comercializable; en este periodo se ha calculado que entre el 25 y 30 % de las zanahorias cosechadas no llegan a las tiendas de mercadeo minoristas por causa de defectos estéticos.

Partiendo de las calidades consideradas por los comercializadores, la producción de zanahoria en el Oriente antioqueño, según la información de los agricultores, se distribuye de la siguiente manera: en la categoría primera se obtiene entre un 65-85 % de lo cosechado, en la segunda o regular entre un 10-30 % y menor al 10 % la de rechazo o mala, rangos que se ajustan a lo encontrado en observaciones experimentales de campo que se encuentran más adelante en la tabla 12.1. En las fincas se reconocen defectos o tipologías de zanahoria que influyen en la calidad del producto y que, en algunos casos, afectan la comercialización; en el Oriente antioqueño se han establecido siete tipologías de subproductos (Quintero & Franco, 2023), que se denominan de la siguiente forma y concuerdan con lo expresado por Alessandro (2013).

Tamaño

Dentro de esta categoría se observan las siguientes: “pequeñas”, que son aquellas que no cumplen con el tamaño mínimo para su comercialización y cuyo peso oscila entre 50 y 100 g (figura 12.13a); “largas delgadas”, que exceden el largo comercializable, tienen bajo peso y no cumplen con el diámetro mínimo de grosor (figura 12.13b), y “largas gruesas” o muy grandes (figura 12.13c), con peso entre 980 y 1.100 g, por lo que exceden el tamaño y peso promedio. Algunos productores denominan estas últimas como zanahoria “tronco” y en ocasiones son utilizadas por la industria para la producción de cubos. El tamaño de la zanahoria es un factor importante para la comercialización, por lo que se debe cumplir con lo exigido por el mercado, aunque en época de escasez este material es comercializado sin importar el criterio de calidad por tamaño.



Figura 12.13. Tipologías de zanahoria según tamaño. a. Pequeñas; b. Largas delgadas; c. Largas gruesas.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez

Daño sanitario

Se refiere a las zanahorias afectadas por enfermedades o insectos plaga, cuya raíz presenta daños (figura 12.14).



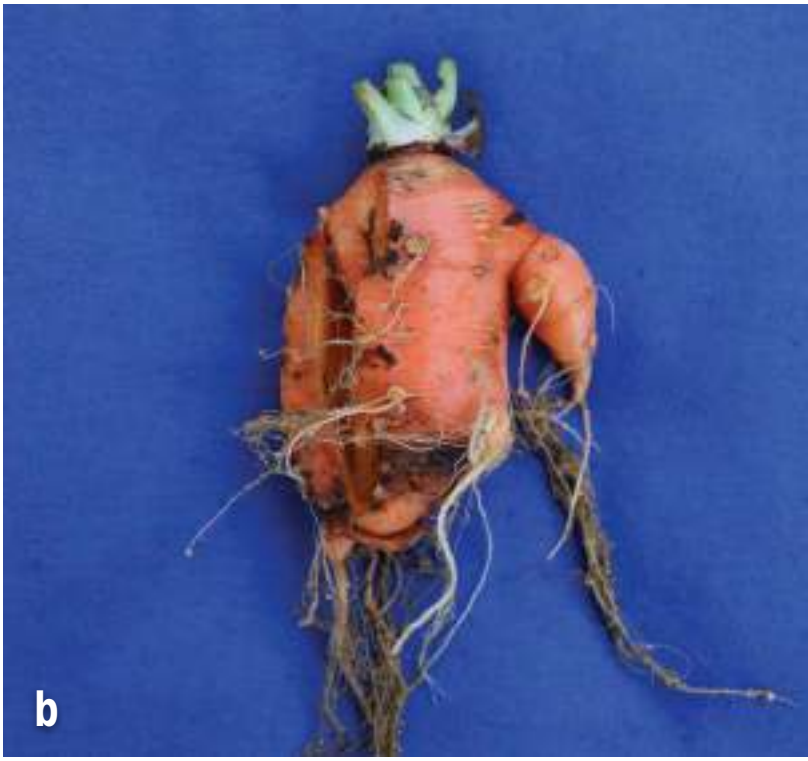


Figura 12.14. Pérdida de calidad de la zanahoria por tipología por daño sanitario. a. Zanahorias con daño por rajamiento; b. Daños por ataque de nematodos *Meloidogyne*.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez y Mario Alonso Mesa Gómez

Bifurcadas

Zanahorias que presentan más de una raíz pivotante (figura 12.15a), que se producen por la presencia de suelos húmedos y compactos, y que no permiten el buen desarrollo, lo cual afecta su forma, hecho que concuerda con lo expresado por Alessandro (2013), quien añade a esta condición los suelos pesados. Las raíces bifurcadas también son ocasionadas por ataques de nematodos (Del Toro & Martinotti, 2013; Alessandro, 2013) o el hongo *Pythium* (Lardizábal, 2013) (figura 12.15b).





Figura 12.15. Tipología por bifurcación de la raíz. a. Zanahorias que presentan más de una raíz debido a suelos húmedos y compactos; b. Zanahorias con más de una raíz por la presencia del hongo *Pythium*.

Fotos: Luz Mary Quintero Vásquez y Mario Alonso Mesa Gómez

Deformes

Raíces que presentan formas anormales (figura 12.16) a las características del material plantado. Galindo y Saboyá (2020) mencionan que estos problemas fisiogénicos pueden ocurrir por la siembra en suelos pesados o arcillosos que, dada la resistencia al desarrollo de la raíz, esta detiene el crecimiento y se deforma. Mejía y Lobo (1977) también manifiestan que el uso de estiércol fresco produce deformaciones y superficies ásperas en la raíz.



Figura 12.16. Tipología por deformación de la raíz.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

Rajadas

Raíces en las cuales se observan agrietamientos (figura 12.17) en varias direcciones. Galindo & Saboyá (2020) indican que es frecuente encontrar zanahoria rajada y podrida y que el riego en época seca antes de la cosecha puede ocasionar este problema. Esta fisiopatía también se asocia al tipo de suelo, su humedad, la tasa de crecimiento y el estado de desarrollo del cultivo. Raíces grandes y cultivos con abundantes aplicaciones de nitrógeno son más susceptibles a manifestar este defecto. Este problema se ha logrado controlar genéticamente con diferencias en la presencia del rajado según la variedad, y en el mercado se dispone de un híbrido tolerante al rajado y la bifurcación (Alessandro, 2013; Semillas Arroyave, 2020).



Figura 12.17. Tipología por rajado de la raíz.

Foto: Germán Franco

Quebradas

Zanahorias que se quiebran durante el proceso de cosecha, lavado, acondicionamiento y transporte del producto (Quintero & Franco, 2023) (figura 12.18).



Figura 12.18. Tipología por zanahoria quebrada.

Foto: Germán Franco

Color

Afectaciones del color normal de la variedad o híbrido de zanahoria, y coloraciones por hombros verdes (Quintero & Franco, 2023) (figura 12.19). Por lo general, les ocurre a las raíces que sufren quemaduras por exposición solar. La norma NTC 1226 (Icontec, 1994), en el requisito de clasificación para la categoría I, permite que la parte superior tenga color violeta o púrpura hasta 1 cm para zanahorias de máximo 6 cm de longitud, y hasta de 2 cm para las demás, y en la categoría II acepta que la parte superior de la zanahoria tenga coloración verde o violeta hasta 2 cm en zanahorias de máximo 10 cm de longitud y hasta 3 cm para las demás.



Figura 12.19. Tipología por color de zanahoria, hombros verdes.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

También se incluyen en este grupo zanahorias que presentan coloraciones blancas. Los productores reconocen estas plantas y manifiestan que, en una siembra, germinan hasta un 2 % de semillas que producirán zanahorias blancas (figura 12.20), material que se elimina en el momento del raleo (Quintero & Franco, 2023).



Figura 12.20. Tipología por color, zanahoria blanca.

Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

En el Oriente antioqueño, según Quintero y Franco (2023), las zanahorias correspondientes a las tipologías de tamaño, deformes y rajadas representan el 85 % de los subproductos que se obtienen en un cultivo. Los datos obtenidos y consolidados en la zona de siembra del Oriente antioqueño permiten cuantificar la producción de las diferentes calidades de zanahoria obtenida en una cosecha (tabla 12.1). El promedio de producción para los municipios de El Santuario y Marinilla es de 34,5 t/ha, superior a las 28,5 t/ha de rendimiento nacional que señala Cardona (2018).

Tabla 12.1. Estimación de la producción de una ha de zanahoria en el Oriente antioqueño según categorización de los productores y datos tomados en campo

Variable	Categorización zanahoria según productor			Rendimiento promedio (t/ha)
	Buena	Segunda	Rechazo	
Producción (t/ha)	25,0	6,8	2,7	34,5
Porcentaje de producto	72,5%	19,8%	7,8%	

Fuente: Elaboración propia

En otras zonas de Colombia, la clasificación de la zanahoria por calidad recibe diferentes denominaciones. Por ejemplo, en Boyacá y Santander se considera la calidad primera, fina o extra, segunda, re-escoge y richi o deshecho, mientras que en el Huila se clasifican como cero, pareja y chatarra (Galindo & Saboyá, 2020; Reina & Bonilla, 1997).

Otros factores que demeritan la calidad del producto se deben a los desórdenes fisiológicos que se describen a continuación.

Desarrollo de sabor amargo

Puede presentarse en precosecha por susceptibilidad del genotipo, temperaturas inadecuadas, deficiente calidad del suelo o ataque de plagas y enfermedades, y en poscosecha puede deberse a temperatura de almacenamiento inadecuada, presencia de etileno, deficiencias en el transporte, sobreexposición al sol (Papoutsis & Edelenbos, 2021; Kreutzmann et al., 2008; Seljåsen et al., 2001) y otros factores que se consideraron en cuanto a la evolución de las características fisicoquímicas durante la poscosecha y el almacenamiento, así como consideraciones a tener en cuenta en precosecha y poscosecha para conservar la calidad.

Blanqueamiento de la epidermis

Película gris o blanca que aparece en la epidermis de la zanahoria, generalmente después de la cosecha y del lavado; debido al maltrato por inadecuada manipulación, las células mueren, se secan y desprenden en forma de una película blanquecina. Este fenómeno también se presenta cuando la zanahoria se deshidrata por mal manejo en poscosecha o durante el procesamiento (figura 12.21) (Vilmorin, s. f.; Simoes et al., 2010).



Figura 12.21. Película blanquecina (peridermis) asociada al blanqueamiento de la epidermis de la zanahoria.

Foto: Germán Franco

Pudriciones por fitopatógenos

La zanahoria puede ser atacada por microorganismos que le ocasionan lesiones y pudriciones; estos fitopatógenos pueden provenir del campo o atacar en poscosecha, entre los cuales se incluyen los hongos causantes de la pudrición blanca o acuosa (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), Moho gris (*Botrytis cinerea* Pers.:Fr), pudrición negra (*Alternaria radicina*), raíz negra (*Berkeleyomyces* spp.) y la pata negra o pudrición blanca por la bacteria *Pectobacterium carotovorum* (Papoutsis & Edelenbos, 2021).

Venta

En la zona de producción de El Santuario y Marinilla, los precios de la zanahoria están sujetos a la oferta y demanda del producto en la zona, cuya evolución durante el año 2021 se muestra en la figura 12.22. En aquellos meses donde el precio de venta mensual es inferior al promedio anual de compra, se observa buen abastecimiento, mientras que en las épocas donde el precio promedio anual está por debajo del promedio mensual, se observa desabastecimiento; en este caso, además de la comercialización del producto de primera calidad, se pueden vender la mayoría de las segundas por la escasa oferta y debido a que el mercado es más flexible en cuanto a los estándares de calidad exigidos.

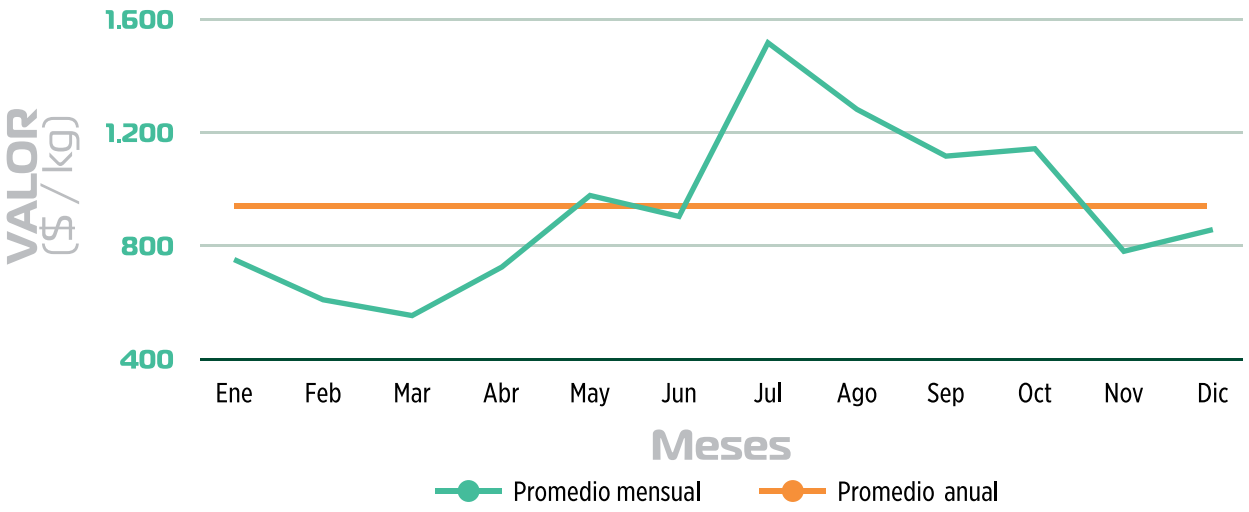


Figura 12.22. Precio mensual mayorista de la zanahoria en los principales municipios productores de Antioquia para el 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en Gobernación de Antioquia (2022)

Transporte

El transporte y sus condiciones deben tener en cuenta los estándares de calidad y de seguridad alimentaria para los productos alimenticios, que en el caso de la zanahoria están dispuestos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1226-3 (Icontec, 1996b): el vehículo debe estar limpio y protegido de condiciones ambientales extremas, su estructura no debe presentar daños, debe contar con un control de temperatura y un estado de mantenimiento óptimo. Además, la zanahoria debe empacarse en un material que brinde la protección suficiente frente a la manipulación durante el transporte y asegure su llegada en condiciones adecuadas, particularidades mencionadas en la sección *Empaque* y dispuestas en la Norma Técnica Colombiana NTC 1226-2 (Icontec, 1996b). En las condiciones del Oriente antioqueño no se observan estas condiciones en la operación del transporte, donde se utilizan vehículos no apropiados a las condiciones del producto en cuanto a su diseño, protección, forma de apilar (figura 12.23) y con otras hortalizas, con posibilidad de contaminación cruzada; además, en la mayoría de las ocasiones las carreteras secundarias y terciarias están en mal estado, lo que causa daños a la zanahoria. La temperatura de transporte debe ser aproximadamente la misma que la de almacenamiento. Se debe inmovilizar la carga con un sistema apropiado de apilado (arrumado), en caso de que no se utilicen estibas durante el transporte o no se utilice la totalidad del espacio en el vehículo, a fin de reducir la posibilidad de daño relacionado con la caída, rozamiento o choque continuo entre los empaques (Icontec, 1996).



Figura 12.23. Medio de transporte frecuentemente utilizado para zanahoria en el Oriente antioqueño, que no cumple las condiciones adecuadas para conservar su calidad.

Foto: Germán Franco

Así, el transporte es una etapa crítica en la cadena de valor de la zanahoria, que puede incidir de manera significativa en la calidad del producto, como la presencia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA). En esta última, la incidencia del transporte se debe a diversos factores físicos, microbiológicos y de manejo, los cuales pueden comprometer la inocuidad del producto y, por ende, la salud del consumidor. Las ETA son potencialmente peligrosas por sus efectos en la salud pública: la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024) indica que 1 de cada 10 personas (600 millones de personas) enferman anualmente por consumir alimentos contaminados, de las cuales 420.000 mueren por esta causa, especialmente niños. Los mayores contaminantes de los alimentos son bacterias, virus, parásitos, toxinas y sustancias químicas (OMS, 2024), que pueden ser adquiridos en la etapa de transporte.

La OMS y la FAO (2017, citado por la Cámara de Comercio de Bogotá, 2015) establecen las especificaciones de transporte, especialmente para frutas y hortalizas, cuya finalidad es garantizar las condiciones básicas que reduzcan al mínimo las probabilidades de contaminación microbiana, química o física. Algunas de las prácticas incluyen: selección previa de las zanahorias a transportar, eliminación de objetos extraños, restos de tierra o agroquímicos, en pocas palabras, una aplicación adecuada de las etapas de lavado, selección y clasificación. Además, los vehículos que se empleen para el transporte de frutas y hortalizas frescas deben estar construidos con materiales de fácil lavado, no porosos y que no se utilicen para el transporte de sustancias contaminantes, con el objeto de evitar contaminación cruzada.

Además de lo anterior, las instalaciones de almacenamiento y los vehículos de transporte utilizados deben estar construidos con materiales no tóxicos que permitan una limpieza fácil para reducir el daño a las zanahorias y evitar el acceso a plagas. Además de lo anterior, para evitar la contaminación cruzada, los vehículos utilizados para transportar frutas y hortalizas frescas no deben usarse para transportar sustancias peligrosas; por lo cual, antes de cargar frutas y hortalizas frescas, el vehículo de transporte debe estar limpio, desinfectado y en condiciones ideales (OMS, 2024).

Almacenamiento

Es la operación que tiene el objetivo de prolongar la vida útil de la zanahoria y conservar su calidad, para lo cual se debe someter a condiciones de temperatura y humedad relativa según los requerimientos del vegetal y protegida de diferentes causas de daño. En las condiciones de mercadeo en fresco de la zanahoria para el consumo nacional y dadas las cortas distancias entre zonas de producción y consumo, hasta el presente no ha existido la necesidad de conservar el producto con cadena de frío después de cosechado. En los supermercados, con el fin de tener producto fresco para la exhibición, se almacena en cuarto frío junto con otros vegetales.

En Colombia, el Icontec (2001) ha establecido unas condiciones para el almacenamiento de la zanahoria, las cuales se encuentran en la NTC 1266-3 y se pueden resumir así: el almacenamiento a largo plazo de las zanahorias se puede lograr a varias temperaturas, de acuerdo con el sistema utilizado y la resistencia de la variedad a las temperaturas bajas; puede almacenarse a temperatura ambiente (con ventilación natural o forzada), o en caso de tener acceso a refrigeración, se puede mantener una temperatura entre 0 y 5 °C para materiales con resistencia moderada al frío y con humedad relativa entre el 95-98 %. Estas condiciones garantizan un periodo de conservación entre una y tres semanas.

Durante y al final del almacenamiento, se deben tomar precauciones para evitar el riesgo de congelación de las zanahorias almacenadas en refrigeración y que aparezcan huellas de humedad en la superficie del producto. Una vez se hayan sacado las zanahorias del cuarto de refrigeración, se recomienda mantenerlas durante unas 24 horas a una temperatura intermedia, para luego proceder a su acondicionamiento y empaque. Cuando se desee mantener el producto a temperatura ambiente (26 °C y 68 % de humedad relativa), se recomiendan tratamientos mediante la inmersión de zanahoria durante un minuto en jugo de *Aloe vera* al 40 %, lo cual permite comercializarla en un lapso de una semana (Srivalli et al., 2022). El almacenamiento a temperatura ambiental de 20 a 25 °C permite conservar la zanahoria entre una y tres semanas. Por su parte, almacenar a temperaturas bajas (alrededor de 4 °C) tiene efectos positivos en la conservación de los compuestos bioactivos como la provitamina A y los carotenos, que se incrementan a lo largo de este tipo de almacenamiento (Hammaz et al., 2021). Lo anterior indica que la zanahoria puede mantenerse bajo condiciones ambientales por los periodos de tiempo indicados. Con frecuencia, los productores dejan el material listo para la entrega al comprador en un sitio de la finca cercano a la carretera; como mencionan Simson y Straus (2010), si no se tienen en cuenta cuidados mínimos

como evitar la exposición de la zanahoria a condiciones ambientales como los rayos del sol, lluvia, polvo y vientos excesivos, la zanahoria se expone a plagas y contaminación que afectan su calidad.

El almacenamiento de zanahorias cosechadas a los 115 días y almacenadas durante 28 días muestra que a partir del día 13 el diámetro disminuye considerablemente, como también la longitud de la raíz. Ello obedece a que durante la respiración se van perdiendo reservas alimenticias acumuladas por la planta durante la etapa de cultivo (Kader & Saltveit, 2002; Simson & Straus, 2010) y a la evaporación del agua libre de los tejidos del producto a causa de la transpiración (Kader, 2007b).

La relación xilema/floema permanece casi constante, el pH tiende a disminuir (5,9), los SST (7,3) y la acidez titulable (0,04 %) se mantienen casi constantes, estando acorde a los valores reportados en la literatura (Bastidas-Cadpata & Valencia-Chamorro, 2015; Dussán-Sarria et al., 2015).

La textura y masticabilidad disminuyen aproximadamente un 50 % a partir del día 13, llegando a valores de 5 kg-f y 4 kg-f, respectivamente, y la zanahoria toma un aspecto flácido (figura 12.24) y poco atractivo para el consumidor. Los valores de elasticidad y cohesividad se mantienen estables, con pequeños valores de disminución, y la raíz es menos crocante.

En cuanto al color, al momento de la cosecha (113 DDS), la zanahoria ha alcanzado la tonalidad y la saturación típica del material utilizado en la zona del Oriente antioqueño; en este periodo los valores de la coordenada a* (superiores a 21) y b* (superiores a 38), junto con el valor del tono con promedio de 61°, al combinarlos, producen el color típico del material sembrado en esta zona.



Figura 12.24. Zanahoria con aspecto flácido tras 20 días de almacenamiento a 18 °C y 85 % de humedad relativa.

Foto: Germán Franco

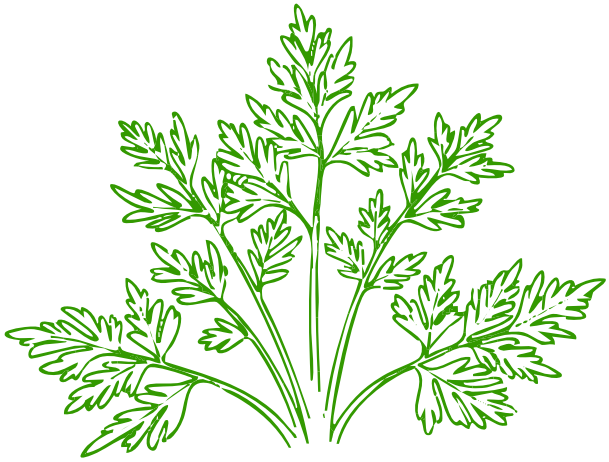
A medida que avanza el almacenamiento, el valor de la coordenada a* aumenta a 25 y b* disminuye ligeramente (37), con un tono promedio de 56°, lo que conduce a una diferencia de color entre el día inicial y final del almacenamiento de Δ7, indicando que este pequeño cambio en la disminución del color puede ser apreciado por el consumidor.

En la zona interna de la raíz o xilema, la evolución del color indica que su variación durante el almacenamiento puede ser detectada por el consumidor; además, presenta un color más claro que en la zona exterior de la raíz. Para el caso del floema, la evolución en la diferencia del color hacia el día 13 de almacenamiento es mínima, pero se intensifica hacia el final del tiempo de almacenamiento.

La información anterior indica que, bajo las condiciones ambientales del Oriente antioqueño de 18 °C y 85 % de HR, la zanahoria se puede almacenar alrededor de 13-15 días, incluyendo en este tiempo los días para efectuar la comercialización a nivel del consumidor final. Esto concuerda con lo estipulado por el Icontec (2001) y Hammaz et al. (2021), además de la conservación de los compuestos bioactivos (Hammaz et al., 2021).

Limpieza y desinfección de materiales y herramientas para la cosecha y poscosecha

Durante las labores de campo en la poscosecha de la zanahoria se emplean diferentes herramientas y/o equipos, tales como azadones, machetes, cuchillos, recipientes para almacenar agua, canastillas, mangueras, equipos para el lavado, carretas, aspersores y carpas, entre otros, los cuales deben lavarse y desinfectarse después de cada uso, para evitar riesgos por contaminación cruzada. El lavado se puede realizar con jabones comerciales a base de amonio cuaternario, libres de fragancias y colorantes, sin fosfatos, biodegradables y que no contaminen las aguas residuales, cuyas dosis varían entre 10-30 mL/Litro de agua, según el material o equipo. Además, se debe tener un programa de mantenimiento de las herramientas para evitar fallas cuando se estén utilizando en campo, y contar con una bodega en la finca para guardarlos limpios y organizadamente cuando no estén en uso (ICA, 2017; ICA & MADR, 2009; Icontec, 2006).



Para no olvidar...

» Una buena cosecha no se mide solo en toneladas, sino en calidad conservada; por esto, cada decisión en cosecha, lavado, selección o transporte influye en el valor del producto.

» La zanahoria es un vegetal no climatérico, es decir, no madura fuera del suelo, así que cosecharla antes o después de su punto óptimo afecta el sabor, la textura y el color. En el Oriente antioqueño, el mejor momento es entre 115 y 125 días después de la siembra.

» El floema es la parte de la raíz donde se acumulan carotenos, azúcares y compuestos funcionales; cuanto mayor sea la proporción de floema respecto al xilema, mayor será la calidad nutricional y sensorial.

» El agua lava, pero también puede contaminar; por ello, usar agua limpia en el lavado es importante para garantizar la inocuidad. En lavados manuales o semitecnificados, se deben seguir buenas prácticas para evitar enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).



Foto: Luz Mary Quintero Vásquez

Conclusiones y perspectivas de los autores

» Las pérdidas y desperdicios (PDA) en zanahoria pueden alcanzar niveles de hasta el 30 % de la producción, cuyas causas son cosechas fuera del punto óptimo, mal manejo de lavado y selección, transporte inadecuado y falta de infraestructura básica en finca, lo cual exige intervención inmediata mediante buenas prácticas agrícolas y poscosecha.

» Para la mayoría de los productores, la infraestructura de acopio y lavado en finca es insuficiente y representa un cuello de botella en la cadena de valor, ya que limita el cumplimiento de requisitos sanitarios y de inocuidad, afectando el acceso a mercados más exigentes.

» El transporte es una etapa crítica que puede afectar tanto la calidad como la inocuidad del producto; el uso de vehículos sin condiciones sanitarias ni térmicas adecuadas o el uso de empaques inadecuados incrementa el riesgo de daños físicos, pérdida de peso y aparición de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).

» La zanahoria puede conservar su calidad entre 13 y 15 días a temperatura ambiente, si se manejan adecuadamente la humedad, ventilación y protección contra el sol y viento, prácticas que pueden ser aplicadas por los productores sin acceso a refrigeración, pues permite ajustar la logística de cosecha, acopio y comercialización en función de las condiciones locales.



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Referencias

Alessandro, M. (2013). Características botánicas y tipos varietales. En J. C. Gaviola (Ed.), *Manual de producción de zanahoria* (pp. 27-46). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Almeida Borja, P. A., & Zambrano Vidal, M. N. (2007). *Elaboración de jugo, pasta y polvo de zanahoria* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador]. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2725

Avendaño, F. (2006). *Proyecto de prefactibilidad para la creación de un centro de acopio de zanahoria en el municipio de Simijaca* [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://hdl.handle.net/20.500.14625/17663

Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. (2010). Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 50*(5), 369-389. https://doi.org/10.1080/10408391003626322

Bassett, M. J. (1973). Relationship between core size, specific gravity, and soluble solids in carrots. *Horticultural Science*, *8*(2), 139. https://journals.ashs.org/hort/hort/published/rest/pdf-watermark/v1/journals/hortsci/8/2/article-p139.pdf/watermark-pdf/

Bastidas-Cadpata, R. & Valencia-Chamorro, S. (2015). Estudio del efecto de la aplicación de sanitizantes en la calidad de zanahoria (*Daucus carota* L.) de IV gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *16*(2), 307-312. www.redalyc.org/pdf/813/81343176023.pdf

Ben-Yehodua, S., & Rodov, V. (2003). Transpiration and water stress. En J. Bartz, & J. Brecht (Eds.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (2.ª ed., pp. 1-49). CRC. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203910092-11/transpiration-water-stress-shimshon-ben-yehoshua-victor-rodov

Berger, M., Kuchler, T., Maassen, A., Busch-Stockfisch, M., & Steinhart, H. (2008). Correlations of carotene with sensory attributes in carrots under different storage conditions. *Food Chemistry*, *106*(1), 235-240. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.075

Bevan, J., Firth, C., & Neicho, M. (1997). *Storage of organically produced crops*. The Henry Doubleday Research Association. https://orgprints.org/8241/1/Storage_organic_produce_report.pdf

Bruhn, C. (2007). Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. En A. Kader (Ed.), *Tecnología Postcosecha de Cultivos hortofrutícolas* (3.ª ed., pp. 37-44). Universidad de California. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=27999

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual zanahoria*. http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cardona, A. (2018, agosto 8). *La producción estimada de la zanahoria alcanzó récord nacional en el último año*. Agronegocios. https://www.agronegocios.co/agricultura/cual-es-la-produccion-de-zanahoria-en-colombia-2756359

Del Toro, M. S., & Martinotti, M. D. (2013). Nematodos fitoparásitos en cultivos de zanahoria. En J. Gaviola (Ed.), *Manual de Producción de Zanahoria* (pp. 137-149). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. (2016). *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027)*. https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/f12f3f5c-8de8-46b1-ad06-e51604f4fdbc/content

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/P%C3%A9rdida%20y%20desperdicio%20de%20alimentos%20en%20colombia.pdf

Dussán-Sarria, S., García-Mogollon, C., & Gutiérrez-Guzmán, N. (2015). Cambios físico-químicos y sensoriales producidos por el tipo de corte y empaque en zanahoria (*Daucus carota* L.) mínimamente procesada. *Información Tecnológica*, *26*(3), 63-70. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000300010

Feng, Q., Hou, X.-L., Wang, G.-L., Xu, Z.-S., Tan, G.-F., Li, T., Wang, Y.-H., Khadr, A., & Xiong, A.-S. (2019). Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, *6*, 69. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6

Gabriel, E. L. (2013). Implantación y manejo del cultivo. En J. Gaviola (Ed.), *Manual de producción de zanahoria* (pp. 47-70). INTA.

Galindo, J., & Saboyá, J. (2020). *Zanahoria (Daucus carota L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2. https://repositorio.unal.edu.co/items/8bd80b5d-2d8a-4489-b091-71c7b77f432d

García, M. (2002). *El cultivo de la zanahoria*. Universidad de la República (Uruguay).

García, J. (2018). *Efecto del incremento del área superficial sobre el contenido de compuestos bioactivos en muestras de zanahoria durante su almacenamiento* [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla. https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/36dcf1ed-d5fd-443f-ad67-654ddd0daf73/content

Ghorbani, Z., Zamindar, N., Baghersad, S., Paidari, S., Jafari, S. M., & Khazdooz, L. (2021). Evaluation of quality attributes of grated carrot packaged within polypropylene-clay nanocomposites. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(4), 3770-3781. https://doi.org/10.1007/s11694-021-00925-7

Gobernación de Antioquia. (2022). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario Departamento de Antioquia 2021*. https://antioquia.gov.co/images/PDF2/Agricultura/2022/Anuario%20Estadistico%20Agropecuario%20año%202021.pdf

Halloran, N., Kasim, M., & Kasim, R. (2005). Pre- and post-harvest hormonal changes of carrots. En F. Mencarelli, & P. Tonutti (Eds.), *Proceedings of the V International Postharvest Symposium* (pp. 299-306). International Society for Horticultural Science. https://ishs.org/ishs-article/682_33/

Hammaz, F., Charles, F., Kopec, R., Halimi, C., Fgaier, S., Aarrouf, J., Urban, L., & Borel, P. (2021). Temperature and storage time increase provitamin A carotenoid concentrations and bioaccessibility in post-harvest carrots. *Food Chemistry*, *338*, 128004. https://hal.inrae.fr/hal-03202780/document

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017). *Resolución 030021. "Por medio del cual se establecen los requisitos para la Certificación en Buenas Prácticas Agrícolas en producción primaria de vegetales y otras especies para consumo humano".* https://www.ica.gov.co/getattachment/9d8fe0fa-66d2-4feb-9513-cbba30dc4844/2017r30021.aspx#:~:text=PAZ%20AQUIDAD%20EDUCACI%C3%93N-,%22Por%20medio%20del%20cual%20se%20establecen%20los%20requisitos%20para%20la,pesados%20u%20otros%20productos%20qu%C3%ADmicos

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2009). *Mis buenas prácticas agrícolas: guía para agroempresarios*. https://es.slideshare.net/slideshow/cartilla-bpa/231666647

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1994). *Norma Técnica Colombiana NTC 1226:1994. Frutas y hortalizas frescas. Zanahoria.*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1996a). *Norma Técnica Colombiana NTC 1226-2:1996. Frutas y hortalizas frescas. Zanahoria. Especificaciones del empaque.*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (1996b). *Norma Técnica Colombiana NTC 1226-3: 1996. Frutas y hortalizas frescas. Zanahoria. Almacenamiento y transporte.*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2012). *Norma Técnica Colombiana NTC 5400:2012. Buenas prácticas Agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas. Requisitos generales*.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2024). *Pérdidas y desperdicios de alimentos: un desafío global para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible*. https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/35a1015a-27de-497c-bb69-21d87cae0a8c/content

Izquierdo, D., & Naranjo, C. (2006). *Estandarización de las condiciones de proceso de zanahoria (Daucus carota) y lechuga (Lactuca sativa) como productos mínimamente procesados refrigerados (MPR) obtenidos a partir de cultivos convencionales y orgánicos en la empresa JC Asociados* [Tesis de grado, Universidad de La Salle] Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/bitstreams/bbdcb79e-e1db-440e-8d15-7c65d60db485/download

Kader, A. (2007a). Biología y tecnología postcosecha: un panorama. En A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (3.a ed., pp. 45-54). Universidad de California. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=27999

Kader, A. (2007b). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Universidad de California. https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=27999

Kader, A., & Saltveit, M. (2002). Respiration and gas exchange. En J. A. Bartz & J. K. Brecht (Eds.), *Physiology and pathology of vegetables* (2.a ed., pp. 1-23). CRC. https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203910092-8/respiration-gas-exchange-adel-kader-mikal-saltveit

Kaur, G. J., Kumar, D., Orsat, V., & Singh, A. (2020). Assessment of carrot rejects and wastes for food product development and as a biofuel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *12*(3), 757-768. https://doi.org/10.1007/s13399-020-01096-z

Kreutzmann, S., Christensen, L. P., & Edelenbos, M. (2008). Investigation of bitterness in carrots (*Daucus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory analyses. *LWT - Food Science and Technology, 41*(2), 193-205. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.02.024

Lardizábal, R. (2013). *Manual de producción de zanahoria.* United States Agency for International Development (Usaid). https://dicta.gob.hn/files/2013,-Produccion-de-zanahoria,-G.pdf

Larsen, H., & Wold, A.-B. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on sensory quality, chemical parameters and shelf life of carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at chilled and abusive temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, *114*, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.014

Lee, C. Y. (1986). Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage. *Food Chemistry*, *20*(4), 285-293. https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90097-X

López, G. (2019). *Caracterización de la percepción oral de la textura de seis alimentos sólidos* [Tesis grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. https://oa.upm.es/56908/1/TFG_GONZALO_BIELZA_LOPEZ_MANTEROLA.pdf

López, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/4/y4893s/y4893s00.htm

Maroto, J. V. (2002). Zanahoria. En *Horticultura herbácea especial* (pp. 48-60). Mundi-Prensa.

Mejía, V., & Lobo, M. (1977). *Zanahoria*. ICA. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13381

Moncayo, C. A. (1999). *Manejo post-cosecha y comercialización de la zanahoria: (Daucus carota L)*. Department for International Development (DFID). http://hdl.handle.net/10785/1751

Morales-Payán, J. P. (2007). *Guía Técnica Cultivo de Zanahoria*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).

Negi, P. S, & Roy, S. K. (2000). Effect of low-cost storage and packaging on quality and nutritive value of fresh and dehydrated carrots. *Journal of Science of Food and Agriculture*, *80*(15), 2169-2175. https://doi.org/10.1002/1097-0010(200012)80:15%3C2169::AID-JSFA762%3E3.0.CO;2-J

Nicolle, C., Simon, G., Rock, E., Amouroux, P., & Rémésy, C. (2003). Genetic variability influences carotenoid, viamin, phenolic and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrots cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *129*(4), 523-529. https://doi.org/10.21273/JASHS.129.4.0523

Oficina Nacional de Normalización (ONC). (2002). *Evaluación sensorial. Vocabulário (ISO 5492:1992, IDT)*. https://ftp.isdi.co.cu

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Asamblea General. A/RES/70/1. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención.* https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *La belleza y el sabor están en el interior.* https://www.fao.org/newsroom/story/Beauty-(and-taste!)-are-on-the-inside/es

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca6030es

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2024). *Inocuidad de los alimentos.* https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety#:~:text=La%20carga%20que%20las%20enfermedades,15%20000%20millones%20al%20a%C3%B1o

Ochoa, D. (2015). *Creación y aplicación de sistema de planificación de siembra de cultivos: compañía Agrosano Ltda.* Corporación Universitaria Lasallista.

Papoutsis, K., & Edelenbos, M. (2021). Postharvest environmentally and human-friendly pre-treatments to minimize carrot waste in the supply chain caused by physiological disorders and fungi. *Trends in Food Science and Technology*, *112*, 88-98. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.038

Phan, C. T., & Hsu, H. (1973). Physical and chemical changes occurring in the carrot root during growth. *Canadian Journal of Plant Science*, *53*, 629-634.

Planella, I. (1987). *Tecnología del manejo de postcosecha de frutas y hortalizas*. En Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], *Tecnología del manejo de postcosecha de frutas y hortalizas* (pp. 113-120). https://repositorio.iica.int/server/api/core/bitstreams/b8a71f1a-9f73-4ac5-9639-9ea97e4a5bdb/content

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2021). *Índice de desperdicio de alimentos 2021*. http://www.unep.org/es/resources/informe/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021

Quintero, L., & Franco, G. (2023). *Caracterización de subproductos agrícolas en fincas productoras de zanahoria*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Reina, C., & Bonilla, J. (1997). *Manejo postcosecha y evaluación de calidad para la zanahoria (Daucus carota L.) que se comercializa en la ciudad de Neiva* [Tesis de grado]. Universidad Surcolombiana.

Richmond, F., Méndez, C. H., & Umaña, G. (2010). Cambio en las características de calidad de 12 híbridos comerciales de zanahoria durante el almacenamiento. *Agronomía Costarricense*, *35*(1). https://doi.org/10.15517/rac.v35i1.6692

Rodrigues, J. P., Liberal, A., Petropoulos, S. A., Ferreira, I. C., Oliveira, M. B. P., Fernandes, A., & Barros, L. (2022). Agri-food surplus, waste and loss as sustainable biobased ingredients: a review. *Molecules,* 27(16), 5200. https://doi.org/10.3390/molecules27165200

Saavedra, G., Jana, C., & Kehr, E. (Eds.). (2019). Hortalizas para procesamiento agroindustrial. *Boletín INIA*, *411*. https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6818

Saavedra, G., & Kehr, M. E. (Eds.). (2023). Manejo y especies hortícolas aptas para la agroindustria en la Región de La Araucanía. *Boletín INIA*, *472*. https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68961

Sargent, S. A., Ritenour, M. A., & Brecht, J. K. (2019). Handling, cooling and sanitation techniques for maintaining postharvest quality. *EDIS*, *3*. https://journals.flvc.org/edis/article/view/115448

Sastry, S. K., Baird, C., & Buffington, D. E. (1978). Transpiration rates of certain fruits and vegetables. *ASHRAE Trans*, *84*, 237-255.

Schulzová, V., Koudela, M., Chmelařová, H., Hajšlová, J., & Novotný, C. (2022). Assessment of carrot production system using biologically active compounds and metabolomic fingerprints. *Agronomy*, *12*(8), 1770. https://doi.org/10.3390/agronomy12081770

Seljåsen, R., Bengtsson, G. B., Hoftun, H., & Vogt, G. (2001). Sensory and chemical changes in five varieties of carrot (*Daucus carota* L) in response to mechanical stress at harvest and post-harvest. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 81*(4), 436-447. https://doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:4<436::AID-JSFA837>3.0.CO;2-R

Seljåsen, R., Kristensen, H. L., Lauridsen, C., Wyss, G., Kretzschmar, U., Birlouez-Aragone, I., & Kahl, J. (2013). Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(11), 2611-2626. https://doi.org/10.1002/jsfa.6189

Semillas Arroyave. (2020). *Catálogo de productos 2020*. www.semillasarroyave.com

Simoes, A., Do, N., Ventrella, M. C., Moretti, C. L., Carnelossi, M. A. G., & Puschmann, R. (2010). Anatomical and physiological evidence of white blush on baby carrot surfaces. *Postharvest Biology and Technology, 55*(1), 45-52. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.007

Simon, P. W. (1985). Carrot flavor: effects of genotype, growing conditions, storage, and processing. En H. E. Pattee (Ed.), *Evaluation of quality of fruits and vegetables* (pp. 315-325). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-009-4217-2

Simson, S., & Straus, M. (2010). *Post-harvest technology of horticultural crops*. Oxford.

Simpson, K. L. (1983). Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. *Proceedings of the Nutrition Society*, *42*(1), 7-17. https://doi.org/10.1079/pns19830003

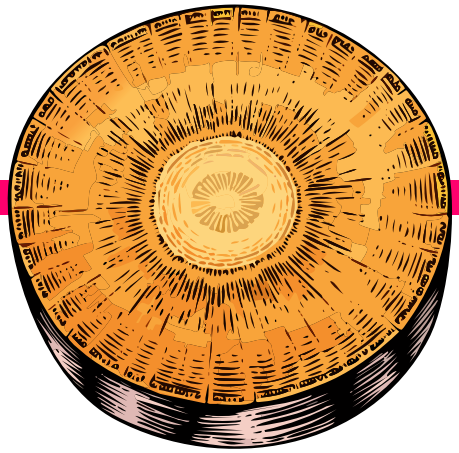
Srivalli, D., Roy, A., Viswanath, M., & Sahoo, M. (2022). Postharvest Shelf-life Extension of Carrot (Daucus carota L.) cv. New Kuroda using different surface Coatings. *Biological Forum - An International Journal*, *14*(3), 1589-1594. https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/271%20Postharvest%20Shelf-life%20Extension%20of%20Carrot%20_Daucus%20carota%20L._%20cv.%20New%20Kuroda%20using%20different%20surface%20Coatings%20Anindita%20Roy.pdf

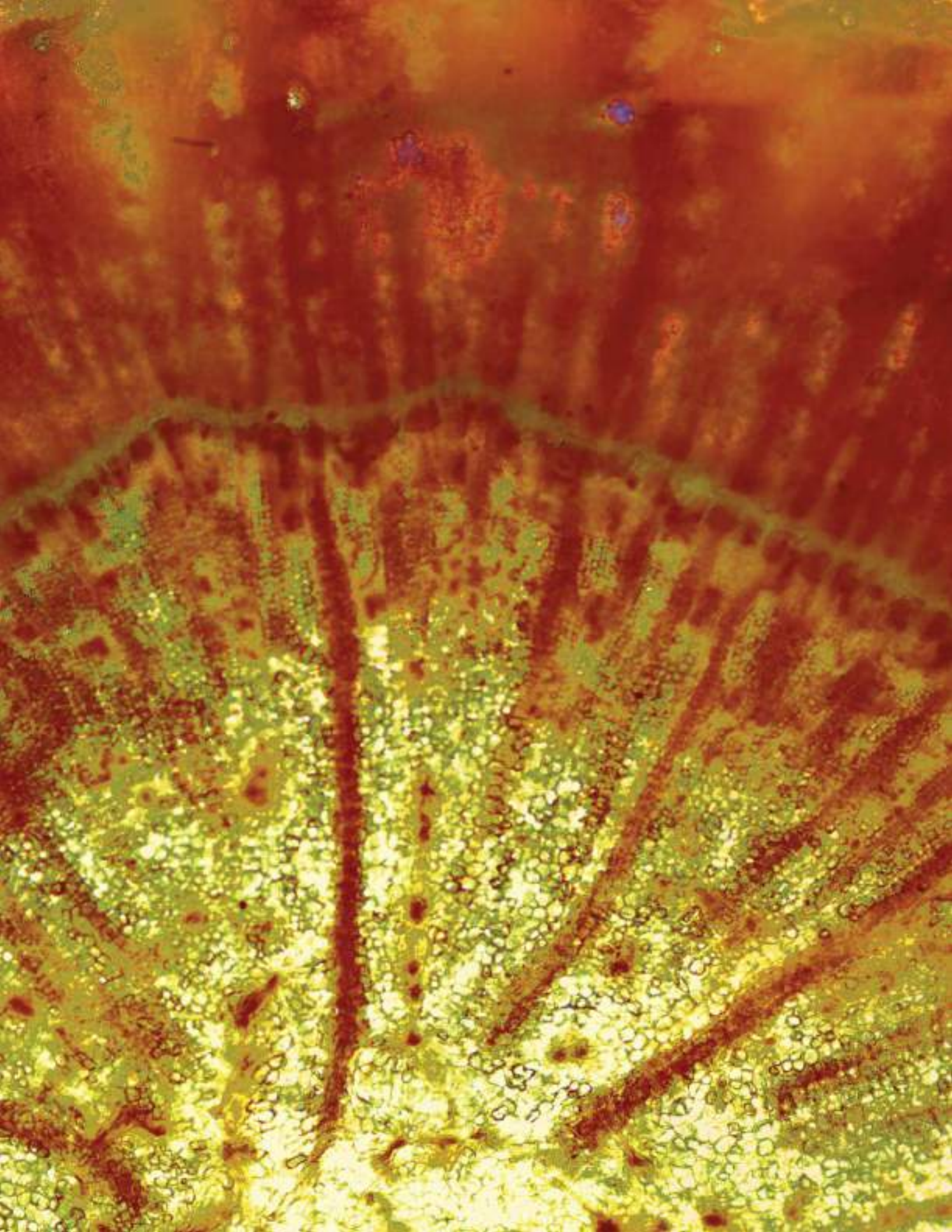
Vilmorin. (s. f.). *La zanahoria*.

Wills, R. H. H., Lee, T. H., Graham, D., McGlasson, W. B., & Hall, E. G. (1984). *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección*. Acribia S.A.

Yugsi, L. (2011). *Guía de campo: Producción limpia de hortalizas*. INIAP. http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2421

Yusuf, E. H., Tkacz, K., Turkiewicz, I. P., Wojdyło, A., & Nowicka, P. (2021). Analysis of chemical compounds' content in different varieties of carrots, including qualification and quantification of sugars, organic acids, minerals, and bioactive compounds by UPLC. *European Food Research and Technology*, *247*(12), 3053-3062. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03857-0







Título

Flujos de valor

Técnica

Microscopía de campo claro y campo amplio, agrupando 18 secciones del tejido. Colores propios por transmisión de luz del tejido.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao-Rojas

Descripción

Sección del corte transversal (radial) de la raíz de zanahoria, donde se observan las estructuras de la peridermis, eñl córtex y las paredes celulares, a través de las cuales se observa el gradiente de pigmentos.

Capítulo XIII

Costos de producción de zanahoria

Carolina Zuluaga Mejía

Introducción

La estructura de costos de la producción de zanahoria está constituida por los elementos generadores de costo, como la mano de obra, los insumos, los materiales, las herramientas y equipos, entre otros, así como por el análisis de laboratorio, uso del suelo y administración. Llevar el registro de estos costos permite planificar y evaluar la producción, además de servir de base para la toma de decisiones, determinar la rentabilidad de cada cultivo, conocer el historial de los lotes de la finca, conocer el costo de cada área de la empresa (recurso humano, insumos, materiales, equipos, lotes de producción, etc.) y calcular el valor de la unidad de la materia prima producida, con lo cual se estima la rentabilidad del sistema productivo (Álvarez & Sánchez, 2011).

Por consiguiente, para registrar esa información, se proponen algunos formatos que pueden incluirse en la documentación de la finca. Para el caso de la mano de obra, es importante relacionar por día los jornales o la cantidad de horas empleadas en determinada labor, y el costo total se obtiene al multiplicar el número de jornales por el valor de un jornal (tabla 13.1). En cuanto a los insumos, se debe registrar la cantidad de bultos, kilogramos o litros que se van gastando en cada una de las labores de campo realizadas en el cultivo. El costo total se calcula multiplicando la cantidad gastada por el valor del kilogramo, bulto o litro del insumo utilizado.

Así mismo, es primordial llevar el registro de las herramientas o equipos que se utilizan como machetes, azadones, limas, bombas de espalda, entre otras. En el formato se debe indicar el nombre de la herramienta, equipo o material utilizado en todo el ciclo del cultivo, y su costo. También, registrar todos los costos y gastos adicionales a los mencionados, como análisis de suelos, administración, asistencia técnica y otros que se generen en el transcurso del ciclo productivo (tabla 13.1).

Tabla 13.1. Formato de registro de costos de producción

Finca: Lote: Ciclo:				
Mano de obra-labor	**Unidad jornal/horas**	**Cantidad**	**Valor unidad**	**Total**
Insumos	**Unidad**	**Total unidades**	**Valor unidad**	**Total**
Herramientas, materiales y equipos	**Unidad**	**Total unidades**	**Valor unidad**	**Total**
Otros costos	**Unidad**	**Total unidades**	**Valor unidad**	**Total**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la zona, el tamaño del cultivo, el tipo de explotación, el nivel tecnológico y la mano de obra, los costos pueden variar e influir sobre la rentabilidad. Para el análisis de este modelo se tomó información correspondiente a la zona productora de zanahoria en el Oriente antioqueño, con una densidad de siembra de 369.850 plantas por hectárea, las cuales fueron sembradas en camas de 1.2 metros de ancho por un largo de hasta 25 metros, según el largo del lote; con distancia de siembra de 15 cm entre hileras y 10 cm entre plantas. Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el cálculo fueron:

» Los recursos que se invierten son propios de cada agricultor, pues tienen inconvenientes para acceder al crédito y no es una práctica común entre ellos.

» El ciclo productivo de la zanahoria dura en promedio 4 meses desde el establecimiento, teniendo en cuenta el tiempo de cosecha y de preparación; para volver a sembrar se tomaron 2,5 ciclos por año.

» El costo del predio de una hectárea para la siembra de zanahoria no se tuvo en cuenta, ya que por lo general son terrenos heredados o de posesión de los agricultores desde hace mucho tiempo, y su valor en términos monetarios puede ser difícil de determinar.

» Para el flujo de caja se tuvo en cuenta una inflación promedio anual del 8 %, según datos del Banco de la República de febrero del 2024 (Banco de la República, 2024).

» En los costos de inversión que aparecen en el año cero del flujo de caja se tiene en cuenta el costo de las herramientas, equipos y materiales necesarios, así como los costos asociados a la mano de obra, insumos, entre otros, para el establecimiento inicial del cultivo. En el caso particular de las herramientas, en los años siguientes se tiene en cuenta la depreciación calculada por el método de la línea recta, con una vida útil de 5 años para herramientas y de 10 años para infraestructura (Hirache, 2015).

» Para la evaluación financiera se tomó una tasa de descuento del 20 %, que normalmente se calcula teniendo en cuenta una ponderación entre el capital propio y el costo de la deuda (Baca, 2010).

» El precio de venta promedio se calculó con información suministrada por los productores y en plazas de mercado del Oriente antioqueño. Es importante tener en cuenta que no toda la zanahoria cosechada es de primera, también sale regular (zanahoria cuya calidad no es la óptima) y mala (zanahoria que se destina para consumo animal), y cada tipo de zanahoria tiene precios diferentes: en el caso de la regular, se paga a la mitad de lo que se paga la de primera.

» Para el cálculo de los ingresos se tomó el rendimiento reportado por los productores de la zona y se contrastó con los rendimientos reportados para el cultivo en las Evaluaciones Agropecuarias Municipales - EVA (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2022).

» En la tabla 13.2 se presentan los costos asociados a la mano de obra en un año, equivalente a aproximadamente 2,5 ciclos de producción del cultivo de zanahoria. Este ítem se calculó estimando el número de jornales por año que se gasta en cada labor, multiplicado por el costo del jornal.

Tabla 13.2. Costos asociados a la mano de obra

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Valor unidad	Total
Construcción de eras	Jornal	14	$70.000	$980.000
Construcción de drenajes	Jornal	9	$70.000	$630.000
Siembra, trazado, ahoyado e incorporación de materia orgánica	Jornal	18	$70.000	$1.260.000
Aporque	Jornal	6	$70.000	$420.000
Resiembra	Jornal	4	$70.000	$280.000
Control de malezas	Jornal	16	$70.000	$1.120.000
Deshierbe de calles	Jornal	8	$70.000	$560.000
Aplicación de riego	Jornal	18	$70.000	$1.260.000
Aplicación de materia orgánica	Jornal	6	$70.000	$420.000
Aplicación de fertilizantes menores	Jornal	6	$70.000	$420.000
Aplicación de insecticidas	Jornal	6	$70.000	$420.000
Aplicación de herbicidas	Jornal	6	$70.000	$420.000
Aplicación de productos biológicos	Jornal	6	$70.000	$420.000
Cosecha (corte)	Jornal	24	$70.000	$1.680.000
Poscosecha	Jornal	18	$70.000	$1.260.000
Transporte al sitio de envío	Jornal	8	$70.000	$560.000
Total				$12.810.000

Fuente: Elaboración propia con base en Arango (2022) e información suministrada por los productores

La tabla 13.3 presenta los costos asociados a los insumos, ítem que se calculó teniendo en cuenta la cantidad de productos necesaria por año para una hectárea del cultivo, multiplicado por su costo unitario.

Tabla 13.3. Costos de insumos para una hectárea de zanahoria

Insumos	Unidad	Total unidades	Valor unidad	Total
Semilla	kg	4,5	$900.000	$4.050.000
Fertilizantes	Bulto	13	$140.000	$1.820.000
Materia orgánica	Bulto	100	$50.000	$5.000.000
Cal dolomita o calfos	Bulto	4	$35.000	$140.000
Herbicida	Litro	1	$40.000	$40.000
Coadyuvante	Litro	1	$60.000	$60.000
Biológicos	Litro	2	$50.000	$100.000
Fertilizante foliar	kg	2	$95.000	$190.000
Fungicidas	Litro	3	$90.000	$270.000
Insecticidas	Litro	8	$45.000	$360.000
Costales	Unidad	240	$3.000	$720.000
Canastillas	Unidad	30	$15.000	$450.000
Cabuya	Rollo	2	$12.000	$24.000
Total				$13.224.000

Fuente: Elaboración propia con base en Arango (2022) e información suministrada por los productores

La tabla 13.4 presenta los costos asociados a los materiales, equipos y herramientas, donde se debe tener en cuenta que estos aspectos hacen parte de la inversión inicial y que las herramientas y equipos son considerados activos depreciables, por lo que se calcula la depreciación con el método de la línea recta (Álvarez & Sánchez, 2011). Este cálculo consiste en dividir el costo total del activo entre el número de años que tiene de vida útil (para el caso de herramientas se consideró 5 años y para equipos, 10 años). Este costo se carga en el flujo de caja, como se presenta más adelante.

Tabla 13.4. Costos de materiales, herramientas y equipos

Herramientas, materiales y equipos	Unidad	Total unidades	Valor unidad	Total
Fumigadora de espalda para productos químicos	Unidad	2	$450.000	$900.000
Fumigadora de espalda para productos biológicos	Unidad	1	$450.000	$450.000
Guantes	Caja	4	$30.000	$120.000
Boquillas (fumigadoras)	Unidad	6	$12.000	$72.000
Empaques (fumigadoras)	Caja	1	$30.000	$30.000
Machetes	Unidad	2	$25.000	$50.000
Azadón	Unidad	2	$35.000	$70.000
Sistema de riego	Unidad	1	$8.000.000	$8.000.000
Herramienta aporque	Unidad	1	$60.000	$60.000
Limas	Unidad	2	$20.000	$40.000
Guadaña	Unidad	1	$490.000	$490.000
Canastillas plásticas de 15 kg	Unidad	20	$20.000	$400.000
Total				$10.682.000

Fuente: Elaboración propia con base en Arango (2022) e información suministrada por los productores

Finalmente, la tabla 13.5 registra otros costos y gastos administrativos relacionados con la asistencia técnica, la administración del cultivo, el análisis de suelos, entre otros.

Tabla 13.5. Otros costos de producción

Otros costos	Unidad	Total unidades	Valor unidad	Total
Análisis de suelo (fertilidad)	Unidad	1		$100.000
Análisis de suelo (CRH)	Unidad	1		$100.000
Análisis de tejido vegetal	Unidad	1		$100.000
Análisis de agua	Unidad	1		$100.000
Administración	Global			$6.000.000
Asistencia técnica	Global			$4.000.000
Otros				$500.000
Total				$10.900.000

Fuente: Elaboración propia

Flujo de caja para el sistema productivo de zanahoria

El flujo de caja es un esquema que presenta los egresos e ingresos de un proyecto, así como el momento en que estos ocurren (Mendieta-Araica, 2005). Cada uno de estos elementos debe caracterizarse según su monto o valor y el momento en el que se recibe o se desembolsa (tabla 13.6). Para el caso de la zanahoria, se calculó el flujo de caja para un periodo de 5 años teniendo en cuenta el año cero como el de la inversión, y un aproximado de 2.5 ciclos anuales. Los ingresos se calcularon tomando el rendimiento promedio reportado en las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (MADR, 2022); luego, estos se contrastaron con lo notificado por los productores en visitas técnicas, y con el precio de venta pagado al productor que se registró en la zona comercializadora del Oriente antioqueño. El precio de venta por kilogramo en la época del estudio fue de $2.600 para zanahoria de primera y $1.300 para zanahoria regular; dado que no se dispone de una proporción clara de zanahoria por calidad comercial, se tomó un precio promedio de $1.950 pagados al productor.

Tabla 13.6. Flujo de caja para zanahoria

Año	0	1	2	3	4	5
Total ingresos	$	$78.000.000	$84.240.000	$90.979.200	$98.257.536	$106.118.139
Costos mano de obra	$12.810.000	$13.450.500	$14.526.540	$15.688.663	$16.943.756	$18.299.257
Costos insumos	$13.224.000	$13.885.200	$14.996.016	$16.195.697	$17.491.353	$18.890.661
Herramientas	$10.682.000	$1.134.400	$1.225.152	$1.323.164	$1.429.017	$1.543.339
Otros costos	$10.900.000	$11.445.000	$12.360.600	$13.349.448	$14.417.404	$15.570.796
Costos y gastos totales	$47.616.000	$39.915.100	$43.108.308	$46.556.973	$50.281.530	$54.304.053
Utilidad bruta	$ (47.616.000)	$38.084.900	$41.131.692	$44.422.227	$47.976.006	$51.814.086
Depreciaciones	-	-	-	-	-	-
Utilidad neta	$(47.616.000)	$38.084.900	$41.131.692	$44.422.227	$47.976.006	$51.814.086

Fuente: Elaboración propia

Evaluación financiera

La evaluación financiera permite determinar qué tan rentable es un proyecto, es decir, cuánta riqueza o valor puede generar al inversionista. Esta se realiza mediante el análisis de varios indicadores (Baca, 2010), algunos de los cuales se relacionan a continuación:

Valor presente neto (VPN)

Es la diferencia entre el valor presente de las entradas de un flujo de caja y el valor presente de las salidas. Se utiliza para conocer la rentabilidad de una inversión, y un valor positivo indica que la inversión genera la rentabilidad esperada más el valor por encima de cero que este dé.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto sea igual a cero. Es de aclarar que, cuando un valor presente es igual a cero, significa que la inversión se recupera y se genera la rentabilidad esperada.

Tasa del inversionista

Es la tasa de retorno mínima que el inversionista elige aceptar, y que se emplea para el cálculo del valor presente.

Relación beneficio-costo (RBC)

Es el cociente entre la sumatoria del valor presente de los ingresos y la sumatoria del valor presente de los egresos del flujo de caja de la inversión. Un valor mayor que 1 constituye un indicador positivo en la evaluación financiera de proyectos.

Para el flujo de caja del cultivo de zanahoria que se calculó anteriormente, en la tabla 13.7 se presentan los siguientes indicadores de la evaluación financiera, con una tasa de descuento del 20 %:

Tabla 13.7. Indicadores de evaluación financiera

Indicador	Valor
VPN	$61.528.976
TIR	77 %
RBC	1,45

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 13.7, la evaluación financiera para el cultivo de zanahoria, bajo los criterios expuestos en este capítulo, es favorable, pues su VPN es mayor que cero, la TIR es mayor que la tasa de descuento y la relación beneficio-costo es mayor que 1. Adicionalmente, se obtuvo que el periodo de recuperación de la inversión es de 2 años.

Análisis de sensibilidad

Es una técnica usada para determinar qué tanto afecta el resultado al modificar alguna de las variables independientes del flujo de caja del inversionista. Para el caso de zanahoria, se hizo el análisis al cambiar el precio de venta de la zanahoria, que es una variable muy sensible en el mercado y la producción, ya que debido a plagas, enfermedades o eventos asociados al cambio climático, la calidad puede verse afectada y, por ende, su comercialización. Al disminuir un 30 % el valor de comercialización de la zanahoria, en la tabla 13.8 se observa el flujo de caja obtenido.

Tabla 13.8. Flujo de caja con análisis de sensibilidad

	Año	0	1	2	3	4	5
=	**Total ingresos**	-	$54.600.000	$58.968.000	$63.685.440	$68.780.275	$74.282.697
-	Costos mano de obra	$12.810.000	$13.450.500	$14.526.540	$15.688.663	$16.943.756	$18.299.257
-	Costos insumos	$13.224.000	$13.885.200	$14.996.016	$16.195.697	$17.491.353	$18.890.661
-	Herramientas	$10.682.000	$1.134.400	$1.225.152	$1.323.164	$1.429.017	$1.543.339
-	Otros costos	$10.900.000	$11.445.000	$12.360.600	$13.349.448	$14.417.404	$15.570.796
=	**Costos y gastos totales**	$47.616.000	$39.915.100	$43.108.308	$46.556.973	$50.281.530	$54.304.053
=	**Utilidad bruta**	($47.616.000)	$14.684.900	$15.859.692	$17.128.467	$18.498.745	$19.978.644
-	Depreciaciones	-	-	-	-	-	-
=	**Utilidad neta**	($47.616.000)	$14.684.900	$15.859.692	$17.128.467	$18.498.745	$19.978.644

Fuente: Elaboración propia

Con esta nueva información se volvieron a calcular los indicadores financieros, obteniendo un resultado desfavorable con indicadores negativos y por debajo de cero (tabla 13.9).

Tabla 13.9. Indicadores financieros con análisis de sensibilidad

Indicador	Valor
VPN	- $5.531.524
TIR	14 %
RBC	1,01

Fuente: Elaboración propia

Otra variable sensible es el rendimiento del cultivo, pues hay épocas en las que el clima no favorece una producción de calidad y cantidad, por lo que se disminuye el rendimiento. Se encontró que, al reducir el rendimiento en un 30 %, se obtiene el mismo flujo de caja presentado en la tabla 13.8. Se concluye, entonces, que tanto el precio como el rendimiento son dos variables altamente sensibles, pues con una disminución del 30 % varían los indicadores financieros del sistema productivo y se afectan considerablemente los ingresos de los productores.

Para no olvidar...



- Es importante llevar los registros de los costos de producción porque permiten planificar y evaluar la producción, además de servir de base para la toma de decisiones.
- La rentabilidad es una variable que depende de los costos derivados de la zona de producción y de la fluctuación del tamaño del cultivo, el tipo de explotación, el nivel tecnológico y la mano de obra.
- El flujo de caja es un esquema que presenta los egresos y los ingresos que se suceden en cualquier proyecto y en qué tiempo cada uno de estos elementos debe ser caracterizado según su monto o valor, así como el momento en el que se recibe o se desembolsa.
- Los costos asociados a los materiales, equipos y herramientas son considerados activos con depreciación, calculada al dividir el costo total del activo sobre el número de años de vida útil (herramientas 5 años y equipos 10 años), según el método de la línea recta de Álvarez & Sánchez (2011).
- Una disminución del rendimiento por debajo del 30 % hace variar los indicadores financieros del sistema productivo y afecta considerablemente y de forma negativa los ingresos de los productores.



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

Conclusiones y perspectivas de la autora

» El análisis presentado evidencia una apuesta por fortalecer las capacidades de gestión técnica y financiera de los pequeños productores de zanahoria, mediante el uso sistemático de registros de costos y una evaluación económica del sistema productivo. Para la autora, llevar un control detallado de la mano de obra, los insumos, herramientas y otros gastos no solo permite calcular la rentabilidad, sino que se convierte en un método estratégico para la toma de decisiones y la planificación de cultivos en el mediano y largo plazo.

» Se reconoce la importancia de incorporar el componente técnico dentro del proceso productivo, asignando un valor explícito a prácticas como el análisis de suelos, tejidos vegetales, agua de riego y asistencia técnica. Sin duda, esta perspectiva privilegia la producción informada, donde el conocimiento técnico no es un costo adicional, sino una inversión que contribuye a la sostenibilidad del sistema.

» El enfoque adoptado por la autora parte de una comprensión profunda de la realidad rural: se asume que la mayoría de los productores trabajan con recursos propios, sin acceso formal a crédito, y que cultivan en terrenos heredados o de larga posesión. Por lo tanto, el modelo financiero propuesto se ajusta a estas condiciones, con una metodología replicable y adaptable que no depende de condiciones externas ideales, sino que se construye desde las prácticas y capacidades reales de los agricultores.

» Se resalta la intención de generar conciencia sobre los factores de riesgo que afectan la estabilidad financiera del cultivo, como la variabilidad de precios y rendimientos. A través del análisis de sensibilidad, el autor plantea la necesidad de que los productores integren el riesgo en sus decisiones productivas y comercializadoras, promoviendo así una visión más resiliente de la agricultura.

» La propuesta no solo entrega cifras y cálculos financieros, sino que también sugiere un cambio en la cultura de producción: pasar de una agricultura basada en la experiencia empírica a una gestión técnica sustentada en datos, análisis y previsión.

Referencias

Álvarez, A., & Sánchez, B. (2011). *Costos y métodos de costeo, aplicación y análisis para el sector agropecuario.* Universidad Nacional de Colombia.

Arango, J. (2022). *Informe costos de producción productores vereda Morritos municipio El Santuario Antioquia.* OQUIA.

Baca, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6.ª ed.). Instituto Politécnico Nacional.

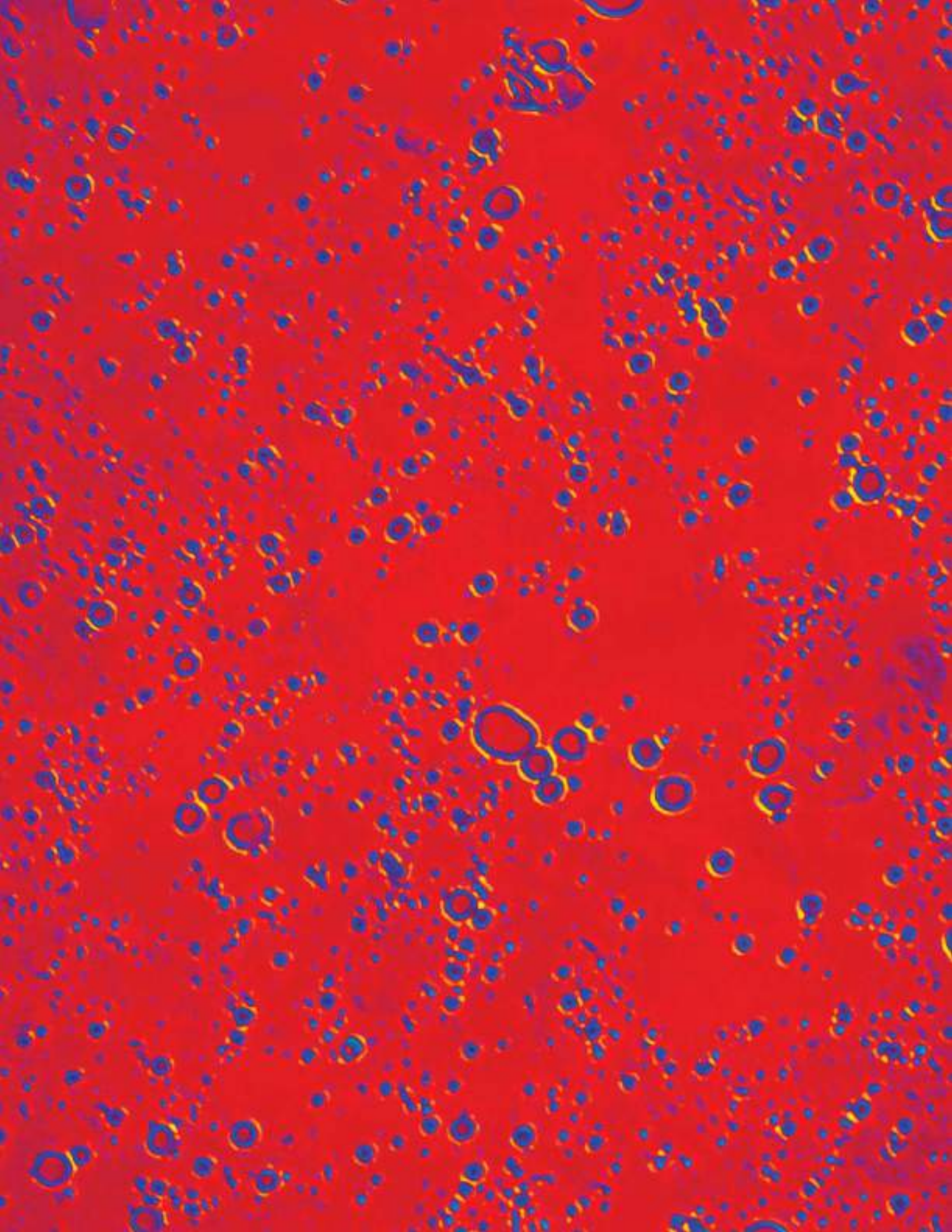
Banco de la República de Colombia. (2024). *Inflación total y meta*. https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta

Hirache, L. (2015). *Estados financieros conforme a NIIF*. Instituto Pacífico.

Mendieta-Araica, G. (2005). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión agropecuaria*. Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. https://repositorio.una.edu.ni/2437/1/ne14m537.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2022). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA.* MinTIC. https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-Mmge







Título

Vitalis O/W

Técnica

Microscopia confocal obtenida a través de transmisión. Colores propios del sistema espectral de colores de la muestra.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Emulsión O/W (aceite en agua) con micogotículas esféricas de extracto oleoso derivado de zanahoria dispersas en agua. Las gotículas grandes y pequeñas se encuentran dispersas, característico de la emulsión O/W.

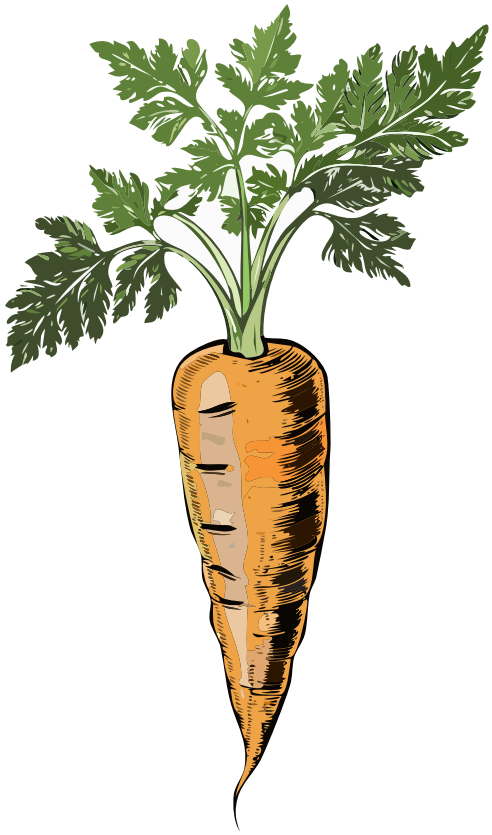
Capítulo XIV

Valor fitoquímico y funcional de la zanahoria: potencial aprovechamiento de sus residuos para la industria cosmética

Carlos Mario García
Karent Bravo
Juan Camilo Henao-Rojas
Edison Osorio

Introducción

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es reconocida no solo por su valor nutricional, sino también por su riqueza en compuestos fitoquímicos de interés funcional, entre los que destacan los carotenoides, polifenoles y volátiles monoterpénicos y sesquiterpénicos. Estos metabolitos secundarios no solo contribuyen a su valor como alimento, también presentan propiedades bioactivas con aplicaciones potenciales en las industrias farmacéutica y cosmética, como antioxidante, antinflamatorios, fotoprotectora y regeneradora de tejidos. Durante el procesamiento y comercialización de zanahoria en fresco o como insumo agroindustrial, se generan grandes volúmenes de residuos subutilizados (principalmente cáscaras, hojas, tallos y raíces defectuosas). Estos subproductos, sin embargo, conservan una proporción significativa de los compuestos bioactivos presentes en la planta, lo que los convierte en una fuente valiosa para el desarrollo de ingredientes funcionales para formulaciones cosméticas sostenibles. Este capítulo analiza la composición química de la zanahoria, con énfasis en sus metabolitos de interés cosmético, y explora estrategias de valorización de sus residuos dentro del contexto de una economía circular. Asimismo, se examinan experiencias y perspectivas en el ámbito agroindustrial colombiano, con el fin de promover el aprovechamiento integral de esta hortaliza en la generación de productos cosméticos innovadores y ambientalmente responsables.



Residuos alimentarios y alternativas para su aprovechamiento

A nivel global, se estima que cerca del 45 % de los alimentos producidos se pierden o desperdician en diferentes etapas de la cadena de suministro, siendo las frutas y vegetales los productos con mayores índices de pérdida, al representar más del 40 % del desperdicio total (Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT], 2023; Cecilia et al., 2019; Du et al., 2018). En regiones como Latinoamérica y Asia, este porcentaje puede alcanzar hasta el 70 %, especialmente en fases tempranas como la producción y el almacenamiento (Ganesh et al., 2022). En Colombia, el panorama es igualmente preocupante: el 62 % de los alimentos desperdiciados corresponde a frutas y verduras, seguido por raíces y tubérculos con un 25 %, siendo la etapa de producción agrícola la más crítica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Esta situación pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de valorización de residuos alimentarios, no solo para reducir el impacto ambiental, sino también para aprovechar su potencial en sectores emergentes como el cosmético.

El principal destino de estos residuos son los vertederos, en donde se acumulan y se pierde su potencial, a la vez que se convierten en foco de enfermedades, lo que genera un problema ambiental y de salud pública cada vez mayor (Qasim et al., 2020). Además, el desperdicio de alimentos está relacionado con el 7 % de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Sridhar et al., 2021). Aunque se han realizado esfuerzos para combatir el desperdicio de alimentos, estos se han encaminado mayoritariamente a la disminución en la generación de residuos y su correcta disposición.

Si bien las estrategias implementadas, como las campañas para reducir la generación de residuos o aquellas orientadas a su adecuada separación y disposición, han mostrado resultados



prometedores, no son suficientes dado el gran volumen de desechos producidos. Estas razones evidencian la necesidad de generar procesos que impulsen la utilización efectiva de los residuos de frutas y verduras para la obtención de productos de valor agregado, que sean también ecológicos, sostenibles y económicos, y que además involucren a los diferentes eslabones de las cadenas productivas. De esta forma, es fundamental otorgar mayor importancia a los aspectos económicos y al impacto ambiental negativo, específicamente en temas relacionados con la sostenibilidad y la economía circular (Bigdeloo et al., 2021), así como introducir conceptos como biorrefinería, que contribuyan al aprovechamiento de residuos agroindustriales (Yaashikaa et al., 2022).

En el aprovechamiento de residuos se encuentran aplicaciones convencionales y novedosas (figura 14.1). Dentro de las convencionales se registran la fabricación de briquetas (Srivastava et al., 2014) y biodigestores para generación de energía (Bres et al., 2018), la alimentación animal, compostaje y abonos para el sector agropecuario, procesos de fermentación, digestión anaerobia y enzimática para la generación de biocombustibles y alcoholes (Rodionova et al., 2017), y el uso como adsorbentes en la remoción de contaminantes (Gill et al., 2014). Sin embargo, en los últimos años, han surgido alternativas interesantes a las aplicaciones convencionales, que se presentan como oportunidades prometedoras por la especificidad y el valor agregado de los productos generados. Algunos ejemplos son la extracción de compuestos bioactivos (Espro et al., 2021; Jiménez-Moreno et al., 2020) y producción de nutracéuticos y agentes aromatizantes para el sector farmacéutico/alimentario (Kumar et al., 2017), la elaboración de películas y empaques para el sector de los materiales (Gonçalves de Moura et al., 2017) y la generación de nanopartículas para sectores diversos (Rueda et al., 2020).

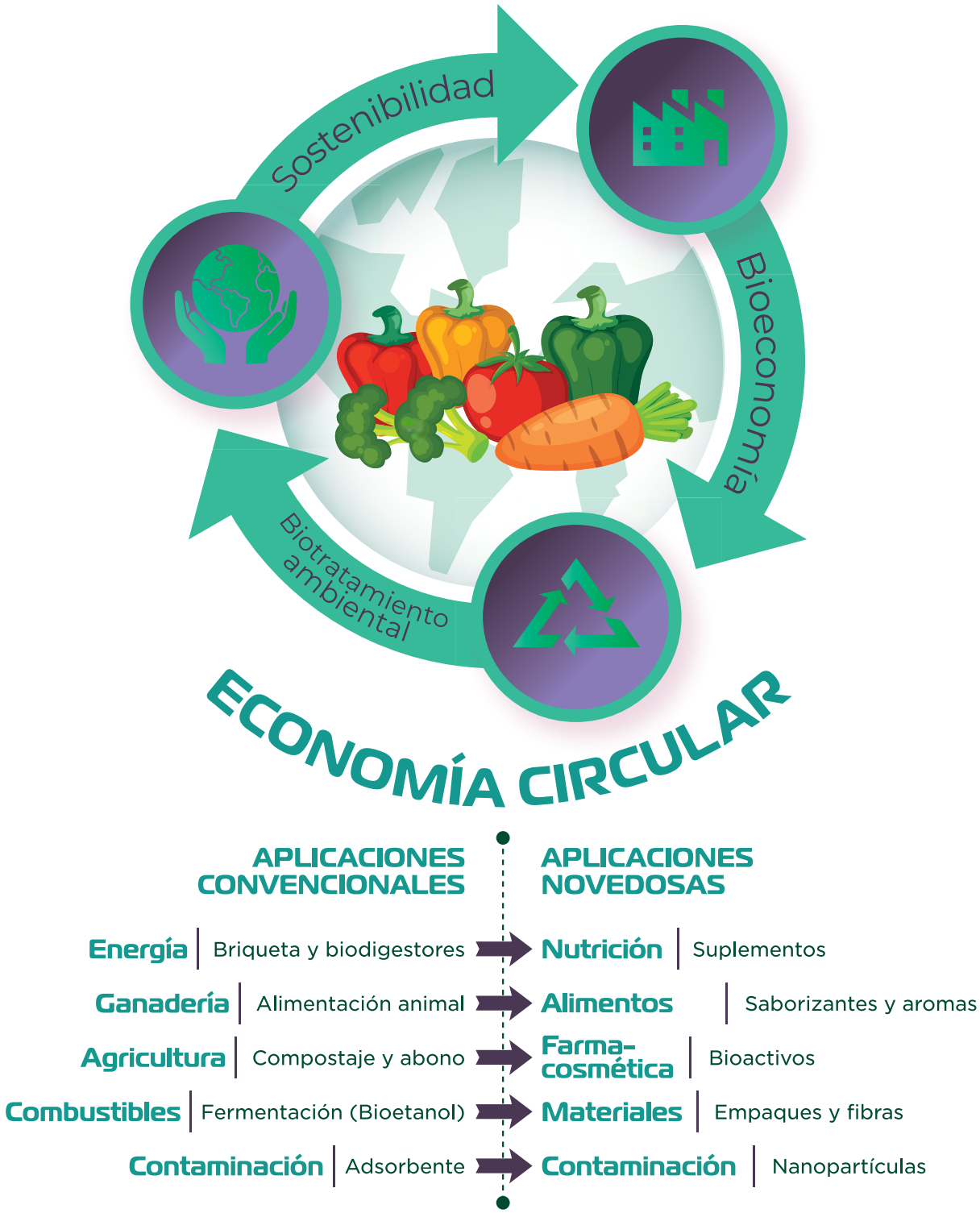


Figura 14.1. Aplicaciones convencionales y emergentes para residuos vegetales.

Fuente: Elaboración propia

Producción de zanahoria y generación de residuos agroindustriales

La producción mundial de zanahoria para el año 2021 correspondió a 41.666.714 t, con un área cosechada de 1.096.004 ha, lo que la ubica dentro de los vegetales de mayor producción mundial (Statista, 2023) (figura 14.2). Alrededor del 20-30 % de la producción se separa durante el procesamiento primario como material rechazado y desperdicios. Dentro de estos materiales se listan las zanahorias no clasificadas (separadas debido a irregularidades en la forma, tamaño, color o daño mecánico) y descartes en procesamiento (coronas y puntas generadas durante la clasificación). Este material vegetal se utiliza principalmente para alimentación animal y el resto termina en vertederos. Se estima que 90.000 libras de zanahoria son desechadas en vertederos, liberando aproximadamente 6.988,38 kg de metano equivalente a 174.709,5 kg de dióxido de carbono, lo cual provoca un efecto perjudicial sobre el medio ambiente (Kaur et al., 2022).

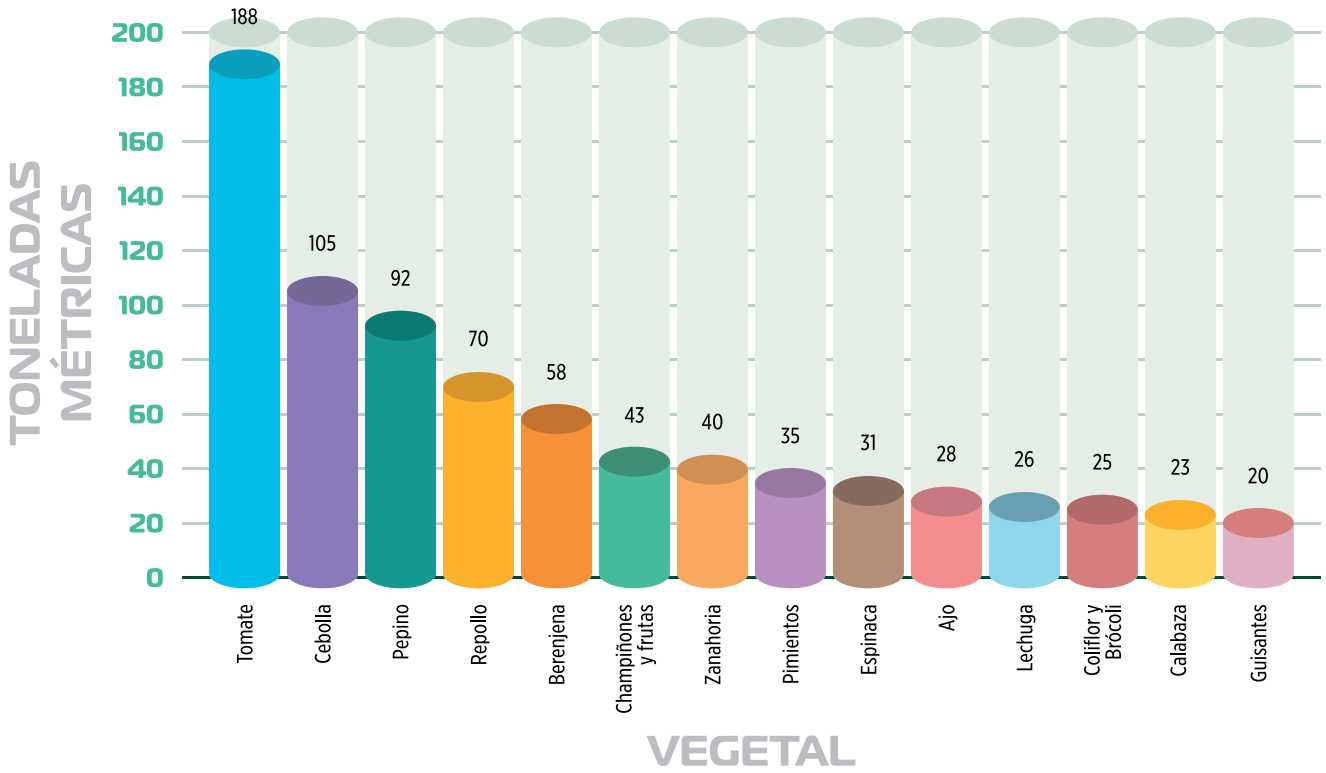


Figura 14.2. Producción mundial de vegetales para el año 2021.

Fuente: Elaboración propia con base en Statista (2023)

Entre los principales productores de zanahoria a nivel mundial destacan China, Uzbekistán y Estados Unidos (FAOSTAT, 2023). En Colombia, por su parte, la producción promedio en los últimos años se estima en 270.000 t, con un rendimiento aproximado de 28,5 t/ha (figura 14.3). Por departamentos, Cundinamarca, Antioquia, Boyacá y Norte de Santander son los mayores productores nacionales. En cuanto a rendimiento, el departamento con mayor relación de producción por área cultivada es Antioquia, con valores superiores a 40 t/ha, destacándose municipios como El Santuario y Marinilla (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2023).

En Colombia, la producción de hortalizas está conformada por más de 30 tipos de cultivos, con la mayor área de cosecha para arveja, tomate, cebolla de bulbo, zanahoria, ahuyama y cebolla de rama (UPRA, 2019) (figura 14.4).

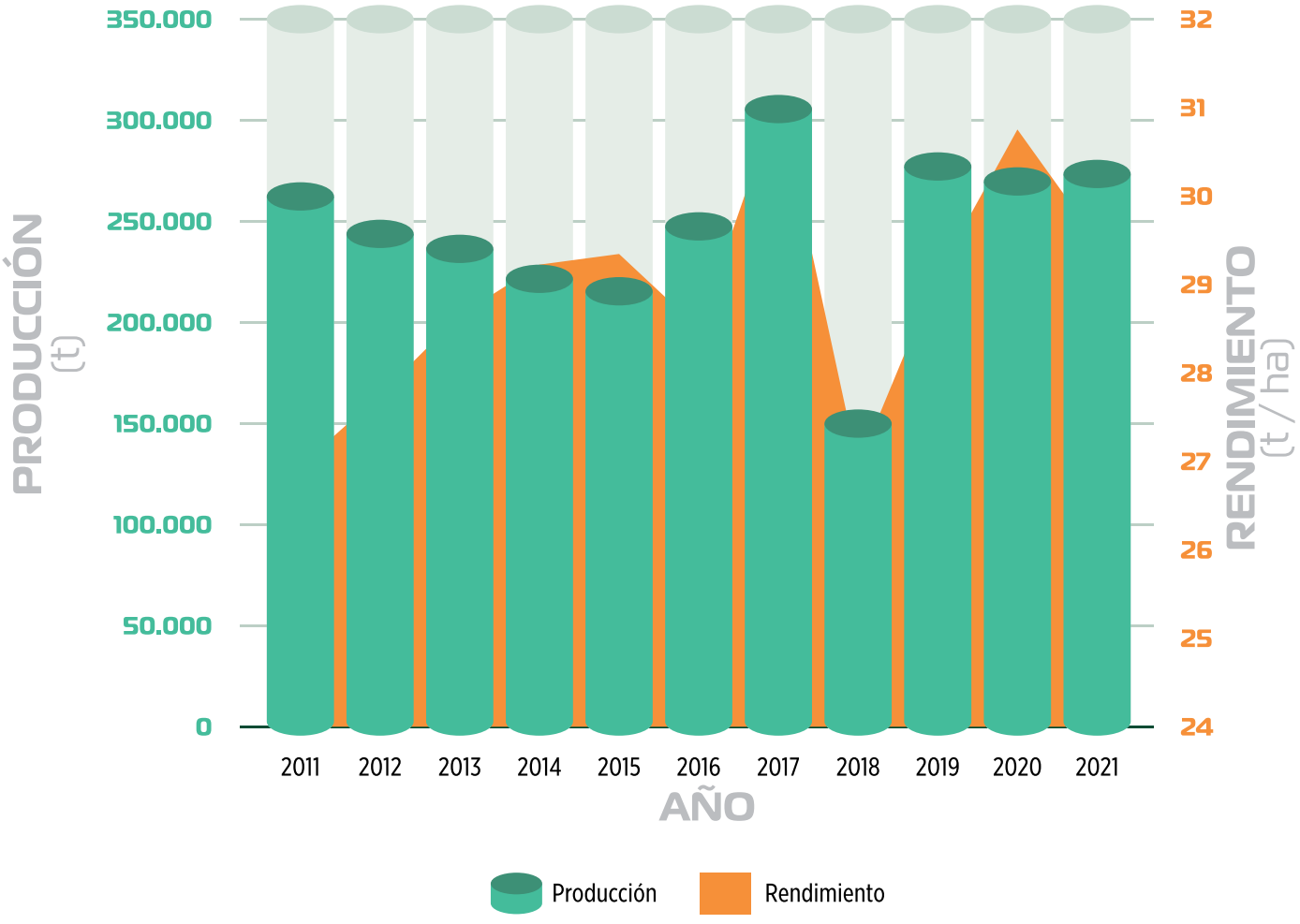


Figura 14.3. Dinámica de producción de zanahoria en Colombia.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de EVA (2023)

La cadena productiva de cada uno de estos cultivos puede ser fortalecida en todos sus eslabones, con un enfoque diferencial en el aprovechamiento de residuos, teniendo en cuenta que en la producción es donde se presentan las mayores pérdidas. Específicamente, el caso de la zanahoria ha cobrado interés por la baja tecnificación, producción de baja calidad y altos excedentes (25 a 30 %) (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2021). De esta forma, cada vez cobra más relevancia el desarrollo de proyectos productivos sostenibles enfocados al fortalecimiento de la cadena productiva de zanahoria con aplicaciones promisorias en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Ben-Othman et al., 2020).

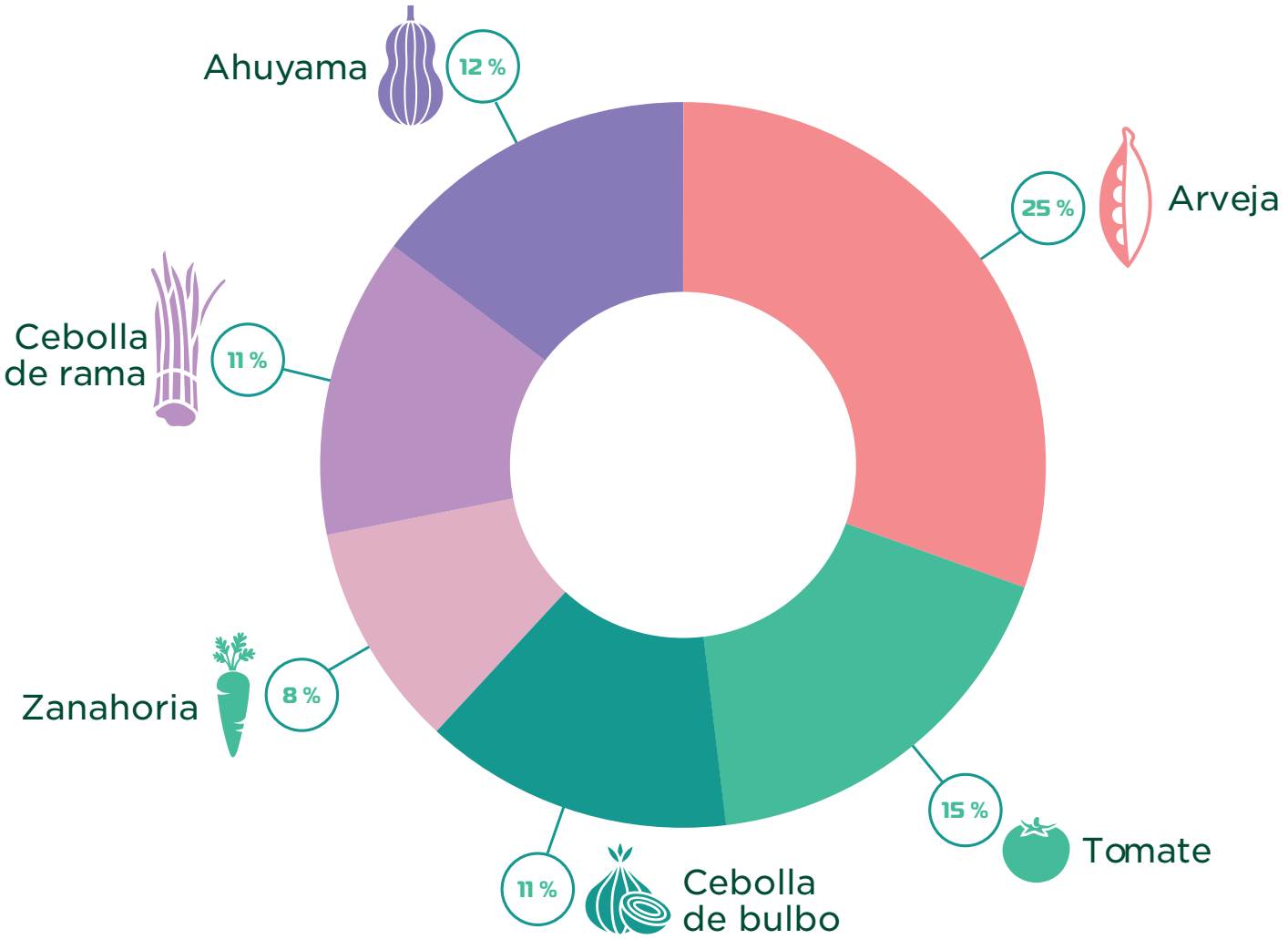


Figura 14.4. Hortalizas con mayor área de cosecha.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de EVA (2019-2023)

Composición química y valor nutricional de la zanahoria

La zanahoria posee una gran variedad de nutrientes y diversidad de compuestos químicos que la convierten en una hortaliza altamente valorada y, en general, en un alimento muy completo. Entre sus nutrientes principales se pueden resaltar macronutrientes como lípidos, carbohidratos, varios aminoácidos y micronutrientes tales como vitaminas (B, C, E y K) y minerales esenciales como potasio, sodio y calcio (Nagraj et al., 2020). La zanahoria también es rica en fibra dietaria, una parte del alimento que no es clasificada como nutriente, pero esencial en una dieta saludable, por lo que cumple funciones importantes en el cuerpo humano. Dentro de los metabolitos secundarios, los carotenoides (provitamina A) y los compuestos fenólicos, tales como flavonoides y antocianinas, son los compuestos más representativos, debido a sus múltiples actividades biológicas. La concentración de estos compuestos bioactivos puede variar dependiendo de su procedencia, estado de maduración, condiciones de cultivo, época de cosecha y la variedad de zanahoria utilizada (Koley et al., 2014; Leja et al., 2013; Sciubba et al., 2020).

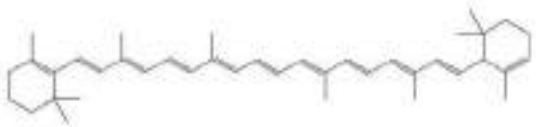
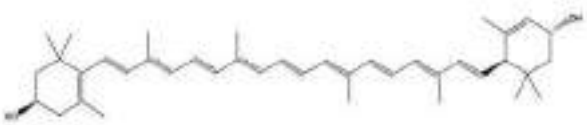
Entre los constituyentes bioactivos de la zanahoria, los carotenoides son los más representativos. De hecho, el nombre carotenoide proviene de *carota*, una palabra en latín que significa "zanahoria", que es la hortaliza de referencia cuando se habla de estos compuestos. Los carotenoides son compuestos tetraterpénicos responsables de una variedad de colores, como el amarillo, naranja y rojo. Estos pigmentos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, principalmente en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. La mayoría de los carotenoides están compuestos por ocho unidades de isopreno, lo que da lugar a un esqueleto de 40 carbonos.

Generalmente, su estructura consiste en una cadena de polieno con diversos enlaces dobles conjugados y un grupo terminal en ambos extremos de la cadena. El color de los carotenoides está estrechamente relacionado con su estructura, ya que los enlaces dobles de carbono-carbono conjugados interactúan entre sí y, a medida que aumenta el número de conjugaciones, la longitud de onda de la luz absorbida también aumenta, lo que da al compuesto una apariencia más rojiza (Ashokkumar et al., 2023).

Según su estructura química, los carotenoides se pueden dividir en dos categorías principales: carotenos y xantófilas (tabla 14.1). Los carotenos son carotenoides sin oxígeno, mientras que las xantófilas son derivados oxigenados de los carotenos (Adadi et al., 2018). Algunos carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que también se han clasificado en "carotenoides provitamina A" y "carotenoides no provitamina A" (Maoka, 2020). Los carotenoides que contienen al menos un anillo β sin sustituir en su estructura, junto con un esqueleto insaturado adecuado (cinco enlaces dobles carbono-carbono) tienen la capacidad de ser convertidos en vitamina A (Meléndez-Martínez, 2019), entre los cuales se encuentran el β-caroteno, α-caroteno y β-criptoxantina.

En organismos fotosintéticos, los carotenoides desempeñan un papel esencial en los centros de reacción (complejo de varias proteínas, pigmentos y otros cofactores coordinados para ejecutar las reacciones principales de la fotosíntesis), ya sea por su participación en la transferencia de energía y/o por su protección contra radiaciones de alta energía y autooxidación generada por radicales libres (Kirilovsky, 2015). En organismos no fotosintéticos, los carotenoides se han asociado con mecanismos antioxidantes y con la prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Kaulmann & Bohn, 2014; Krinsky & Johnson, 2005), ya que los animales no tienen la capacidad de sintetizar carotenoides y deben obtenerlos a través de su alimentación.

Tabla 14.1. Clasificación de carotenoides

Según su estructura	
Carotenos	**Xantofilas**
 β-Caroteno	 Zeaxantina
 α-caroteno	 Luteína
 Licopeno	 β-criptoxantina

Fuente: Elaboración propia con base en Müller (1997)

Los principales carotenoides en las raíces de zanahoria corresponden al β-caroteno en un 75 %, α-caroteno con un 23 %, luteína con un 1,9 %, y el porcentaje restante corresponde a β-criptoxantina, el licopeno y la zeaxantina (Ahmad et al., 2019). En comparación con otras verduras y hortalizas (tabla 14.2), la zanahoria no está entre las que tienen mayor contenido de carotenoides totales. Sin embargo, dentro de las fuentes de carotenoides provitamina A, es la que tienen mayor concentración (Lessin et al., 1997; Müller, 1997).

Además de carotenoides, otro tipo de metabolitos como los polifenoles se han reportado en zanahoria (Dong et al., 2021). Los compuestos fenólicos son metabolitos conformados principalmente por un anillo aromático que lleva uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos desempeñan un papel crucial frente a diversos tipos de estrés (irradiación ultravioleta, agresión de patógenos, parásitos y depredadores de las plantas) y contribuyen a mejorar las propiedades organolépticas de las plantas (Kumar et al., 2020; Shah & Smith, 2020). Los compuestos fenólicos se pueden dividir en diferentes subgrupos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, lignanos, estilbenoides y curcuminoides. Dependiendo de la estructura y grupos funcionales, así como de las enzimas de los organismos, pueden estar en mayor o menor medida glicosidados, de lo cual dependerá su solubilidad en agua.

De acuerdo con la anterior clasificación, los compuestos fenólicos más representativos de la zanahoria son los flavonoides y los ácidos fenólicos. Entre los flavonoides se pueden mencionar la quercetina, kaempferol y luteolina (figura 14.5) como aquellos con mayor relevancia (Cao et al., 2010; Miean & Mohamed, 2001). Por otro lado, se ha reportado que la zanahoria es rica en ácidos fenólicos como el *p*-hidroxibenzoico, cafeico y clorogénico (figura 14.6) (Gonçalves et al., 2010; Sun et al., 2009). También se destacan las antocianinas, un grupo de pigmentos naturales pertenecientes a la familia de los flavonoides, que se encuentra además en una variedad de frutas, verduras y plantas con colores llamativos que van desde el rojo y el morado hasta el azul. En el caso de la zanahoria, las variedades con colores morados y oscuros son conocidas por su alto contenido en antocianinas, cuyo principal compuesto es la cianidina y, en menor medida, la peonidina y la pelargonidina (figura 14.7) (Algarra et al., 2014; Gao et al., 2022; Kammerer et al., 2004).

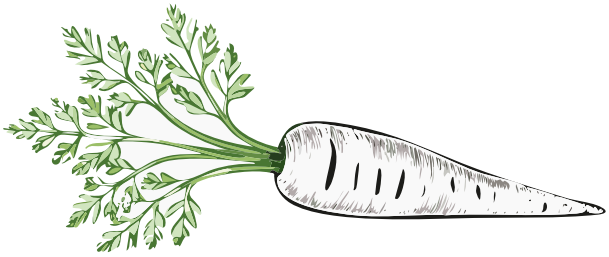


Tabla 14.2. Contenido de carotenoides en diferentes vegetales

Vegetal	Carotenoides totales (µg/100 g peso fresco)	Provitamina A (µg/100 g peso fresco)
Acelga	5.527	2.735
Batata	1.150	1.150
Berenjena	950	50
Brócoli	6.626	1.839
Calabacín	135	27
Calabaza	1.1190	8.700
Cebolla	3	1
Coliflor	6	2
Espinaca	14.684	4.423
Habichuela	413	163
Kale (col rizada)	13.560	4.120
Lechuga	5.610	1.550
Patata	66,5	1,5
Pepino	27	11
Pimentón rojo	13.208	580
Remolacha	0	0
Repollo	56	38
Rúcula	12.620	2.840
Tomate	3.960	320
Zanahoria	**10.160**	**9.650**

Fuente: Elaboración propia con base en Vargas-Murga et al. (2016)

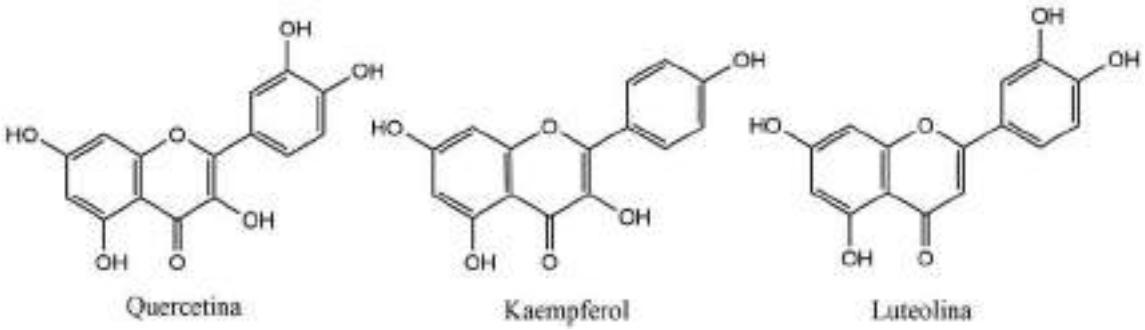


Figura 14.5. Flavonoides comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Cao et al. (2010) y Miean y Mohamed (2001)



Figura 14.6. Ácidos fenólicos comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Gonçalves et al. (2010) y Sun et al. (2009)

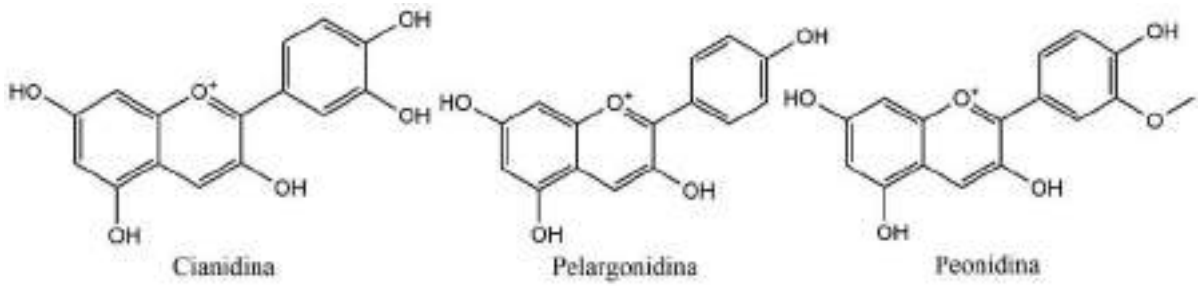


Figura 14.7. Antocianinas comunes en zanahorias.

Fuente: Elaboración propia con base en Algarra et al. (2014), Gao et al. (2022) y Kammerer et al. (2004)

Como se ha mencionado, los compuestos bioactivos presentes en la zanahoria tienen un papel fundamental en la protección contra las especies reactivas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés). Estas se pueden generar por diferentes factores de estrés, tales como la luz ultravioleta (UV), que tiene la capacidad de generar ROS debido a su alta energía (Hideg et al., 2013; Nawkar et al., 2013; Sharma et al., 2017).

De igual manera, se han estudiado los efectos frente a diferentes factores bióticos, y se ha encontrado el incremento en la producción de ciertos metabolitos secundarios como forma de protección. No obstante, la proporción de estos compuestos también puede oscilar significativamente entre las diferentes variedades de zanahoria. Por ejemplo, variedades de zanahoria con colores distintos contienen concentraciones diferentes de ciertos metabolitos (figura 14.8) y, por ende, presentan contrastes en sus propiedades biológicas (Yusuf et al., 2021, 2023). Los estudios comparativos entre las variedades de zanahorias muestran correlaciones entre la cantidad de carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, actividad antioxidante y el color específico de cada variedad (Leja et al., 2013).



Figura 14.8. Variedades de zanahorias y sus compuestos característicos.

Fuente: Elaboración propia con base en Leja et al. (2013)

En general, se considera que las zanahorias naranjas, rojas y multicolores poseen concentraciones más altas de carotenoides en comparación con las variedades oscuras y aquellas menos coloreadas como las amarillas y blancas. En cuanto a compuestos fenólicos y flavonoides, las variedades de zanahoria moradas y oscuras contienen una concentración superior respecto a las demás (tabla 14.3) (Arscott & Tanumihardjo, 2010). Esta diferencia se ve traducida en una mayor capacidad antioxidante (medida por diferentes métodos: FRAP, CUPRAC, ABTS, ORAC) de las variedades ricas en compuestos fenólicos y flavonoides en comparación con aquellas ricas en carotenoides. En este sentido, las variedades de zanahoria con pigmentación oscura poseen una mayor capacidad antioxidante debido a

su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, como las antocianinas, responsables del color morado. Por el contrario, las variedades ricas en carotenoides (rojas y naranjas) tienen menor capacidad antioxidante que las oscuras, pero mayor que las amarillas y blancas (Alasalvar et al., 2001; Nicolle et al., 2004; Singh et al., 2018).

Tabla 14.3. Contenido de los atributos biofuncionales presentes en la zanahoria según su ecotipo

Atributo				
Contenido de antocianinas	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
Contenido de carotenoides	Bajo	Moderado	Alto	Moderado
Contenido de flavonoides	Moderado	Muy Alto	Alto	Moderado
Contenido de compuestos fenólicos	Alto	Muy Alto (mayor poder antioxidante)	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia
Fotos: Jaison Martínez Saldarriaga

Además de los carotenoides y compuestos fenólicos, también se pueden encontrar otros fitoquímicos en menores concentraciones. Algunos de ellos son interesantes debido a sus propiedades organolépticas y posibles usos industriales. Por ejemplo, los sabores y olores característicos a "zanahoria fresca" en las raíces y hojas se han atribuido a los compuestos volátiles monoterpenos y sesquiterpenos (Muchlinski et al., 2020). Estos terpenos generalmente imparten un sabor áspero o amargo, y se ha observado que estos atributos de sabor aumentan proporcionalmente con el contenido de terpenos en los diferentes genotipos de zanahoria. El terpinoleno parece ser el monoterpeno volátil más abundante, seguido del mirceno y el sesquiterpeno cariofileno (figura 14.9) (Hampel et al., 2005). Sin embargo, el contenido de volátiles totales puede variar entre los diferentes genotipos de zanahoria; de hecho, mediante mapas sensoriales se ha mos-

trado que las zanahorias coloreadas forman grupos distintos dentro de los perfiles sensoriales. Las variedades naranjas se caracterizan por tener intensidades significativamente mayores en sabor y aroma a zanahoria, mientras que ocurre lo contrario con los genotipos amarillos y blancos. Por su parte, las variedades moradas y oscuras tienen mayor intensidad en sabor dulce y nuez, y el genotipo rojo puede tener intensidades significativamente mayores en aroma y sabor verde, amargor y regusto ardiente (Kreutzmann et al., 2008).

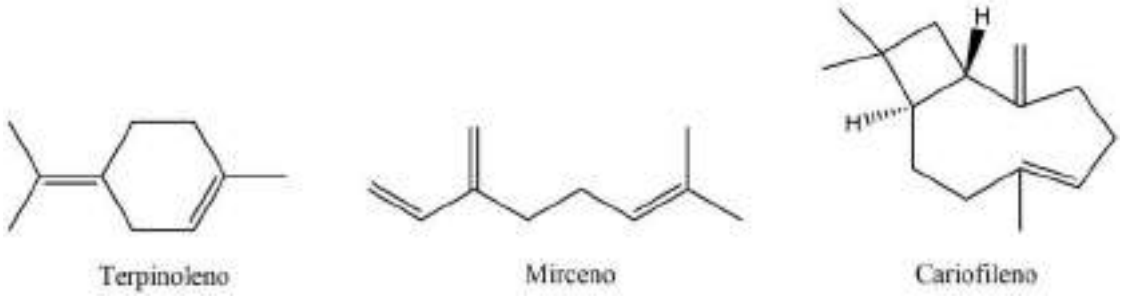


Figura 14.9. Terpenos volátiles comunes en la zanahoria.

Fuente: Elaboración propia con base en Hampel et al. (2005)

Los poliacetilenos son los compuestos menos conocidos de la zanahoria, pero han sido ampliamente estudiados (Busta et al., 2018). Entre estos se encuentran el falcarinol o carotatoxina y el falcarindiol (figura 14.10), alcoholes poliacetilénicos producidos en la zanahoria como mecanismo de respuesta al ataque de hongos (Dawid et al., 2015). Estas toxinas de defensa son las principales responsables del sabor amargo de la zanahoria. Son potentes sensibilizadores de la piel, irritantes y también neurotóxicos en altas concentraciones. Si bien se les ha considerado tradicionalmente tóxicos para el ser humano, recientemente los poliacetilenos han sido estudiados por poseer efectos anticancerígenos (Alfurayhi et al., 2023), antibióticos (Liu et al., 2024) y antiinflamatorios en neoplasias colorrectales (Kobaek-Larsen et al., 2019). En conclusión, los diferentes perfiles de los metabolitos secundarios de la zanahoria dan cuenta de actividades biológicas muy específicas relacionadas con estos compuestos, lo cual marca una pauta en la búsqueda de beneficios en la salud o posibles aplicaciones que puedan tener las variedades de zanahoria.

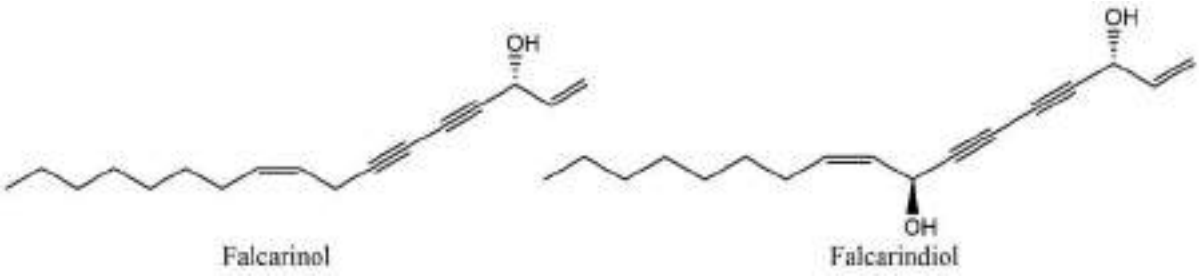


Figura 14.10. Poliacetilenos de zanahoria.

Fuente: Elaboración propia con base en Alfurayhi et al. (2023)

Efectos biológicos y/o farmacológicos de la zanahoria

La presencia de diversos nutrientes y compuestos bioactivos en la zanahoria le proporciona el estatus de una de las hortalizas con mayor diversidad nutricional, y a su vez potenciales beneficios para la salud. Esta popularidad se relaciona con la frase difundida desde la Segunda Guerra Mundial: *"A carrot a day keeps the doctor away!"* (Una zanahoria al día mantiene alejado al doctor), que impulsó su consumo y la posicionó como una raíz altamente valorizada. En términos de macronutrientes, la zanahoria contiene aproximadamente 88 % de agua, 1 % de proteína, 7 % de carbohidratos, 0,2 % de grasa y 3 % de fibra (no considerada como nutriente). Esta última se asocia a una buena salud digestiva, control del peso, regulación de los niveles de azúcar y de la microbiota intestinal (Dong et al., 2020). Los macronutrientes proporcionan la energía y los materiales de construcción para las innumerables sustancias que son esenciales para el crecimiento y la supervivencia de los organismos vivos. En este sentido, las zanahorias no son particularmente ricas en proteínas y lípidos, pero tienen un contenido moderado de carbohidratos, por lo que son una óptima fuente de energía a pesar de no estar entre las verduras con mayor contenido calórico.

A pesar de que la zanahoria contiene un contenido nutricional moderado, en cuanto a micronutrientes como vitaminas y minerales, posee una diversidad y cantidad de compuestos que son muy importantes para la buena salud y son esenciales en una variedad de vías metabólicas básicas que respaldan funciones celulares fundamentales. En particular, su participación en el metabolismo energético, la síntesis de ADN, el transporte de oxígeno y las funciones neuronales son primordiales para la función cerebral y muscular. De esta forma, las vitaminas y minerales se relacionan con efectos cognitivos y psicológicos, incluida la fatiga física y mental (Tardy et al., 2020).

La combinación y diversidad de macronutrientes, micronutrientes y compuestos bioactivos (como carotenoides y compuestos fenólicos) de la zanahoria proporcionan una serie de efectos benéficos relacionados principalmente con la prevención de enfermedades y el mejoramiento de muchas funciones (figura 14.11; tabla 14.4). Así, el consumo de zanahoria se asocia con la prevención de enfermedades coronarias e hipertensión, regulación de azúcar en la sangre y diabetes, mejora de la visión (prevención de enfermedad macular, ceguera nocturna y cataratas), así como con el sistema gastrointestinal, inmunológico y, a nivel de la piel, la prevención de cáncer (Nagraj et al., 2020).

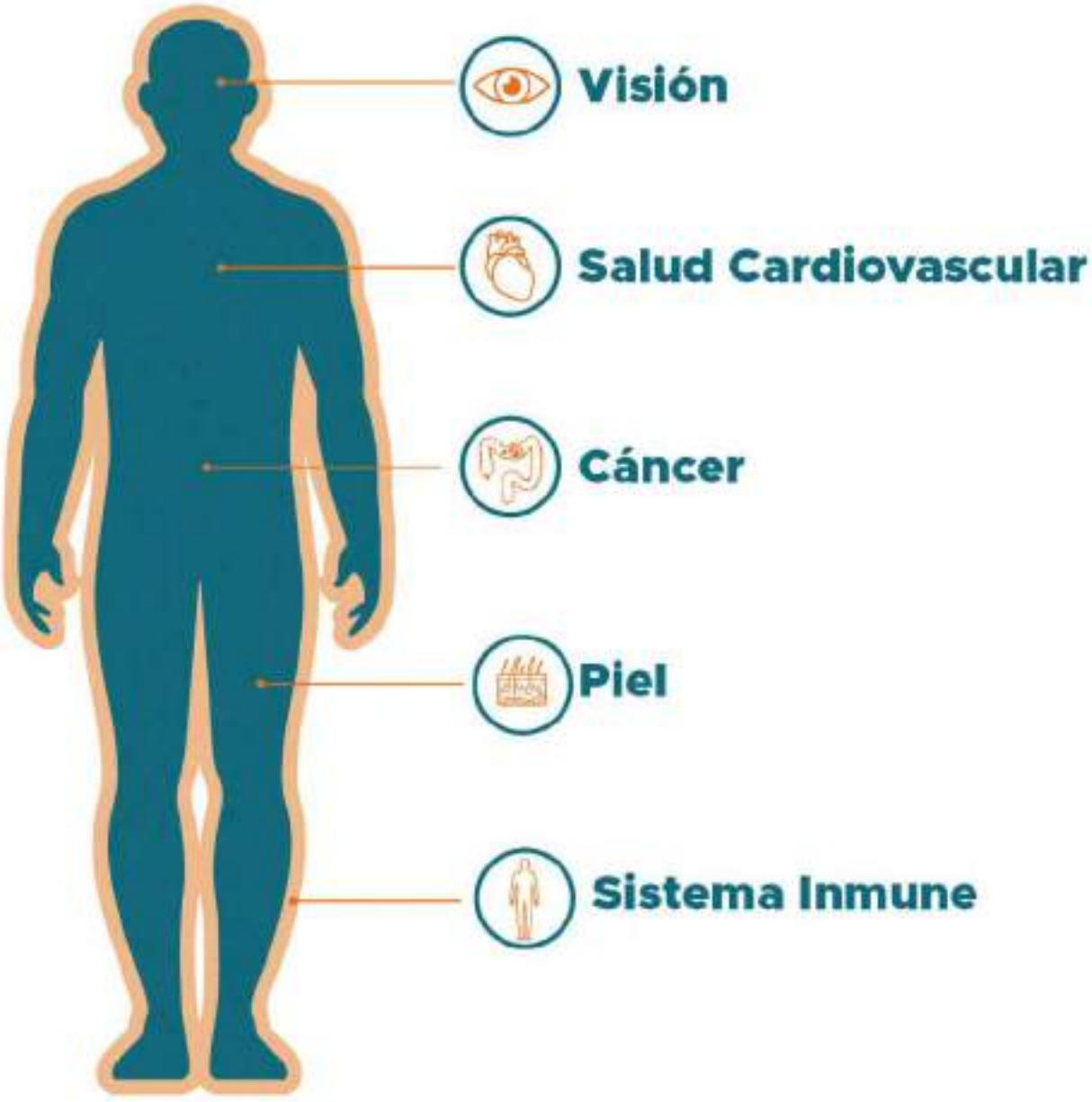


Figura 14.11. Beneficios de la zanahoria para la salud.

Fuente: Elaboración propia

Varios de estos beneficios son atribuidos a los carotenoides y compuestos fenólicos. En el ámbito de la salud y la nutrición, los carotenoides están relacionados con las propiedades antioxidantes, pero también pueden tener efectos a través de otros mecanismos. Por ejemplo, el α y β-caroteno funcionan como provitamina A, mientras que la luteína y la zeaxantina son pigmentos importantes en la mácula del ojo (Landrum & Bone, 2001). Cada vez hay mayor evidencia de los beneficios de la luteína en la reducción de la progresión de enfermedades oculares como la degeneración macular relacionada con la edad y las cataratas (Mrowicka et al., 2022). Además de los efectos positivos en la salud ocular, hay indicios de que los carotenoides también pueden mejorar la función cognitiva, la salud cardiovascular y pueden ayudar a prevenir ciertos tipos de cáncer. Por ejemplo, el licopeno se ha relacionado con una buena salud del corazón (Costa-Rodrigues et al., 2018; Przybylska & Tokarczyk, 2022). A continuación, se listan las funciones más importantes de los carotenoides (Eggersdorfer & Wyss, 2018; Rowles & Erdman, 2020):

Tabla 14.4. Beneficios saludables asociados a los carotenoides

Carotenoide	Beneficio en la salud	Referencia
α y β -caroteno, β-criptoxantina	Visión, provitamina A	Beltrán-de-Miguel et al. (2015)
Luteína y zeaxantina	Salud ocular (mácula)	Mrowicka et al. (2022)
Luteína y β-caroteno	Cerebro y funciones cognitivas	Walk et al. (2017)
Licopeno	Salud cardiovascular	Cheng et al. (2019)
Licopeno	Prevención del cáncer	Wan et al. (2014)
Luteína y zeaxantina	Nutrición materna e infantil	Giordano & Quadro (2018)
Licopeno y β-caroteno	Piel y protección UV	Heinrich et al. (2003)
Luteína y β-caroteno	Fertilidad	Mínguez-Alarcón et al. (2012)
β-caroteno	Modulación y estimulación del sistema inmunitario	Jonasson et al. (2003)
Licopeno y β-caroteno	Efectos genómicos sobre la transcripción y traducción	Marzocco et al. (2021)
β-criptoxantina	Homeostasis de los huesos	Yamaguchi (2012)

Fuente: Elaboración propia



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Por su parte, la ingesta dietética de los compuestos fenólicos se ha relacionado con impactos favorables, particularmente debido a sus propiedades antioxidantes, que minimizan el riesgo de enfermedades cardiovasculares, y por poseer propiedades antienvejecimiento y anticancerígenas, al funcionar como eliminadores de radicales libres (Wang et al., 2020). Además, estos compuestos contribuyen al mantenimiento de niveles normales de glucosa y colesterol en sangre, así como al funcionamiento normal del sistema nervioso. Los compuestos fenólicos también muestran un potencial efecto benéfico contra la diabetes y la enfermedad de Alzheimer (Gonçalves & Romano, 2017), y exhiben propiedades antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus* (Miklasińska-Majdanik et al., 2018). Las antocianinas, por su parte, poseen efectos favorables para la prevención de la obesidad y la diabetes, la prevención de enfermedades cardiovasculares (Krga & Milenkovic, 2019) y la mejora de las funciones visuales y cerebrales (Tsuda, 2012). Sin embargo, hasta ahora, estos efectos se han articulado con sus propiedades antioxidantes, de manera que las investigaciones se han dirigido a dilucidar los mecanismos moleculares que subyacen a estas actividades biológicas (Li et al., 2017).

Igualmente, muchas de las propiedades atribuidas a la zanahoria están relacionadas con la vitamina A, debido a su alta concentración de carotenoides provitamina A. Esta vitamina se obtiene nutricionalmente en forma de vitamina A preformada o como carotenoides provitamina A (PAC), término que se utiliza para referirse a los retinoides que tienen actividad biológica similar al retinol. La vitamina A preformada se encuentra en alimentos derivados de animales, en su mayoría en forma de ésteres de retinilo, que también es la forma común en los suplementos. El acetato de retinilo es el éster de retinilo típicamente presente en los suplementos y otros productos destinados al consumo humano. No obstante, en humanos, los principales ésteres de retinilo encontrados son aquellos formados con ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico y ácido linoleico, ya que se cree que los animales esterifican el retinol solo con grupos acilo de cadena larga (O'Byrne & Blaner, 2013).

La conversión de PAC a retinal en humanos es llevada a cabo por una enzima llamada β-caroteno 15,15'-oxigenasa (BCO1). Esta enzima puede romper el β-caroteno en su doble enlace central para producir dos moléculas de all-trans-retinal. Se ha demostrado que la BCO1 está ampliamente presente en diversos tejidos. El retinal puede ser oxidado de manera irreversible a ácido retinoico por la enzima retinal deshidrogenasa, o puede ser reducido de manera reversible a retinol por una retinal reductasa (figura 14.12) (Bohn et al., 2019).

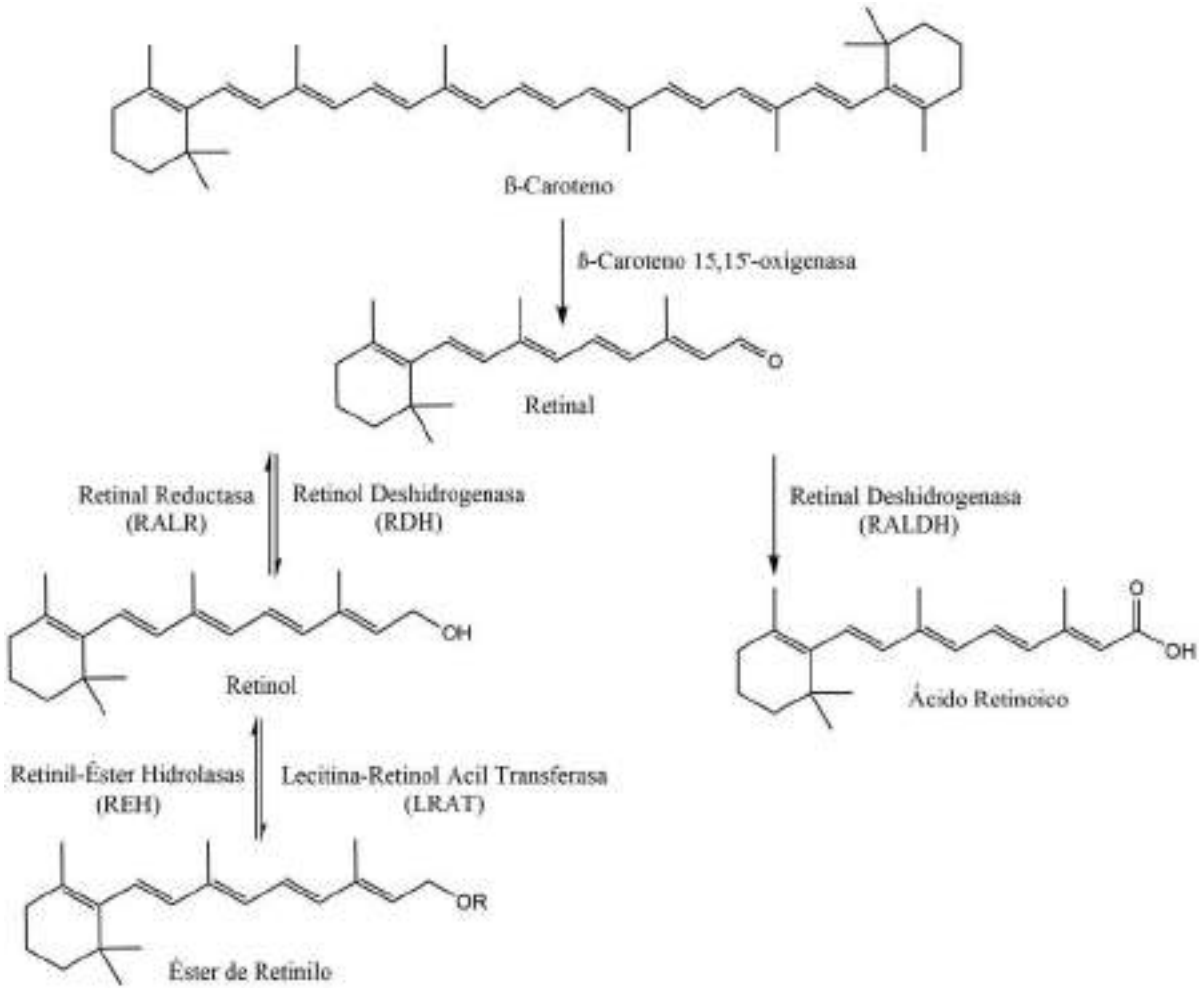
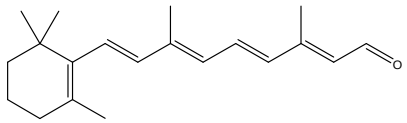
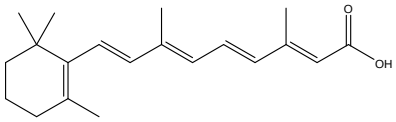
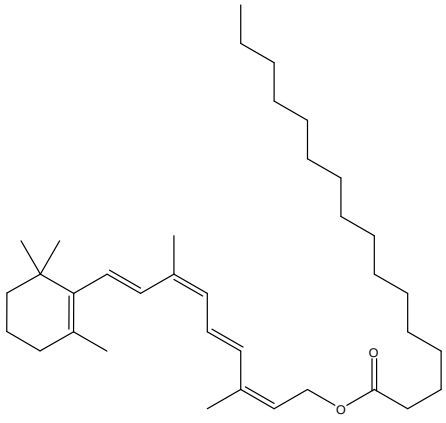


Figura 14.12. Metabolismo de β-caroteno y retinoides.

Fuente: Elaboración propia con base en Bohn et al. (2019)

Tanto la vitamina A (retinol) como sus derivados (denominados en conjunto como retinoides) tienen una amplia gama de funciones biológicas que abarcan desde la creación de patrones durante el desarrollo embrionario, hasta la visión, la regulación energética, el metabolismo, el sistema inmunológico y la respuesta inflamatoria (Uray et al., 2016). Estas propiedades hacen que los retinoides sean empleados para tratar diversas enfermedades. Así, han demostrado su efectividad en el tratamiento de trastornos de la piel (tabla 14.5), como las afecciones inflamatorias cutáneas, y efectos benéficos en ciertos tipos de cáncer (Bushue & Wan, 2010), en problemas de renovación celular excesiva, en el daño causado por la exposición solar de la piel y en el fotoenvejecimiento (Mukherjee et al., 2006). Entre las afecciones dermatológicas comunes que se tratan con retinoides se encuentran también el acné y la psoriasis (Zasada & Budzisz, 2019).

Tabla 14.5. Vitamina A y sus funciones en la piel

Estructura	Mecanismo	Aplicación
Vitamina A	Inhibe la expresión de colagenasa y MMP; estimula la síntesis de colágeno tipo 1 y GAG.	Tratamientos antiarrugas, mejora de la textura, despigmentación, sequedad y líneas de expresión.
 Retinal	Primero se oxida a ácido retinoico mediante retinaldehído deshidrogenasas (p. ej., RALDH2) o algunas enzimas de la familia CYP, y luego estimula la proliferación de células epidérmicas.	Acné, psoriasis, inflamación crónica de los folículos pilosos y las glándulas sebáceas.
 Ácido retinoico	Estimula el proceso de proliferación de las células epidérmicas, acelera la eliminación del sebo que queda en los conductos, reduciendo así la inflamación de las glándulas sebáceas; afloja las conexiones entre las células del estrato córneo e inhibe la queratosis.	Propiedades estabilizadoras, arrugas, textura.
 Palmitato de retinilo	Primero se convierte en retinol, mediante la escisión del enlace éster, y luego en ácido retinoico. Estimula la proliferación de células epidérmicas y regula la producción de sebo.	Antioxidante, arrugas, propiedades estabilizadoras.

Fuente: Elaboración propia con base en Bushue y Wan (2010), Uray et al. (2016) y Zasada y Budzisz (2019)

La vitamina A en su forma de aldehído, el retinal, tiene un papel fundamental en el proceso de visión, específicamente en la transformación de la luz en señales (Choi et al., 2021). Mediante la isomerización del retinal en la retina, se da la conversión de luz en señales eléctricas para que el cerebro pueda interpretarlas como imágenes visuales. El proceso comienza cuando la luz incide en la retina, donde los bastones absorben fotones que activan la rodopsina, una proteína transmembranal compuesta por una parte proteica (opsina) y una no proteica (retinal). En esta proteína se lleva a cabo la isomerización del 11-*cis*-retinal al all-*trans*-retinal (figura 14.13). Esto desencadena una cascada de eventos bioquímicos que cierran los canales de sodio en las células de los bastones, hiperpolarizando la célula y generando una señal eléctrica que se transmite a través de las células de la retina, pasando por los nervios hasta llegar al cerebro, donde se interpreta como una imagen visual. El retinal isomerizado se recircula y, mediante distintos procesos enzimáticos, regresa a su forma 11-*cis*-retinal y es introducido a un nuevo ciclo de captación de luz (Von Lintig, 2012).

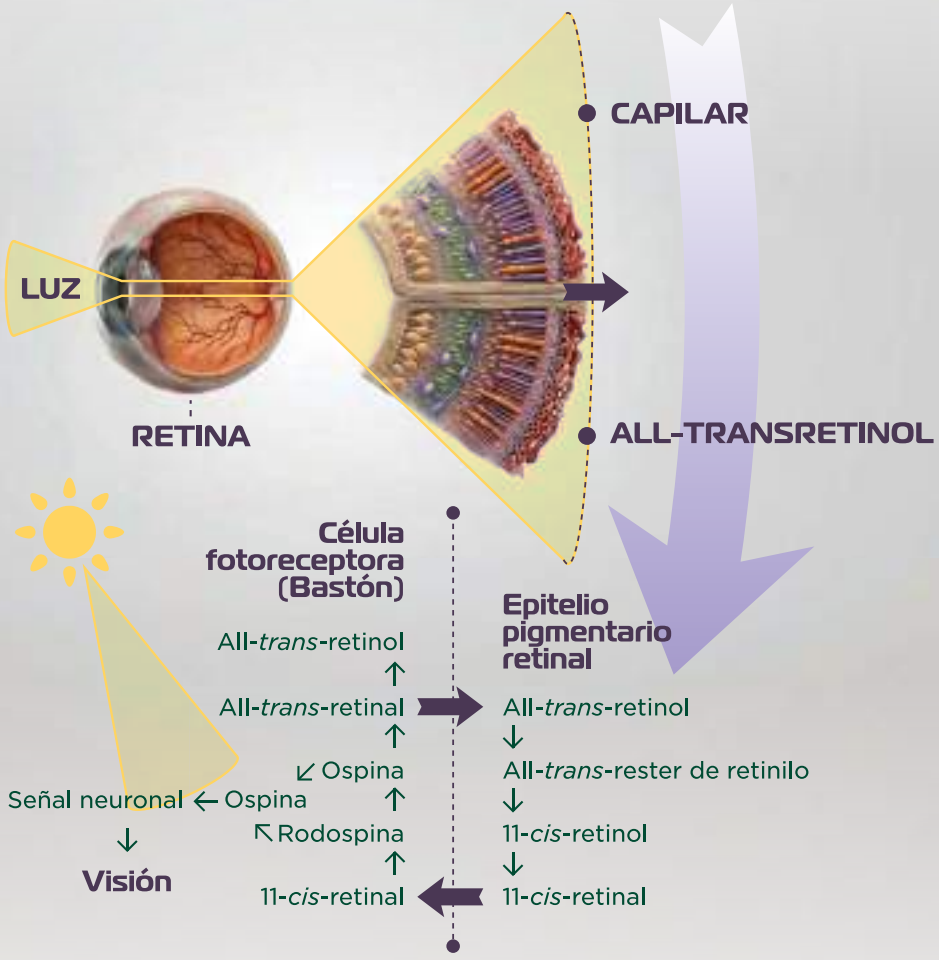


Figura 14.13. Mecanismo de acción del retinal en la captación de luz.

Fuente: Elaboración propia con base en Choi et al. (2021) y Von Lintig (2012)

Alternativas para la generación y estabilización de apocarotenoides

Los extractos y aceites de la zanahoria son productos naturales obtenidos como ingredientes sin transformación química. No obstante, se ha documentado el desarrollo de productos mediante diversos tratamientos para la obtención de compuestos de interés cosmético. Un ejemplo son los apocarotenoides, productos de oxidación de los carotenoides que se originan a partir de la ruptura oxidativa de los dobles enlaces presentes en las cadenas poliénicas, mediante procesos metabólicos que dan lugar a productos con una amplia diversidad estructural y funcional (Wang et al., 2021). Dentro de sus funciones se destacan como precursores de fitohormonas, feromonas fúngicas y vitamina A, moléculas señalizadoras implicadas en respuestas al estrés y regulación del crecimiento en las plantas (Moreno et al., 2021). Los organismos pueden producir apocarotenoides y otros derivados resultantes de la oxidación de los carotenoides, ya sea a través de procesos enzimáticos o no enzimáticos. En mamíferos, existen enzimas responsables de catalizar la ruptura excéntrica de los carotenoides provitamina A y no provitamina A. Esta escisión da como resultado la formación de apocarotenoides volátiles y no volátiles. Hasta ahora, la síntesis química ha sido la principal forma de producir estos terpenoides a nivel industrial. Sin embargo, la creciente demanda de procesos más naturales y sostenibles está abriendo interesantes oportunidades para alternativas de producción biológica (Cataldo et al., 2016).

Los carotenoides pueden ser convertidos a apocarotenoides, dependiendo de las enzimas específicas que posean los organismos. Por lo tanto, existe una gran diversidad química de estos compuestos, pues para cada tipo de carotenoide hay una enzima diferente para un doble enlace específico, con diferentes productos de oxidación para un solo carotenoide. Las enzimas responsables de estos procesos son conocidas como oxigenasas de ruptura de carotenoides (CCO). En el caso del β-caroteno, las dos enzimas principales son la β-caroteno 15,15'-oxigenasa (BCO1) y la β-caroteno 9,10'-oxigenasa (BCO2) (figura 14.14). La primera está presente principalmente en humanos y algunos animales como pollos y conejillos de indias, moscas de la fruta, peces cebra, algunas bacterias y el hongo *Fusarium fujikuroi* (Liang et al., 2021). Las plantas no pueden sintetizar retinoides al no poseer esta enzima (Kim & Oh, 2010); sin embargo, sí tienen la segunda enzima, a partir de la cual generan como productos β-ionona y β-Apo-10'-carotenal, entre otros (Bandara et al., 2021).

La forma como los organismos obtienen vitamina A es mediante la escisión enzimática a partir de carotenoides provitamina A, o ya sea como vitamina A preformada como los retinoides. No obstante, industrialmente, la vitamina A se obtiene por síntesis química a partir de derivados del petróleo, por lo que las investigaciones se han centrado en la búsqueda de alternativas sostenibles, utilizando biorreactores basados en el mejoramiento de biocatalizadores mediante ingeniería enzimática (Shin et al., 2022). Entre los organismos utilizados para producir retinoides están *Escherichia coli* (Jang et al., 2011, 2015), microorganismos marinos (Kim & Oh, 2010; Long et al., 2021) y *Saccharomyces cerevisiae* (Hu et al., 2022; Lee et al., 2022; Sun et al., 2009).

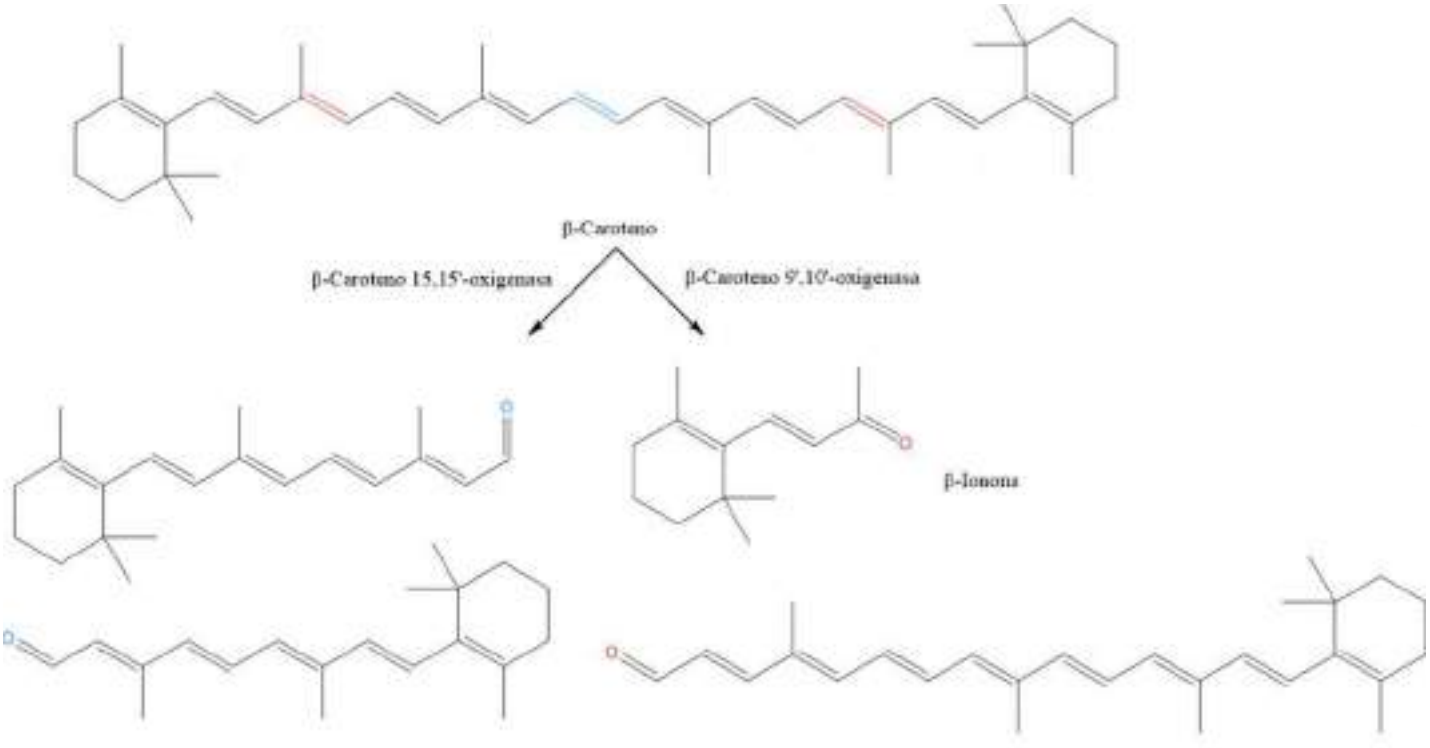


Figura 14.14. Rompimiento enzimático de β-caroteno por CCO.

Fuente: Elaboración propia con base en Bandara et al. (2021)

Si bien los apocarotenoides son productos de la ruptura oxidativa mediante procesos enzimáticos, también pueden obtenerse por tratamientos fisicoquímicos de oxidación. En la degradación térmica de la zanahoria y sus extractos, se ha reportado la aparición de olores frutales y florados (Lyu et al., 2023; Syukri et al., 2021). Por consiguiente, los compuestos responsables de estos aromas son principalmente apocarotenoides volátiles de cadena corta, siendo la β-ionona el más representativo por su valor en la industria de saborizantes y fragancias (Simkin, 2021), que también es importante como intermediario en la síntesis química de β-caroteno y vitamina A. Tanto los procesos enzimáticos como los fisicoquímicos para la transformación de productos de zanahoria en compuestos de mayor valor agregado se deben seguir investigando para lograr optimizarlos y escalarlos industrialmente en un futuro.

La incorporación de materias primas y productos procesados de zanahoria requiere de una matriz adecuada para garantizar la estabilidad y absorción de los compuestos bioactivos,

como los carotenoides y compuestos fenólicos, o incluso los apocarotenoides y retinoides producidos a partir de zanahoria. Por ejemplo, algunos retinoides suelen tener problemas de estabilidad y efectos secundarios, como irritación en la piel (Castro et al., 2009). Por tal motivo, se han desarrollado nanotransportadores adecuados para la liberación controlada de compuestos lipofílicos, como carotenoides y retinoides, con el fin de mejorar su eficacia y reducir o incluso eliminar sus efectos secundarios y su inestabilidad fisicoquímica. La encapsulación de carotenoides y retinoides en nanotransportadores lipídicos, como liposomas, nanoemulsiones, etosomas, proniosomas y sistemas de nanopartículas como nanopartículas lipídicas sólidas (SLN) y transportadores lipídicos nanoestructurados (NLC), ha sido el objetivo de varios estudios en las últimas décadas (Pinto et al., 2019; Silva et al., 2015; Xu et al., 2022). De igual manera, también se ha investigado la encapsulación y compatibilidad de extractos vegetales de zanahoria en liposomas, exosomas y quitosomas, mediante el uso de vehículos como la lecitina o el quitosano. Los resultados de estas investigaciones indican una mejora en la estabilidad fisicoquímica de metabolitos como carotenoides y antocianinas, así como en la conservación de las propiedades antioxidantes durante el tiempo, lo que evidencia su potencial como ingredientes cosméticos funcionales (Esposto et al., 2022; Guldiken et al., 2018; Kimiz-Gebologlu & Oncel, 2022; Lacatusu et al., 2020; Mondal et al., 2023).

Aplicaciones comerciales y cosméticas

La zanahoria ha sido principalmente utilizada en la industria de alimentos en una gran variedad de preparaciones y productos que van desde rebanadas enlatadas, jugos, concentrados, encurtidos, conservas, hasta panes, pasteles, dulces y halwa (dulce asiático a base de pasta de sésamo) (Sharma et al., 2012). En los últimos 20 años, se ha estudiado el uso de zanahoria en la fabricación de alimentos funcionales gracias a la presencia de fitoquímicos (carotenoides y compuestos fenólicos) y fibra dietaria con aplicaciones nutracéuticas que puedan incorporarse en formulaciones de salchichas, tortillas, purés, entre otros (Jacobo-Velázquez, 2023). En este sentido, las investigaciones en alimentos se centran en la validación de las propiedades farmacológicas de productos que incorporan zanahorias como ingredientes alimentarios funcionales. La tabla 14.6 muestra algunas aplicaciones de la zanahoria en el campo alimentario, nutracéutico y farmacéutico.

Tabla 14.6. Aplicaciones de la zanahoria en nutracéutica

Material	Compuestos	Actividad biológica	Aplicación en alimentos
Hojas	Proteínas, grasas, fibra dietaria, minerales, carotenoides, fenólicos y flavonoides, PUFA/SFA.	Antioxidante, antibacterial, antiinflamatoria, provitamina A.	Pasta, antioxidante natural, aceites esenciales, nutrición humana y animal.
Cáscara	Flavonoides y fenólicos, proteínas, fibra dietaria, pectina, carotenoides, vitamina C, minerales, grasas.	Antioxidante, citotóxico, provitamina A.	Medicina y nutrición, mermeladas y conservas.
Pulpa	Fibra dietaria, proteínas, antocianinas, ácidos fenólicos, minerales, grasas, carotenoides, flavonoides, polifenoles.	Antioxidante, citotóxico, antimicrobiano, provitamina A.	Tortas y panes, fideos y pastas, embutidos, leches y yogures.
Desechos	Carotenoides, proteínas, grasas, carbohidratos y polisacáridos, productos de fermentación y probióticos.	Antioxidante, anticarcinógeno, hipoglucemiante, provitamina A.	Yogures, panes, alimentación, nutra**éu**tico y farmacéutica.

Fuente: Elaboración propia con base en Zhou et al. (2023)

Materias primas derivadas de las semillas de zanahoria se han investigado también como ingredientes promisorios para la industria cosmética. Las propiedades reportadas corresponden a las antioxidantes, fotoprotectoras y todas aquellas relacionadas con una buena salud y cuidado de la piel. De hecho, el aceite esencial de la semilla ha sido de gran interés para la industria farmacéutica, cosmética y nutracéutica, principalmente como fragancia para cosméticos y perfumes, así como un saborizante alimentario. Este aceite es una fuente importante de carotol, un alcohol sesquiterpénico que es el constituyente principal, además posee α-pineno, sabineno, mirceno, limoneno, acetato de geranilo, bisaboleno, óxido de cariofileno y daucol como componentes importantes. A su vez, el aceite esencial se ha reportado por sus actividades analgésicas y antiinflamatorias a nivel del tratamiento de afecciones articulares, y por sus efectos antimicrobianos y antioxidantes (Sieniawska et al., 2016).

Por otro lado, el aceite fijo derivado de las semillas de zanahoria, obtenido mediante la extracción con solventes, es un ingrediente asociado con formulaciones cosméticas para la piel y cabello, debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hidratantes, antienvejecimiento y fotoprotectoras (Aksu et al., 2020; Musnaini et al., 2022; Singh et al., 2019). Si bien ambos aceites se utilizan en diversas aplicaciones, la disponibilidad de las semillas no es tan alta y se limita a pocos países, concentrándose en aquellos con gran producción como China, Rusia, Estados Unidos, India y Francia. En el resto del mundo, la materia prima con mayor disponibilidad y utilizada industrialmente sigue siendo la raíz (Kataria et al., 2016), a partir de la cual se obtienen extractos mediante diferentes tecnologías y solventes, dependiendo de los metabolitos y aplicaciones de interés.

La zanahoria seca en polvo, además de ser utilizada como aditivo en suplementos dietarios, se usa como colorante natural (Castro et al., 2019). Así, las zanahorias moradas han sido propuestas como pigmentos alimentarios y para textiles por su contenido de antocianinas, brindando color a diversos productos (Batool et al., 2019; Iorizzo et al., 2020). En cosméticos, se han empleado como colorantes en formulaciones de labiales (Rasheed et al., 2020; Westfall, 2015).

En el campo de la biotecnología, se han usado cultivos de células o tejidos vegetales de zanahoria para promover la producción de algunos metabolitos de interés (Bapat et al., 2023; Georgiev et al., 2018; Trehan et al., 2017). De esta forma, se ha investigado la biosíntesis de carotenoides y antocianinas en biorreactores de células vegetales para aplicaciones cosméticas y alimentarias, donde se ha avanzado en el aumento de los rendimientos, pero aún deben superarse las barreras de producción que conduzcan a la viabilidad comercial (Almagro et al., 2022; Bianconi et al., 2020; Deroles, 2008; Hanchinal et al., 2008). También se han aplicado procesos de fermentación para enriquecer algunos compuestos como los carotenoides o producir otros, donde se utiliza la zanahoria como biomasa, mediante el empleo de diferentes microorganismos (Müjdeci, 2022; Ramos-Andrés et al., 2021).

En su aplicación industrial, con frecuencia se realizan procesos de extracción para la obtención de los metabolitos, y por lo general son los carotenoides los compuestos de mayor interés. Debido a su naturaleza apolar, es necesario el uso de solventes orgánicos poco polares que garanticen una buena solubilidad de estos compuestos. Usualmente, solventes como el hexano, el éter de petróleo o el tetrahidrofurano (THF) son altamente recomendables para extraer carotenos no polares o xantófilas esterificadas. Por otro lado, los solventes polares como la acetona, el etanol y el acetato de etilo son los más adecuados para la extracción de carotenoides polares (Hempel et al., 2016). Sin embargo, los carotenoides tienden a agregarse en ambientes hidrofílicos.

Se debe tener en cuenta que la mayoría de los solventes utilizados en la extracción, como el etanol, el hexano y la acetona, presentan riesgos ambientales (afectan el aire, el agua y la persistencia en el medio ambiente), riesgos para la salud (toxicidad crónica y aguda, así como irritación) y riesgos de seguridad (descomposición y explosión). Por eso, el etanol es el solvente preferido en comparación con los demás solventes petroquímicos y solventes halogena-

dos como el diclorometano y el cloroformo, en especial cuando los extractos son destinados para aplicaciones en alimentos, cosméticos y farmacéuticos. También se ha optado por procesos de "extracciones verdes" (Yara-Varón et al., 2017), utilizando productos de fuentes naturales y renovables, como es el caso de algunos aceites vegetales y tecnologías alternativas de extracción como el ultrasonido (Das et al., 2022; Kultys & Kurek, 2022).

La extracción de carotenoides mediante el uso de aceites vegetales presenta ventajas útiles en aplicaciones industriales en comparación con los métodos tradicionales basados en solventes. Esto se debe a que la fracción de aceite vegetal que contiene una alta concentración de carotenoides puede ser utilizada directamente en formulaciones alimentarias y cosméticas. No obstante, los rendimientos al utilizar aceites vegetales son mucho menores que con solventes tradicionales; además, pueden presentar problemas técnicos debido a la alta viscosidad (Purohit & Gogate, 2015). Dentro de las aplicaciones cosméticas, en la tabla 14.7 se recogen algunas investigaciones llevadas a cabo recientemente:

Tabla 14.7. Investigaciones sobre la zanahoria en cosmética

Aplicación	Resultado	Referencia
Jabón antibacterial de semilla de zanahoria.	El jabón que contenía extracto de zanahoria disminuyó significativamente los niveles bacterianos en comparación con los jabones de flor de *Punica granatum* (PGF) y lavanda (LV, *Lavandula officinalis* L.)	Nadaroglu & Baran (2020)
Emulsión cosmética de aceite de semilla de zanahoria.	El estudio evaluó emulsiones cosméticas con diferentes concentraciones de aceite de semilla de zanahoria. Se encontró que las emulsiones eran estables, con potenciales zeta entre -43,2 y -48,3 y un índice de polidispersidad de 0,353 a 0,816. Los resultados mostraron que algunas formulaciones presentaron potente actividad antioxidante con un alto factor de protección solar. Los hallazgos histopatológicos y bioquímicos respaldan el potencial de estas emulsiones como preparaciones rejuvenecedoras para la piel.	Singh et al. (2019)

Continúa en la siguiente página

Labial de semillas de rambután con cúrcuma, paprika y zanahoria.	Los resultados revelaron que la formulación preparada era lo suficientemente buena y cumplía las características generales de los lápices labiales ideales. La grasa de la semilla de rambután aporta suficiente dureza y brillo a las preparaciones.	Dash et al. (2018)
Protector solar a base de amalika, zanahoria, papaya, granada y aloe.	Los resultados mostraron que el valor de SPF para los extractos herbales varió, siendo el más alto para la papaya (2.794), seguido de la zanahoria (2.527), y el más bajo para el *Aloe vera* (0.349). Los geles formulados mostraron valores de SPF entre 3.537 y 5.293. Después de estudios de estabilidad acelerada, se concluyó que el protector solar formulado mantuvo su eficacia.	Roy et al. (2022)
Crema antienvejecimiento poliherbal	Al combinar extractos de *Curcuma longa*, *Solanum lycopersicum*, *Carica papaya* y aceite de semilla de zanahoria en diversas proporciones, se puede lograr un impacto multipropósito que incluye efectos iluminadores, antiarrugas, antienvejecimiento y de protección solar en la piel. Aunque la productividad de los extractos de una sola planta es baja, su combinación mejora la eficiencia del producto. En este estudio, se crearon mezclas de extractos para potenciar y sinergizar sus propiedades cosméticas en comparación con los extractos individuales. Además, el aceite de semilla de zanahoria resultó útil en la reducción de arrugas y mostró propiedades antienvejecimiento.	Giradkar (2021)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mencionan algunos ingredientes comerciales elaborados a base de diversas materias primas (figura 14.15) obtenidas a partir de zanahoria (prospector) (tabla 14.8). Estos ingredientes son ampliamente utilizados debido a sus aplicaciones cosméticas, las cuales se resumen en la figura 14.16.

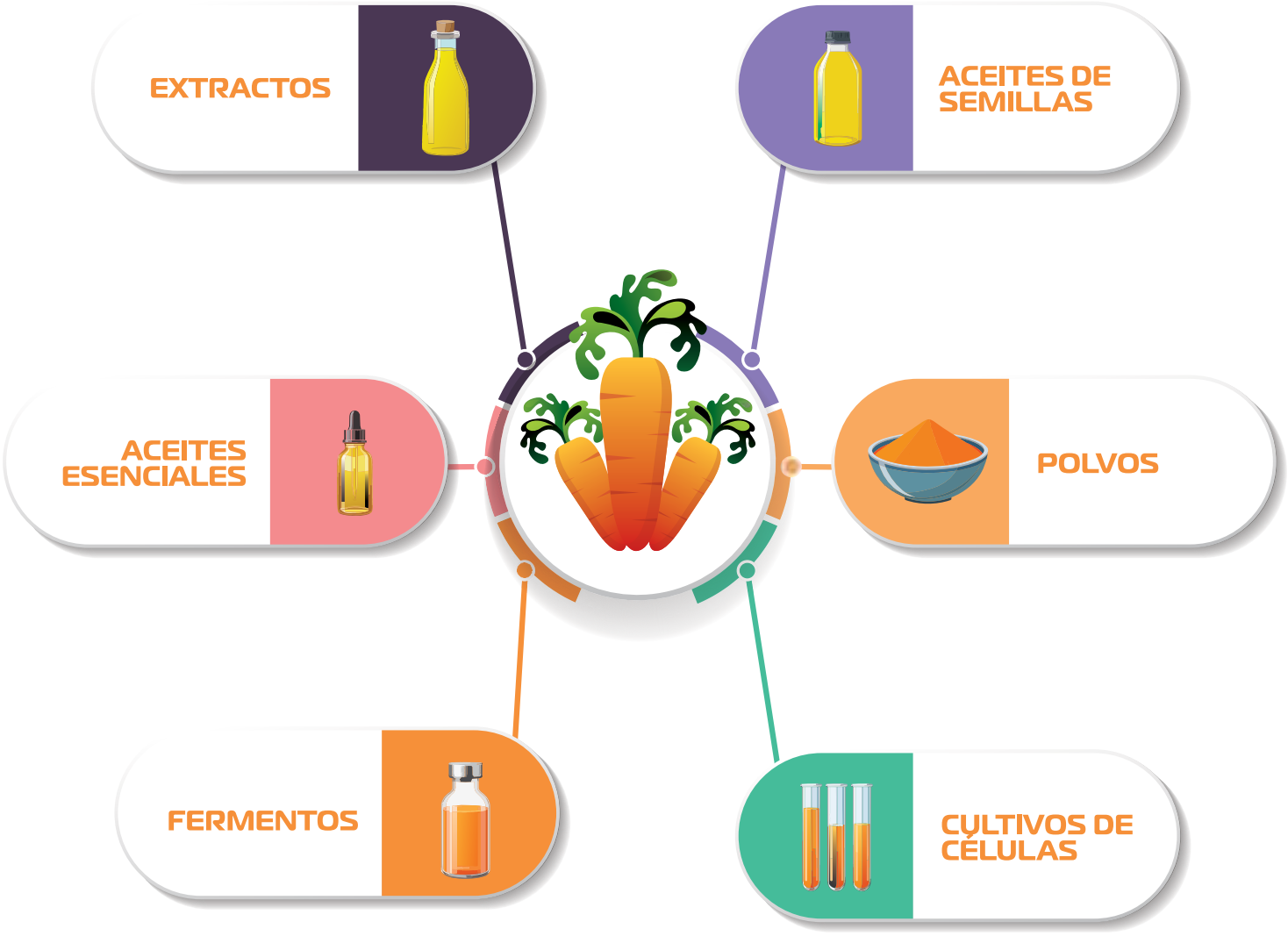


Figura 14.15. Materias primas de zanahoria para uso en cosmética.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.8. Productos cosméticos comerciales a base de zanahoria

Producto	Empresa	Componentes	Uso indicado por el fabricante
Carrot Oil	Provital	Aceite de girasol, aceite de semilla de zanahoria, extracto de zanahoria, palmitato ascorbilo y β-caroteno.	Protector cutáneo. antirradicalario. Mejora el bronceado. Protección de la piel y el cabello frente a procesos oxidativos. Antienvejecimiento. Mejora las arrugas y la rugosidad de la piel madura. Reparador cutáneo y capilar. Repara la función barrera. Emoliente. Suavizante.
Carrot Seed Oil	Botanic Innovations	Aceite de semilla de zanahoria.	Contiene carotenoides y diversas propiedades antioxidantes. Posee esteroles vegetales y ácidos grasos, como el omega-9 que tiene propiedades emolientes. El aceite de semilla de zanahoria se recomienda como ingrediente en cuidado de la piel, para nutrir, tensar, revitalizar y refrescar su apariencia.
Carrot Oil - BCE1072	Biocosmethic	Aceite de girasol y extracto de zanahoria.	Este producto se puede utilizar en aplicaciones cosméticas como preparaciones para el cuerpo y las manos, la cara y el cuello, y otras preparaciones para el cuidado de la piel.
Carrot Water Herbasome®	Lipoid Kosmetik AG	Glicerina, agua de zanahoria, lecitina y tocoferol.	Es una materia prima aprobada por Ecocert y Cosmos. Proporciona a la piel una cantidad máxima de humedad. Herbasome es un producto 100 % natural. Es ideal para su uso en cosmética natural, formulaciones hidratantes, productos de belleza revitalizantes y refrescantes, tónicos y sueros faciales.
Carrot Oil CLR	CLR Chemisches Laboratorium Dr. Kurt Richter GmbH	Aceite de glicina de soya, extracto de zanahoria, β-caroteno y tocoferol.	Contiene carotenoides y otros ingredientes solubles en lipoides de la zanahoria. Se utiliza para la aplicación en piel y el cuero cabelludo seco, agrietado y descamado, y para el cuidado preventivo del cabello.
Fresh Cells™ Carrot PFE	Gattefossé	Agua y extracto de zanahoria.	Suspensión celular acuosa de raíz de zanahoria. Las células de zanahoria son ricas en sales minerales como el potasio y magnesio, e imparten buena actividad antioxidante, debido al contenido de caroteno. Este producto es adecuado para geles, emulsiones, lociones o en el cuidado del sol, de protección o de tratamientos de suavidad.
Phytelene EG 428 Carrot	Greentech	Propilenglicol, agua y extracto de zanahoria.	Uso en leches, lociones, cremas, sueros, geles, champús, acondicionadores, jabones y productos para el baño.

Continúa en la siguiente página

Kopcarotol (Natural Carrot Ferment)	Kumar Organic Products Limited	Filtrado de fermento de zanahoria con bacilos.	Potente antioxidante natural elaborado a partir de la fermentación (biofermento) de zanahorias. Es rico en vitaminas A, B, C y K, minerales y fitonutrientes, y ha demostrado ser incluso más eficaz que los extractos típicos de zanahoria. Es suave, seguro e inofensivo para la piel. Aporta luminosidad, dada su actividad antitirrosinasa, y revitaliza y tonifica, previniendo las arrugas. También puede mejorar las formulaciones para el cuidado del cabello.
LIP-18: Carrot Oil Nanome	NanoVec	Agua, fosfolípidos, aceite de semilla de zanahoria y acetato de tocoferilo.	Compuesto de fosfolípidos purificados no transgénicos. Estos sistemas de administración naturales encapsulan y transportan el aceite de zanahoria a las células objetivo. Efectos antioxidantes antienvejecimiento y calmantes para la piel. El aceite de zanahoria infunde humedad y ayuda a suavizar los tejidos de la piel.
Carrot Callus Stem Cell Extract	Sandream Specialties	Extracto de tejido de células de zanahoria, lecitina, hialuronato de sodio, fenoxietanil y agua.	El extracto de células madre de callos de zanahoria es una solución cremosa de color amarillo claro. El callo de células es una masa de células no diferenciadas y puede rediferenciarse en los tejidos especializados de una planta entera al agregar reguladores de crecimiento adecuados. Se recomienda el uso de células madre de callos de zanahorias en aplicaciones humectantes.
Ancynor CTS	Orginor Chemical S.A.C.	Extracto acuoso de zanahorias negras.	Agua extraída de la zanahoria negra para ayudar a mantener el color en aplicaciones de alimentos y cuidado personal. Es un polvo fino de color rojo oscuro soluble tanto en agua como en alcohol.
Anti-Age Sun Oil with Dedraflow® (SPF 30)	The Innovation Company®	Extracto de aceite de zanahoria.	Aceite solar suave para tomar el sol de forma segura y obtener buenos resultados de bronceado. El aceite se combina con materiales fotoestables, que garantizan su seguridad y estabilidad, además de aportar emoliencia y suavidad a la piel. Dedraflow® 5 es un emoliente hipoalergénico y completamente fotoestable, que puede utilizarse como sustituto de la ciclometicona.
Bicohair® UP	Bicosome SL	Agua, fosfatidilcolina, cloruro de pantenil hidroxipropil esteardiamonio, extracto de zanahoria y β-caroteno.	Bicohair® Anti-Urban Pollution es un sistema de transporte capilar que se adhiere a la cutícula del cabello actuando como un escudo protector que repele las partículas contaminantes. Protege las proteínas del cabello de la degradación y disminuye la pérdida de color causada por la exposición a los rayos UV y los lavados diarios. Está indicado en champús, acondicionadores, mascarillas capilares y fórmulas sin aclarado ni sulfatos. Se adhiere a la cutícula del cabello mediante interacciones electrostáticas. Las estructuras de vesículas cubren el tallo del cabello y repelen las partículas contaminantes, mientras que las estructuras de discos penetran a través de los espacios intercuticulares, transportando moléculas de caroteno a la corteza, lo que previene la oxidación de los pigmentos y la pérdida de color causada por la exposición a los rayos UV y los lavados diarios.

Fuente: Elaboración propia con base en Ulprospector (2023)



Figura 14.16. Usos de la zanahoria en cosmética.

Fuente: Elaboración propia con base en Ulprospector (2023)

Para no olvidar...



» La zanahoria es mucho más que alimento: es un laboratorio de compuestos bioactivos, pues contiene carotenoides, flavonoides, antocianinas, terpenos y poliacetilenos, con propiedades antioxidantes, regenerativas, fotoprotectoras y antiinflamatorias.

» Los llamados residuos pueden ser el ingrediente activo del mañana. Las cáscaras, hojas, raíces irregulares y tallos de zanahoria conservan compuestos funcionales valiosos que pueden usarse en cosmética y nutracéutica.

» La industria cosmética explora ingredientes naturales y sostenibles, por lo que los residuos de zanahoria pueden transformarse en cremas, filtros solares, labiales y tratamientos antienvejecimiento.

» Las zanahorias moradas y oscuras son más ricas en antioxidantes y tienen mayores niveles de antocianinas y flavonoides que las naranjas o amarillas.

» La zanahoria ya está en productos comerciales. En la actualidad existen aceites, extractos, fermentos, aguas celulares y nanopartículas de zanahoria en productos cosméticos certificados y en mercados globales.

Conclusiones y perspectivas de los autores

- Las aplicaciones de la zanahoria, más allá de su uso en alimentos, han venido en aumento a la par que el desarrollo de tecnologías alternativas y las tendencias actuales del consumo de productos más naturales, así como de procesos sostenibles. A partir de estas necesidades, han surgido nuevas estrategias de aprovechamiento de las diferentes partes de la zanahoria, sus variedades y desechos como una fuente prometedora de una amplia variedad de compuestos bioactivos de alto interés industrial.

- Las investigaciones, proyectos y productos comerciales generados dan cuenta del éxito de la zanahoria como materia prima de gran proyección, debido a la versatilidad de sus aplicaciones, que abarcan un campo cada vez más amplio. En este sentido, la dirección en la que se encamina la zanahoria debe estar enfocada al desarrollo, optimización y sostenibilidad de los procesos productivos, así como a la generación de productos con alta especificidad con un enfoque diferencial respecto a los existentes.

- La investigación ha sido base fundamental para la generación de valor agregado y es la herramienta que permitirá identificar nuevas oportunidades para la zanahoria, entre ellas la cosmética.

- Los residuos de zanahoria representan una valiosa fuente de fitoquímicos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y fotoprotectoras. A medida que la industria cosmética busca alternativas sostenibles y eficientes, el aprovechamiento de estos subproductos puede contribuir significativamente a la creación de productos innovadores y ecológicos.

- La valorización de los residuos de zanahoria no solo reduce el impacto ambiental asociado a su desperdicio, sino que también ofrece una oportunidad económica para las agroindustrias, particularmente en países como Colombia, donde la producción de zanahoria es significativa. Así, los avances en la extracción y formulación de ingredientes a partir de estos residuos podrían posicionar a la zanahoria como un recurso clave para la cosmética natural y de bajo impacto ambiental.

Referencias

Adadi, P., Barakova, N. V., & Krivoshapkina, E. F. (2018). Selected methods of extracting carotenoids, characterization, and health concerns: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(24), 5925–5947. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01407

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2021). *Fortalecimiento de la cadena productiva de la zanahoria mediante la creación de prototipos de productos innovadores en el oriente del departamento de Antioquia*.

Ahmad, T., Cawood, M., Iqbal, Q., Ariño, A., Batool, A., Sabir Tariq, R. M., Azam, M., & Akhtar, S. (2019). Phytochemicals in *Daucus carota* and their health benefits—review article. *Foods*, *8*(9), 424. https://doi.org/10.3390/foods8090424

Aksu, M., Incegul, Y., Kiralan, S. S., Kiralan, M., & Ozkan, G. (2020). Cold pressed carrot (Daucus carota subsp. sativus) seed oil. En M. F. Ramadan (Ed.), *Cold Pressed Oils* (pp. 335-343). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00030-X

Alasalvar, C., Grigor, J. M., Zhang, D., Quantick, P. C., & Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(3), 1410-1416. https://doi.org/10.1021/jf000595h

Alfurayhi, R., Huang, L., & Brandt, K. (2023). Pathways affected by falcarinol-type polyacetylenes and implications for their anti-inflammatory function and potential in cancer chemoprevention. *Foods*, *12*(6), 1192. https://doi.org/10.3390/foods12061192

Algarra, M., Fernandes, A., Mateus, N., de Freitas, V., Esteves da Silva, J. C. G., & Casado, J. (2014). Anthocyanin profile and antioxidant capacity of black carrots (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) from Cuevas Bajas, Spain. *Journal of Food Composition and Analysis*, *33*(1), 71-76. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.005

Almagro, L., Correa-Sabater, J. M., Sabater-Jara, A. B., & Pedreño, M. Á. (2022). Biotechnological production of β-carotene using plant in vitro cultures. *Planta*, *256*(2), 41. https://doi.org/10.1007/s00425-022-03953-9

Arscott, S. A., & Tanumihardjo, S. A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *9*(2), 223-239. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00103.x

Ashokkumar, V., Flora, G., Sevanan, M., Sripriya, R., Chen, W. H., Park, J.-H., Rajesh banu, J., & Kumar, G. (2023). Technological advances in the production of carotenoids and their applications – A critical review. *Bioresource Technology*, *367*, 128215. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128215

Bandara, S., Thomas, L. D., Ramkumar, S., Khadka, N., Kiser, P. D., Golczak, M., & von Lintig, J. (2021). The structural and biochemical basis of apocarotenoid processing by β-carotene oxygenase-2. *ACS Chemical Biology*, *16*(3), 480-490. https://doi.org/10.1021/acschembio.0c00832

Bapat, V. A., Kavi Kishor, P. B., Jalaja, N., Jain, S. M., & Penna, S. (2023). Plant cell cultures: biofactories for the production of bioactive compounds. *Agronomy*, *13*(3), 858. https://doi.org/10.3390/agronomy13030858

Base de Datos Estadísticos Corporativos de la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura [FAOSTAT]. (2023). *Food loss and waste database*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Batool, F., Iqbal, N., Azeem, M., Adeel, S., & Ali, M. (2019). Sustainable dyeing of cotton fabric using black carrot (*Daucus carota* L.) plant residue as a source of natural colorant. *Polish Journal of Environmental Studies*, *28*(5), 3081-3087. https://doi.org/10.15244/pjoes/93712

Beltrán-de-Miguel, B., Estévez-Santiago, R., & Olmedilla-Alonso, B. (2015). Assessment of dietary vitamin A intake (retinol, α-carotene, β-carotene, β-cryptoxanthin) and its sources in the National Survey of Dietary Intake in Spain (2009-2010). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *66*(6), 706-712. https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1077787

Ben-Othman, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Bioactives from agri-food wastes: present insights and future challenges. *Molecules*, *25*(3), 510. https://doi.org/10.3390/molecules25030510

Bianconi, M., Ceriotti, L., Cuzzocrea, S., Esposito, E., Pressi, G., Sgaravatti, E., Bertaiola, O., Guarnerio, C., Barbieri, E., Semenzato, A., Negri, S., Commisso, M., Avesani, L., & Guzzo, F. (2020). Red carrot cells cultured *in vitro* are effective, stable, and safe ingredients for skin care, nutraceutical, and food applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.575079

Bigdeloo, M., Teymourian, T., Kowsari, E., Ramakrishna, S., & Ehsani, A. (2021). Sustainability and circular economy of food wastes: waste reduction strategies, higher recycling methods, and improved valorization. *Materials Circular Economy*, *3*, 3. https://doi.org/10.1007/s42824-021-00017-3

Bohn, T., Desmarchelier, C., El, S. N., Keijer, J., Van Schothorst, E., Rühl, R., & Borel, P. (2019). β-Carotene in the human body: metabolic bioactivation pathways - from digestion to tissue distribution and excretion. *Proceedings of the Nutrition Society*, *78*(1), 68-87. https://doi.org/10.1017/S0029665118002641

Bres, P., Beily, M. E., Young, B. J., Gasulla, J., Butti, M., Crespo, D., Candal, R., & Komilis, D. (2018). Performance of semi-continuous anaerobic co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: a bench scale study. *Waste Management*, *82*, 276-284. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.041

Bushue, N., & Wan, Y.-J. Y. (2010). Retinoid pathway and cancer therapeutics. *Advanced Drug Delivery Reviews*, *62*(13), 1285-1298. https://doi.org/10.1016/j.addr.2010.07.003

Busta, L., Yim, W. C., LaBrant, E. W., Wang, P., Grimes, L., Malyszka, K., Cushman, J. C., Santos, P., Kosma, D. K., & Cahoon, E. B. (2018). Identification of Genes Encoding Enzymes Catalyzing the Early Steps of Carrot Polyacetylene Biosynthesis. *Plant Physiology*, *178*(4), 1507-1521. https://doi.org/10.1104/pp.18.01195

Cao, J., Chen, W., Zhang, Y., Zhang, Y., & Zhao, X. (2010). Content of selected flavonoids in 100 edible vegetables and fruits. *Food Science and Technology Research*, *16*(5), 395-402. https://doi.org/10.3136/fstr.16.395

Castro, G. A., Coelho, A. L. L. R., Oliveira, C. A., Bohórquez Mahecha, G. A., Oréfice, R. L., & Ferreira, L. A. M. (2009). Formation of ion pairing as an alternative to improve encapsulation and stability and to reduce skin irritation of retinoic acid loaded in solid lipid nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, *381*(1), 77-83. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.07.025

Castro, M., Tatuszka, P., Cox, D. N., Bowen, J., Sanguansri, L., Augustin, M. A., & Stonehouse, W. (2019). Effects on plasma carotenoids and consumer acceptance of a functional carrot-based product to supplement vegetable intake: a randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods*, *60*, 103421. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103421

Cataldo, V. F., López, J., Cárcamo, M., & Agosin, E. (2016). Chemical vs. biotechnological synthesis of C13-apocarotenoids: current methods, applications and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *100*(13), 5703-5718. https://doi.org/10.1007/s00253-016-7583-8

Cecilia, J. A., García-Sancho, C., Maireles-Torres, P. J., & Luque, R. (2019). Industrial food waste valorization: a general overview. En J. R. Bastidas-Oyanedel, & J. Schmidt J. (Eds.), *Biorefinery* (pp. 253-277). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10961-5_11

Cheng, H. M., Koutsidis, G., Lodge, J. K., Ashor, A. W., Siervo, M., & Lara, J. (2019). Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: a systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(1), 141-158. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1362630

Choi, E. H., Daruwalla, A., Suh, S., Leinonen, H., & Palczewski, K. (2021). Retinoids in the visual cycle: role of the retinal G protein-coupled receptor. *Journal of Lipid Research*, *62*, 100040. https://doi.org/10.1194/jlr.TR120000850

Costa-Rodrigues, J., Pinho, O., & Monteiro, P. R. R. (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food Chemistry*, *245*, 1148-1153. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.055

Das, P., Nayak, P. K., & Kesavan, R. K. (2022). Ultrasound assisted extraction of food colorants: Principle, mechanism, extraction technique and applications: a review on recent progress. *Food Chemistry Advances*, *1*, 100144. https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100144

Dash, G. K., Majeed, S., & Zubir, N. Q. B. M. (2018). Formulation and evaluation of lipsticks containing *Nephelium lappaceum* seed fat and other natural ingredients. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, *11*(10), 474-476. https://doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i10.26634

Dawid, C., Dunemann, F., Schwab, W., Nothnagel, T., & Hofmann, T. (2015). Bioactive C_{17} -polyacetylenes in carrots (*Daucus carota* L.): current knowledge and future perspectives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(42), 9211-9222. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04357

Deroles, S. (2008). Anthocyanin biosynthesis in plant cell cultures: a potential source of natural colourants. En C. Winefield, K. Davies, & K. Gould (Eds.), *Anthocyanins* (pp. 108-167). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77335-3_5

Dong, R., Liu, S., Zheng, Y., Zhang, X., He, Z., Wang, Z., Wang, Y., Xie, J., Chen, Y., & Yu, Q. (2020). Release and metabolism of bound polyphenols from carrot dietary fiber and their potential activity in *in vitro* digestion and colonic fermentation. *Food & Function*, *11*(7), 6652-6665. https://doi.org/10.1039/D0FO00975J

Dong, R., Yu, Q., Liao, W., Liu, S., He, Z., Hu, X., Chen, Y., Xie, J., Nie, S., & Xie, M. (2021). Composition of bound polyphenols from carrot dietary fiber and its *in vivo* and *in vitro* antioxidant activity. *Food Chemistry*, *339*, 127879. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127879

Du, C., Abdullah, J. J., Greetham, D., Fu, D., Yu, M., Ren, L., Li, S., & Lu, D. (2018). Valorization of food waste into biofertiliser and its field application. *Journal of Cleaner Production*, *187*, 273-284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.211

Eggersdorfer, M., & Wyss, A. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *652*, 18-26. https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001

Esposto, B. S., Pinho, S. G. B., Thomazini, M., Ramos, A. P., Tapia-Blácido, D. R., & Martelli-Tosi, M. (2022). TPP-chitosomes as potential encapsulation system to protect carotenoid-rich extract obtained from carrot by-product: a comparison with liposomes and chitosomes. *Food Chemistry*, *397*, 133857. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133857

Espro, C., Paone, E., Mauriello, F., Gotti, R., Uliassi, E., Bolognesi, M. L., Rodríguez-Padrón, D., & Luque, R. (2021). Sustainable production of pharmaceutical, nutraceutical and bioactive compounds from biomass and waste. *Chemical Society Reviews*, *50*(20), 11191-11207. https://doi.org/10.1039/D1CS00524C

Ganesh, K. S., Sridhar, A., & Vishali, S. (2022). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities - A review. Chemosphere, 287. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132221

Gao, Q., Li, Y., Li, Y., Liang, Y., & Zhang, Z. (2022). Profile of anthocyanins in purple vegetables commonly consumed in China and their relationship with antioxidant abilities. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(2), 1659-1673. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01267-0

Georgiev, V., Slavov, A., Vasileva, I., & Pavlov, A. (2018). Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients. *Engineering in Life Sciences*, *18*(11), 779-798. https://doi.org/10.1002/elsc.201800066

Gill, R., Nadeem, Q.-U.-A., Nadeem, R., Nazir, R., & Nawaz, S. (2014). Biosorption capacity of vegetable waste biomass for adsorption of lead and chromium. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *5*(2), 306-317. https://www.innspub.net/wp-content/uploads/2023/02/JBES-V5-No2-p306-317.pdf

Giordano, E., & Quadro, L. (2018). Lutein, zeaxanthin and mammalian development: metabolism, functions and implications for health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *647*, 33-40. https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.04.008

Giradkar, P. (2021). Formulation and evaluation of poly herbal anti aging face creams. *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, *10*(3), 2920-2923. https://doi.org/10.22270/jmpas.V10I3.1048

Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, *97*(4), 574-581. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005

Gonçalves de Moura, I., Vasconcelos de Sá, A., Lemos Machado Abreu, A. S., & Alves Machado, A. V. (2017). Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Food Packaging* (pp. 223-263). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804302-8.00007-8

Gonçalves, S., & Romano, A. (2017). Inhibitory properties of phenolic compounds against enzymes linked with human diseases. En M. Soto-Hernández, M. Palma-Tenango, & M. R. García-Mateos (Eds.), *Phenolic Compounds - Biological Activity*. InTech Open. https://doi.org/10.5772/66844

Guldiken, B., Gibis, M., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., & Weiss, J. (2018). Physical and chemical stability of anthocyanin-rich black carrot extract-loaded liposomes during storage. *Food Research International*, *108*, 491-497. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.071

Hampel, D., Mosandl, A., & Wüst, M. (2005). Biosynthesis of mono- and sesquiterpenes in carrot roots and leaves (*Daucus carota* L.): metabolic cross talk of cytosolic mevalonate and plastidial methylerythritol phosphate pathways. *Phytochemistry*, *66*(3), 305-311. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.12.010

Hanchinal, V. M., Survase, S. A., Sawant, S. K., & Annapure, U. S. (2008). Response surface methodology in media optimization for production of β-carotene from *Daucus carota*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *93*, 123-132. https://doi.org/10.1007/s11240-008-9350-8

Heinrich, U., Wiebusch, M., Tronnier, H., Gärtner, C., Eichler, O., Sies, H., & Stahl, W. (2003). Supplementation with β-Carotene or a Similar Amount of Mixed Carotenoids Protects Humans from UV-Induced Erythema. *The Journal of Nutrition*, *133*(1), 98–101. https://doi.org/10.1093/jn/133.1.98

Hempel, J., Schädle, C. N., Leptihn, S., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2016). Structure related aggregation behavior of carotenoids and carotenoid esters. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *317*, 161-174. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.10.024

Hideg, É., Jansen, M. A. K., & Strid, Å. (2013). UV-B exposure, ROS, and stress: inseparable companions or loosely linked associates? *Trends in Plant Science*, *18*(2), 107-115. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.003

Iorizzo, M., Curaba, J., Pottorff, M., Ferruzzi, M. G., Simon, P., & Cavagnaro, P. F. (2020). Carrot anthocyanins genetics and genomics: status and perspectives to improve its application for the food colorant industry. *Genes*, *11*(8), 906. https://doi.org/10.3390/genes11080906

Jacobo-Velázquez, D. A. (2023). Transformation of carrots into novel food ingredients and innovative healthy foods. *Applied Food Research*, *3*(1), 100303. https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100303

Jang, H.-J., Ha, B.-K., Zhou, J., Ahn, J., Yoon, S.-H., & Kim, S.-W. (2015). Selective retinol production by modulating the composition of retinoids from metabolically engineered *E. coli*. *Biotechnology and Bioengineering*, *112*(8), 1604-1612. https://doi.org/10.1002/bit.25577

Jang, H.-J., Yoon, S.-H., Ryu, H.-K., Kim, J.-H., Wang, C.-L., Kim, J.-Y., Oh, D.-K., & Kim, S.-W. (2011). Retinoid production using metabolically engineered *Escherichia coli* with a two-phase culture system. *Microbial Cell Factories*, *10*(1), 59. https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-59

Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Gandía, L. M., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *50*(20), 2061-2108. https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694819

Jonasson, L., Wikby, A., & Olsson, A. G. (2003). Low serum β-carotene reflects immune activation in patients with coronary artery disease. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, *13*(3), 120-125. https://doi.org/10.1016/S0939-4753(03)80170-9

Kammerer, D., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Quantification of anthocyanins in black carrot extracts (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) and evaluation of their color properties. *European Food Research and Technology*, *219*(5), 479-486. https://doi.org/10.1007/s00217-004-0976-4

Kataria, D., Chahal, K. K., Kaur, P., & Kaur, R. (2016). Carrot plant-a potential source of high value compounds and biological activities: A Review. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, *82*(4), 1237-1248. https://doi.org/10.16943/ptinsa/2016/48573

Kaulmann, A., & Bohn, T. (2014). Carotenoids, inflammation, and oxidative stress-implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. *Nutrition Research*, *34*(11), 907–929. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2014.07.010

Kaur, G. J., Kumar, D., Orsat, V., & Singh, A. (2022). Assessment of carrot rejects and wastes for food product development and as a biofuel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *12*(3), 757-768. https://doi.org/10.1007/s13399-020-01096-z

Kim, Y.-S., & Oh, D.-K. (2010). Biotransformation of carotenoids to retinal by carotenoid 15,15′-oxygenase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *88*(4), 807-816. https://doi.org/10.1007/s00253-010-2823-9

Kimiz-Gebologlu, I., & Oncel, S. S. (2022). Exosomes: large-scale production, isolation, drug loading efficiency, and biodistribution and uptake. *Journal of Controlled Release*, *347*, 533-543. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.05.027

Kirilovsky, D. (2015). Modulating energy arriving at photochemical reaction centers: orange carotenoid protein-related photoprotection and state transitions. *Photosynthesis Research*, *126*(1), 3-17. https://doi.org/10.1007/s11120-014-0031-7

Kobaek-Larsen, M., Baatrup, G., Khataei Notabi, M., El-Houri, R. B., Pipó-Ollé, E., Christensen Arnspang, E., & Christensen, L. P. (2019). Dietary Polyacetylenic oxylipins falcarinol and falcarindiol prevent inflammation and colorectal neoplastic transformation: a mechanistic and dose-response study in a rat model. *Nutrients*, *11*(9), 2223. https://doi.org/10.3390/nu11092223

Koley, T. K., Singh, S., Khemariya, P., Sarkar, A., Kaur, C., Chaurasia, S. N. S., & Naik, P. S. (2014). Evaluation of bioactive properties of Indian carrot (*Daucus carota* L.): a chemometric approach. *Food Research International*, *60*, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.006

Kreutzmann, S., Thybo, A. K., Edelenbos, M., & Christensen, L. P. (2008). The role of volatile compounds on aroma and flavour perception in coloured raw carrot genotypes. *International Journal of Food Science & Technology*, *43*(9), 1619-1627. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01662.x

Krga, I., & Milenkovic, D. (2019). Anthocyanins: from sources and bioavailability to cardiovascular-health benefits and molecular mechanisms of action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *67*(7), 1771-1783. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06737

Krinsky, N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, *26*(6), 459-516. https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001

Kultys, E., & Kurek, M. A. (2022). Green Extraction of Carotenoids from Fruit and Vegetable Byproducts: A Review. *Molecules*, *27*(2), 518. https://doi.org/10.3390/molecules27020518

Kumar, K., Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, *4*(1), 18. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6

Kumar, S., Abedin, Md. M., Singh, A. K., & Das, S. (2020). Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms. En R. Lone, R., Shuab, & A. Kamili (Eds.), *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture* (pp. 517-532). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_22

Lacatusu, I., Istrati, D., Bordei, N., Popescu, M., Seciu, A. M., Panteli, L. M., & Badea, N. (2020). Synergism of plant extract and vegetable oils-based lipid nanocarriers: Emerging trends in development of advanced cosmetic prototype products. *Materials Science and Engineering: C*, *108*, 110412. https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110412

Landrum, J. T., & Bone, R. A. (2001). Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, *385*(1), 28-40. https://doi.org/10.1006/abbi.2000.2171

Leja, M., Kamińska, I., Kramer, M., Maksylewicz-Kaul, A., Kammerer, D., Carle, R., & Baranski, R. (2013). The content of phenolic compounds and radical scavenging activity varies with carrot origin and root color. *Plant Foods for Human Nutrition*, *68*(2), 163-170. https://doi.org/10.1007/s11130-013-0351-3

Lessin, W. J., Catigani, G. L., & Schwartz, S. J. (1997). Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*(10), 3728-3732. https://doi.org/10.1021/jf960803z

Li, D., Wang, P., Luo, Y., Zhao, M., & Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(8), 1729-1741. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064

Liang, M.-H., He, Y.-J., Liu, D.-M., & Jiang, J.-G. (2021). Regulation of carotenoid degradation and production of apocarotenoids in natural and engineered organisms. *Critical Reviews in Biotechnology*, *41*(4), 513-534. https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873242

Liu, S., Grierson, D., & Xi, W. (2024). Biosynthesis, distribution, nutritional and organoleptic properties of bitter compounds in fruit and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(7), 1934-1953. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2119930

Long, Z., Zhao, Y., Xue, Y., Wang, M., Li, J., Su, Z., Sun, J., Liu, Q., Liu, H., Mao, D., & Wei, T. (2021). A novel thermophilic β-carotene 15,15′-monooxygenase with broad substrate specificity from the marine bacterium *Candidatus pelagibacter* sp. HTCC7211. *Biotechnology Letters*, *43*(12), 2233-2241. https://doi.org/10.1007/s10529-021-03188-w

Lyu, Y., Chen, Q., Gou, M., Wu, X., & Bi, J. (2023). Influence of different pre-treatments on flavor quality of freeze-dried carrots mediated by carotenoids and metabolites during 120-day storage. *Food Research International*, *170*, 113050. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113050

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, *74*(1), 1-16. https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x

Marzocco, S., Singla, R. K., & Capasso, A. (2021). Multifaceted Effects of Lycopene: A Boulevard to the Multitarget-Based Treatment for Cancer. *Molecules*, *26*(17), 5333. https://doi.org/10.3390/molecules26175333

Meléndez-Martínez, A. J. (2019). An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. *Molecular Nutrition & Food Research*, *63*(15), 1613-4125. https://doi.org/10.1002/mnfr.201801045

Miean, K. H., & Mohamed, S. (2001). Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin, and Apigenin) Content of Edible Tropical Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(6), 3106-3112. https://doi.org/10.1021/jf000892m

Miklasińska-Majdanik, M., Kępa, M., Wojtyczka, R., Idzik, D., & Wąsik, T. J. (2018). Phenolic compounds diminish antibiotic resistance of staphylococcus aureus clinical strains. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(10), 2321. https://doi.org/10.3390/ijerph15102321

Mínguez-Alarcón, L., Mendiola, J., López-Espín, J. J., Sarabia-Cos, L., Vivero-Salmerón, G., Vioque, J., Navarrete-Muñoz, E. M., & Torres-Cantero, A. M. (2012). Dietary intake of antioxidant nutrients is associated with semen quality in young university students. *Human Reproduction*, *27*(9), 2807-2814. https://doi.org/10.1093/humrep/des247

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022, septiembre 29). *Minambiente, interesado en ayudar a disminuir el desperdicio de alimentos*. https://www.minambiente.gov.co/minambiente-interesado-en-ayudar-a-disminuir-el-desperdicio-de-alimentos/

Mondal, J., Pillarisetti, S., Junnuthula, V., Saha, M., Hwang, S. R., Park, I. K., & Lee, Y.-K. (2023). Hybrid exosomes, exosome-like nanovesicles and engineered exosomes for therapeutic applications. *Journal of Controlled Release*, *353*, 1127-1149. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.12.027

Moreno, J. C., Mi, J., Alagoz, Y., & Al-Babili, S. (2021). Plant apocarotenoids: from retrograde signaling to interspecific communication. *The Plant Journal*, *105*(2), 351-375. https://doi.org/10.1111/tpj.15102

Mrowicka, M., Mrowicki, J., Kucharska, E., & Majsterek, I. (2022). Lutein and zeaxanthin and their roles in age-related macular degeneration—neurodegenerative disease. *Nutrients*, *14*(4), 827. https://doi.org/10.3390/nu14040827

Muchlinski, A., Ibdah, M., Ellison, S., Yahyaa, M., Nawade, B., Laliberte, S., Senalik, D., Simon, P., Whitehead, S. R., & Tholl, D. (2020). Diversity and function of terpene synthases in the production of carrot aroma and flavor compounds. *Scientific Reports*, *10*(1), 9989. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66866-1

Müjdeci, G. N. (2022). Experimental modeling and optimization of melanin production by *Aureobasidium pullulans* NBRC 100716 in carrot peel extract. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, *41*(6). https://doi.org/10.1002/ep.13919

Mukherjee, S., Date, A., Patravale, V., Korting, H. C., Roeder, A., & Weindl, G. (2006). Retinoids in the treatment of skin aging: an overview of clinical efficacy and safety. *Clinical Interventions in Aging*, *1*(4), 327-348. https://doi.org/10.2147/ciia.2006.1.4.327

Müller, H. (1997). Determination of the carotenoid content in selected vegetables and fruit by HPLC and photodiode array detection. *Zeitschrift Für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, *204*(2), 88-94. https://doi.org/10.1007/s002170050042

Musnaini, M., Fransisca, S., & Leslie, W. (2022). Effectiveness of cream formulation of carrot seed oil as anti-aging. *International Journal of Health and Pharmaceutical (IJHP)*, *3*(2), 331-340. https://doi.org/10.51601/ijhp.v3i3.170

Nadaroglu, H., & Baran, A. (2020). The antimicrobial activity of herbal soaps against selected human pathogens. *Tenside Surfactants Detergents*, *57*(5), 354-360. https://doi.org/10.3139/113.110707

Nagraj, G. S., Jaiswal, S., Harper, N., & Jaiswal, A. K. (2020). Carrot. En A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 323-337). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00020-9

Nawkar, G. M., Maibam, P., Park, J. H., Sahi, V. P., Lee, S. Y., & Kang, C. H. (2013). UV-Induced Cell Death in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(1), 1608-1628. https://doi.org/10.3390/ijms14011608

Nicolle, C., Simon, G., Rock, E., Amouroux, P., & Rémésy, C. (2004). Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *129*(4), 523-529. https://doi.org/10.21273/JASHS.129.4.0523

O'Byrne, S. M., & Blaner, W. S. (2013). Retinol and retinyl esters: biochemistry and physiology. *Journal of Lipid Research*, *54*(7), 1731-1743. https://doi.org/10.1194/jlr.R037648

Pinto, F., de Barros, D. P. C., Reis, C., & Fonseca, L. P. (2019). Optimization of nanostructured lipid carriers loaded with retinoids by central composite design. *Journal of Molecular Liquids*, *293*, 111468. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111468

Przybylska, S., & Tokarczyk, G. (2022). Lycopene in the prevention of cardiovascular diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(4), 1957. https://doi.org/10.3390/ijms23041957

Purohit, A. J., & Gogate, P. R. (2015). Ultrasound-assisted extraction of β-carotene from waste carrot residue: effect of operating parameters and type of ultrasonic irradiation. *Separation Science and Technology*, *50*(10), 1507-1517. https://doi.org/10.1080/01496395.2014.978472

Qasim, M., Xiao, H., He, K., Noman, A., Liu, F., Chen, M.-Y., Hussain, D., Jamal, Z. A., & Li, F. (2020). Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. *Acta Tropica*, *211*, 105630. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105630

Ramos-Andrés, M., Aguilera-Torre, B., & García-Serna, J. (2021). Biorefinery of discarded carrot juice to produce carotenoids and fermentation products. *Journal of Cleaner Production*, *323*, 129139. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129139

Rasheed, N., Rahman, S. A., & Hafsa, S. (2020). Formulation and Evaluation of Herbal Lipsticks. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, *13*(4), 1693. https://doi.org/10.5958/0974-360X.2020.00306.6

Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., Zayadan, B. K., Bruce, B. D., Hou, H. J. M., & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(12), 8450-8461. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.125

Rowles, J. L., & Erdman, J. W. (2020). Carotenoids and their role in cancer prevention. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, *1865*(11), 158613. https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158613

Roy, P. K., Lalrempuii, Zairempuii, C., Lallawmzuali, E., Laldinchhana, Debbarma, A., Hmangaihkimi, A., & Lalhlenmawia, H. (2022). Formulation and evaluation of cost effective herbal sunscreen gel from aqueous extracts of different fruits of Mizoram, India. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology (IJPSN)*, *15*(6), 6229-6233. https://doi.org/10.37285/ijpsn.2022.15.6.5

Rueda, D., Arias, V., Zhang, Y., Cabot, A., Agudelo, A. C., & Cadavid, D. (2020). Low-cost tangerine peel waste mediated production of titanium dioxide nanocrystals: synthesis and characterization. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *13*, 100285. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100285

Sciubba, F., Tomassini, A., Giorgi, G., Brasili, E., Pasqua, G., Capuani, G., Aureli, W., & Miccheli, A. (2020). NMR-based metabolomic study of purple carrot optimal harvest time for utilization as a source of bioactive compounds. *Applied Sciences*, *10*(23), 8493. https://doi.org/10.3390/app10238493

Shah, A., & Smith, D. L. (2020). Flavonoids in agriculture: chemistry and roles in, biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. *Agronomy*, *10*(8), 1209. https://doi.org/10.3390/agronomy10081209

Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot - A review. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(1), 22-32. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7

Sharma, S., Chatterjee, S., Kataria, S., Joshi, J., Datta, S., Vairale, M. G., & Veer, V. (2017). A review on responses of plants to uv-b radiation related stress. En V. P. Singh, S. Singh, S. Mohan, & P. Parihar (Eds.), *UV-B Radiation: from environmental stressor to regulator of plant growth* (pp. 75-97). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119143611.ch5

Shin, K. C., Seo, M. J., Kim, Y. S., & Yeom, S. J. (2022). Molecular properties of β-carotene oxygenases and their potential in industrial production of vitamin A and its derivatives. *Antioxidants*, *11*(6), 1180. https://doi.org/10.3390/antiox11061180

Sieniawska, E., Świątek, Ł., Rajtar, B., Kozioł, E., Polz-Dacewicz, M., & Skalicka-Woźniak, K. (2016). Carrot seeds essential oil - Source of carotol and cytotoxicity study. *Industrial Crops and Products*, *92*, 109-115. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.001

Silva, E. L., Carneiro, G., Caetano, P. A., Goulart, G., Ferreira Costa, D., de Souza-Fagundes, E. M., Gomes, D. A., & Ferreira, L. A. M. (2015). Nanostructured lipid carriers loaded with tributyrin as an alternative to improve anticancer activity of *all-trans* retinoic acid. *Expert Review of Anticancer Therapy*, *15*(2), 247-256. https://doi.org/10.1586/14737140.2015.1000868

Simkin, A. J. (2021). Carotenoids and apocarotenoids in planta: their role in plant development, contribution to the flavour and aroma of fruits and flowers, and their nutraceutical benefits. *Plants*, *10*(11), 2321. https://doi.org/10.3390/plants10112321

Singh, B. K., Koley, T. K., Maurya, A., Singh, P. M., & Singh, B. (2018). Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus* Schubl. & Martens). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *24*(5), 899-907. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0574-8

Singh, S., Lohani, A., Mishra, A. K., & Verma, A. (2019). Formulation and evaluation of carrot seed oil-based cosmetic emulsions. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, *21*(2), 99–107. https://doi.org/10.1080/14764172.2018.1469769

Sridhar, A., Kapoor, A., Senthil Kumar, P., Ponnuchamy, M., Balasubramanian, S., & Prabhakar, S. (2021). Conversion of food waste to energy: a focus on sustainability and life cycle assessment. *Fuel*, *302*, 121069. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121069

Srivastava, N. S. L., Narnaware, S. L., Makwana, J. P., Singh, S. N., & Vahora, S. (2014). Investigating the energy use of vegetable market waste by briquetting. *Renewable Energy*, *68*, 270-275. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.047

Statista. (2023). *Global production of vegetables in 2021, by type*. https://www.statista.com/statistics/257345/per-capita-consumption-of-fresh-vegetables-in-the-us-by-type/

Sun, T., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(10), 4142-4147. https://doi.org/10.1021/jf9001044

Syukri, D., Rini, Wellyalina, Yanti, N. R., & Jaswandi. (2021). Effect of degradation time on carotene content in crude carotene extract of carrot for the formation of its derivative aromatic compounds. *Indian Journal of Agricultural Research*, *56*(2), 157-161. https://doi.org/10.18805/IJARe.A-649

Tardy, A.-L., Pouteau, E., Marquez, D., Yilmaz, C., & Scholey, A. (2020). Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: a narrative review of the biochemical and clinical evidence. *Nutrients*, *12*(1), 228. https://doi.org/10.3390/nu12010228

Trehan, S., Michniak-Kohn, B., & Beri, K. (2017). Plant stem cells in cosmetics: current trends and future directions. *Future Science OA*, *3*(4), FSO226. https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0026

Tsuda, T. (2012). Dietary anthocyanin-rich plants: Biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular Nutrition & Food Research*, *56*(1), 159-170. https://doi.org/10.1002/mnfr.201100526

Uray, I. P., Dmitrovsky, E., & Brown, P. H. (2016). Retinoids and rexinoids in cancer prevention: from laboratory to clinic. *Seminars in Oncology*, *43*(1), 49-64. https://doi.org/10.1053/j.seminoncol.2015.09.002

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2019). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA 2019.* https://upra.gov.co/es-co/eva/eva-2019

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2023). *Evaluaciones Agropecuarias EVA 2023.* https://upra.gov.co/es-co/eva/eva-2023

Vargas-Murga, L., de Rosso, V. V., Mercadante, A. Z., & Olmedilla-Alonso, B. (2016). Fruits and vegetables in the Brazilian Household Budget Survey (2008-2009): carotenoid content and assessment of individual carotenoid intake. *Journal of Food Composition and Analysis*, *50*, 88-96. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.05.012

Von Lintig, J. (2012). Metabolism of carotenoids and retinoids related to vision. *Journal of Biological Chemistry*, *287*(3), 1627-1634. https://doi.org/10.1074/jbc.R111.303990

Walk, A. M., Khan, N. A., Barnett, S. M., Raine, L. B., Kramer, A. F., Cohen, N. J., Moulton, C. J., Renzi-Hammond, L. M., Hammond, B. R., & Hillman, C. H. (2017). From neuro-pigments to neural efficiency: the relationship between retinal carotenoids and behavioral and neuroelectric indices of cognitive control in childhood. *International Journal of Psychophysiology*, *118*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.05.005

Wan, L., Tan, H.-L., Thomas-Ahner, J. M., Pearl, D. K., Erdman, J. W., Moran, N. E., & Clinton, S. K. (2014). Dietary tomato and lycopene impact androgen signaling- and carcinogenesis-related gene expression during early tramp prostate carcinogenesis. *Cancer Prevention Research*, *7*(12), 1228-1239. https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-14-0182

Wang, J. Y., Lin, P.-Y., & Al-Babili, S. (2021). On the biosynthesis and evolution of apocarotenoid plant growth regulators. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, *109*, 3-11. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2020.07.007

Wang, Z., Li, S., Ge, S., & Lin, S. (2020). Review of distribution, extraction methods, and health benefits of bound phenolics in food plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(11), 3330-3343. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06574

Westfall, A. (2015). *Evaluation of the efficacy of anthocyanins as biologically active ingredients in lipstick formulations* [Tesis de maestría, Universidad de Ohio]. Ohio LINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1429170218

Xu, T., Zhang, J., Jin, R., Cheng, R., Wang, X., Yuan, C., & Gan, C. (2022). Physicochemical properties, antioxidant activities and *in vitro* sustained release behaviour of co- encapsulated liposomes as vehicle for vitamin E and β- carotene. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(13), 5759-5767. https://doi.org/10.1002/jsfa.11925

Yaashikaa, P. R., Senthil Kumar, P., & Varjani, S. (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: a critical review. *Bioresource Technology*, *343*, 126126. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126

Yamaguchi, M. (2012). Role of carotenoid β-cryptoxanthin in bone homeostasis. *Journal of Biomedical Science*, *19*(1), 36. https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-36

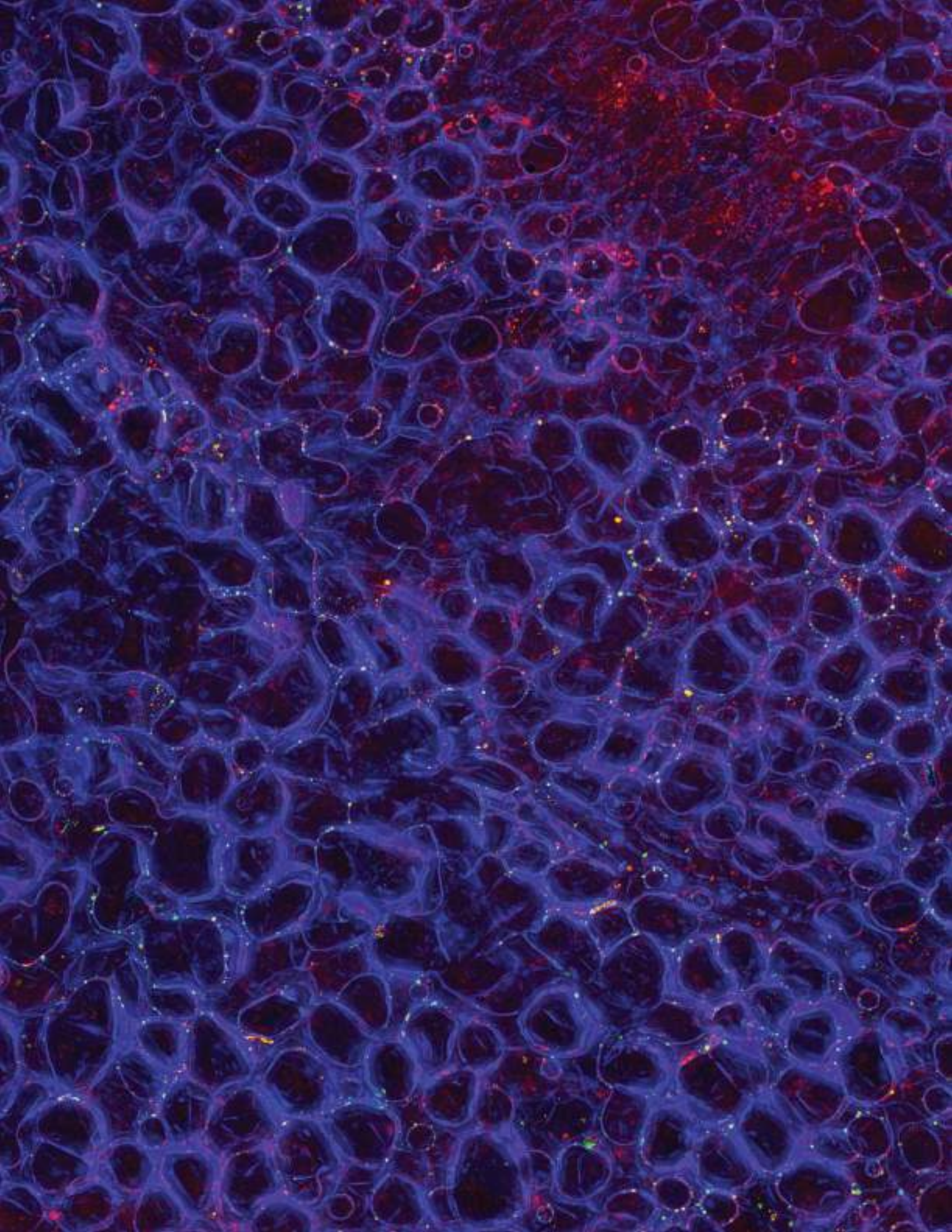
Yara-Varón, E., Li, Y., Balcells, M., Canela-Garayoa, R., Fabiano-Tixier, A.-S., & Chemat, F. (2017). Vegetable oils as alternative solvents for green oleo-extraction, purification and formulation of food and natural products. *Molecules*, *22*(9), 1474. https://doi.org/10.3390/molecules22091474

Yusuf, E. H., Wojdyło, A., Lech, K., Masztalerz, K., & Nowicka, P. (2023). The effect of combined drying process (OD-CD-VMD) on nutritional, phytochemical, and sensory profiles, and biological activities of colored dried carrot. *LWT*, *173*, 114231. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114231

Yusuf, E., Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Nowicka, P. (2021). Nutritional, phytochemical characteristics and *in vitro* effect on α-amylase, α-glucosidase, lipase, and cholinesterase activities of 12 coloured carrot varieties. *Foods*, *10*(4), 808. https://doi.org/10.3390/foods10040808

Zasada, M., & Budzisz, E. (2019). Retinoids: active molecules influencing skin structure formation in cosmetic and dermatological treatments. *Advances in Dermatology and Allergology*, *36*(4), 392-397. https://doi.org/10.5114/ada.2019.87443

Zhou, Y., Tian, Y., & Yang, B. (2023). Root vegetable side streams as sources of functional ingredients for food, nutraceutical and pharmaceutical applications: the current status and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, *137*, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.006





Título

Bioactividad secreta

Técnica

Microscopía de fluorescencia por procesamiento Thunder de Leica, agrupando 120 fotos de 60 micras de profundidad. Colores propios de la autofluorescencia del tejido.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Juan Camilo Henao-Rojas
Paola Andrea Hormaza Martínez

Descripción

Corte transversal de la raíz de zanahoria mostrando el efecto de desestructuración de los tejidos producto del cocinado. Algunas células muestran paredes menos rígidas producto del cocinado, en contraste con las características típicas del tejido fresco turgente.

Capítulo XV

Transformación y valor agregado en variedades comerciales de zanahoria, una apuesta hacia productos de calidad diferencial

Mateo Londoño-Valencia
Andrés Felipe Vega-Baquero
Luis Alfonso Salazar-Hoyos
Jeanine Kathleen Peñaloza-Figueroa
Juan Camilo Henao-Rojas

Introducción

La zanahoria destaca como uno de los vegetales más cultivados y consumidos a nivel mundial, gracias a su riqueza en nutrientes, fitonutrientes y minerales, como carotenos, fibra y vitaminas. Aunque tradicionalmente se asociaba con ensaladas, sopas y aderezos, hoy en día su presencia se extiende a bebidas, productos de repostería, panadería, confitería y alimentos para animales.

Por lo anterior, en el presente capítulo se exponen algunos de los beneficios nutricionales de la zanahoria según su variedad (naranja, morada, blanca y amarilla), las etapas de procesamiento básicas para conseguir un producto alimenticio con los estándares de calidad e inocuidad apropiados, así como sus aplicaciones en preparaciones de pastelería, productos deshidratados o enlatados, bebidas, confitería, entre otros. Adicionalmente, se presentan algunas de las normas colombianas que deben ser consideradas al momento de la elaboración de productos alimenticios a partir de zanahoria, tanto para consumo humano como animal.

Generalidades de la zanahoria

La zanahoria es una de las hortalizas más producidas a nivel mundial, su nombre científico es *Daucus carota* L., hace parte de la familia Apiaceae y se caracteriza por sus altos contenidos nutricionales y sus colores diversos como anaranjada, blanca, púrpura, amarilla, entre otros. Esta raíz suele ser cultivada en zonas con climas frescos en temporada de primavera u otoño, y también se ha cosechado en climas subtropicales con temperaturas alrededor de 17 °C (Que et al., 2019). Adicionalmente, se cree que el origen de la zanahoria se sitúa en Asia, y que fue domesticada poco a poco en Asia central, tomando como factores críticos la forma, el color y el sabor.

La raíz ha demostrado ser una buena fuente de carotenoides, vitaminas, fibra dietaria, minerales y antioxidantes, por lo que en los últimos años se han estudiado ampliamente sus propiedades y composición. En la figura 15.1 se resumen algunos de los principales componentes nutricionales de la zanahoria naranja.

Teniendo en cuenta lo anterior, la zanahoria es aprovechada para conseguir extractos, materias primas y productos alimenticios con alto valor nutricional, tanto en alimentación humana como animal (Riaz et al., 2021).

En la alimentación humana, se emplea principalmente en sopas, cremas, chips, harinas, productos de repostería, yogur, bebidas, jugos, caramelos, entre otros. De igual manera, en la actualidad los propietarios se vienen preocupando por mejorar la calidad de vida de sus mascotas, lo que ha derivado en la búsqueda cada vez más frecuente de alimentos o *snacks* que sean naturales y ricos en nutrientes, dado que ello se relaciona con una buena salud y bienestar. Los usos principales de la zanahoria en este caso se encuentran en la alimentación BARF[1], comidas húmedas, *snacks* como galletas, entre otros.

Composición nutricional de la zanahoria

La zanahoria ha sido uno de los vegetales más utilizados en la gastronomía y alimentación humana, gracias a su alto nivel nutricional, además de su versatilidad en diversas preparaciones gastronómicas, que van desde preparaciones dulces, saladas, sólidas, líquidas, entre otras. A continuación, en la tabla 15.1 se presenta un resumen de las propiedades nutricionales encontradas en 100 g de zanahoria cruda.

[1] BARF es el acrónimo en inglés de *biologically appropiate raw food* (alimentos crudos biológicamente apropiados). Se utiliza para designar las dietas a base de alimentos crudos, que consiste en la alimentación con carne cruda y vísceras, e incluye una porción de verduras, frutas, frutos secos, plantas, aceites, huevos y lácteos. El motivo más importante por el que un propietario elige una dieta barf para su mascota es querer seguir "una alimentación más natural y saludable" (Handl, 2014).

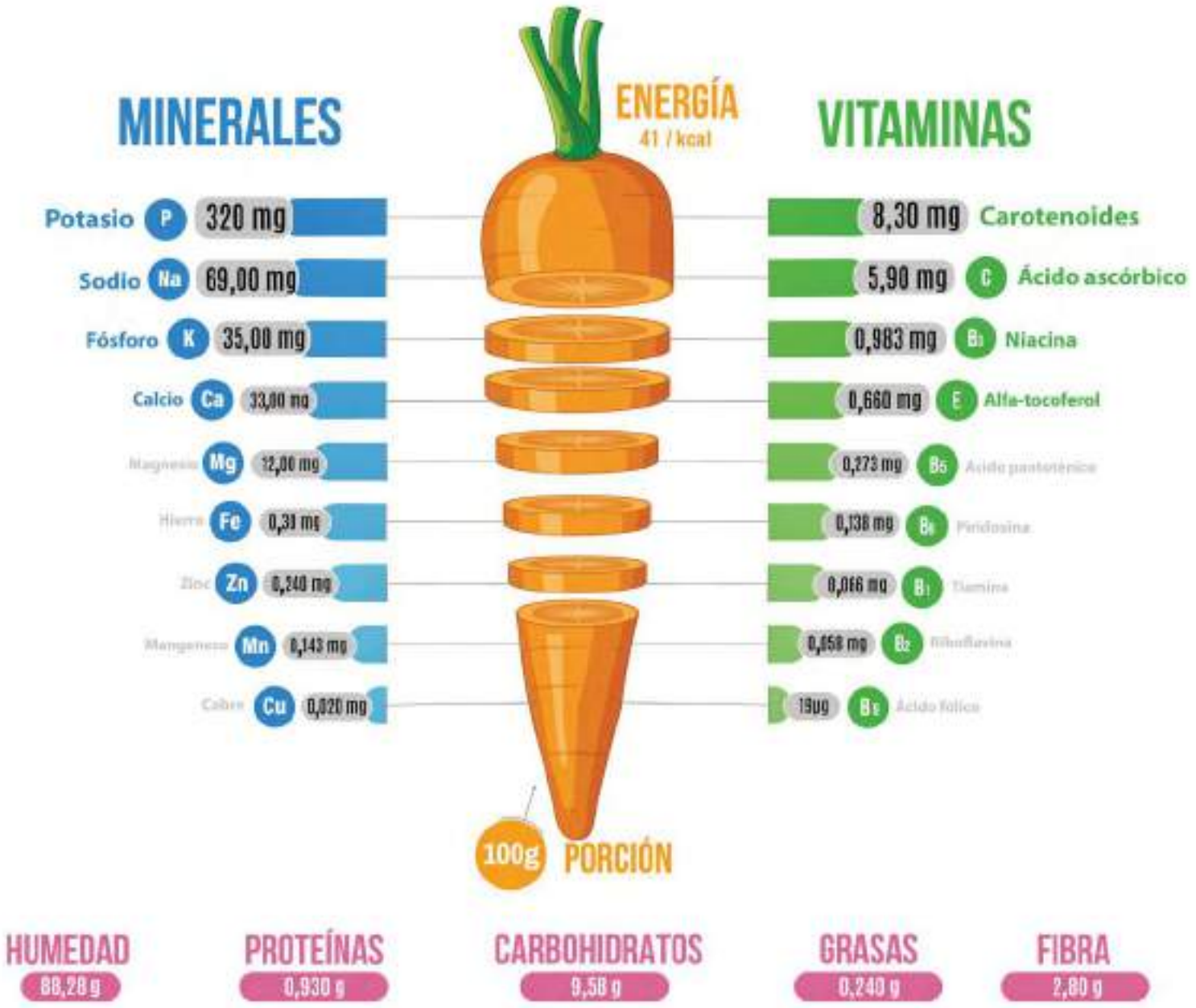


Figura 15.1. Información nutricional de la zanahoria.

Fuente: Elaboración propia con base en Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2014)

Tabla 15.1. Información nutricional por 100 g de zanahoria cruda

Componente químico	Concentración	Referencia
Energía	173 kJ (41 kcal)/100 g ((3,5 oz) zanahoria cruda)	USDA (2014)
Humedad	86 % 88,8 % 86 % - 89 %	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) Howard et al. (1962)
Carbohidratos	10,6 g/100 g 6 g/100 g 9,6 g/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) USDA (2014)
Fibra cruda	1,2 g/100 g 2,4 g/100 g 2,8 g/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) USDA (2014)
Proteína	0,9 g/100 g 0,7 g/100 g 0,8 - 1,1 g/100 g 0,93 g/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) Howard et al. (1962) USDA (2014)
Grasa	0,2 g/100 g 0,5 g/100 g 0,24 g/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) USDA (2014)
Azúcar total	5,6 g/100 g 2,71 - 4,53 g/100 g 4,7 g/100 g	Holland et al. (1991) Kaur et al. (1976) USDA (2014)

Continúa en la siguiente página

Componente químico	Concentración	Referencia
Calcio	80 mg/100 g 34 mg/100 g 27,2 - 44,9 mg/100 g 33 mg/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Hierro	2,2 mg/100 g 0,4 mg/100 g 0,32 - 1,98 mg/100 g 0,3 mg/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Fósforo	53 mg/100 g 25 mg/100 g 35 mg/100 g	Gopalan et al. (1991) Holland et al. (1991) USDA (2014)
Sodio	40 mg/100 g 14,4 - 61,6 mg/100 g 69 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Potasio	240 mg/100 g 443 - 758 mg/100 g 320 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Magnesio	9 mg/100 g 8,0 - 23,1 mg/100 g 12 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Manganeso	0,143 mg/100 g	USDA (2014)
Cobre	0,02 mg/100 g	Holland et al. (1991)
Zinc	0,2 mg/100 g 0,18 - 0,39 mg/100 g 0,24 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Carotenoides	5,33 mg/100 g 0,47 - 26,55 mg/100 g 8,3 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)

Continúa en la siguiente página

Componente químico	Concentración	Referencia
Riboflavina (vitamina B_2)	0,02 mg/100 g 0,058 mg/100 g	Holland et al. (1991) USDA (2014)
Tiamina (vitamina B_1)	0,04 mg/100 g 0,066 mg/100 g	Holland et al. (1991) USDA (2014)
Niacina (vitamina B_3)	0,2 mg/100 g 0,983 mg/100 g	Holland et al. (1991) USDA (2014)
Ácido pantoténico (vitamina B5)	0,273 mg/100 g	USDA (2014)
Vitamina B6	0,138 mg/100 g	USDA (2014)
Folato (vitamina B9)	19 µg/100 g	USDA (2014)
Vitamina C	4 mg/100 g 1,4 - 5,8 mg/100 g 5,9 mg/100 g	Holland et al. (1991) Nicolle et al. (2004) USDA (2014)
Vitamina E	0,66 mg/100 g 0,19 - 0,70 mg/100 g	USDA (2014) Nicolle et al. (2004)

Fuente: Nguyen & Nguyen (2015)

Principales compuestos de interés nutricional en la zanahoria

El desarrollo de diversas formulaciones alimenticias en las que se emplea la zanahoria como materia prima se fundamenta, en gran medida, en el aporte nutricional de este material y en su efecto favorable sobre diversos procesos corporales. A continuación, se mencionan brevemente algunos de los principales componentes con alto valor nutricional presentes en la zanahoria, los cuales dependen de la variedad de zanahoria (naranja, morada, blanca o amarilla). En la figura 15.2 se aprecian algunas de las diferentes variedades de zanahoria.



Figura 15.2. Variedades de zanahoria.

Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

Carotenoides

Son compuestos orgánicos que, gracias a sus propiedades químicas, se caracterizan por ser pigmentos rojos, amarillos y naranjas. Estos compuestos se encuentran usualmente en plantas, microalgas o macroalgas, y deben ser ingeridos por la mayoría de los animales, ya que no pueden ser sintetizados de forma natural (Saini et al., 2022).

Se ha demostrado que el organismo humano es capaz de transformar algunos de los carotenoides y convertirlos en moléculas de vitamina A (National Institutes of Health, 2022), la cual participa en diversos procesos y órganos del cuerpo humano, como el sistema inmunológico, la visión, el crecimiento y desarrollo, los pulmones, el corazón, entre otros.

Los carotenoides se encuentran en diferentes frutas, verduras y granos, entre los que resaltan las zanahorias (6,1-7,1 mg/100 g), tomates secos (46 mg/100 g), sandía (1,6-3,5 mg/100 g), papaya (1,8-4,2 mg/100 g) y guayaba (3,2-7,0 mg/100 g) (Saini et al., 2022).

Antocianinas

Son un subgrupo de los flavonoides, los cuales poseen diversas propiedades químicas según la isomerización de sus estructuras en el momento de su síntesis (Ockermann et al., 2021). Las antocianinas son moléculas polifenólicas caracterizadas por sus colores, que pueden ir desde rojo hasta azul, según la fruta o verdura en la que se encuentren. Aunque estos pigmentos se encuentran en gran variedad de frutas y verduras, algunos alimentos como la zanahoria, las cerezas, las fresas, las uvas, el repollo rojo, los arándanos y las moras tienen mayor concentración de estos compuestos (Mattioli et al., 2020).

Estos compuestos se han utilizado ampliamente en la industria alimentaria como colorantes, sin embargo, se debe tener especial precaución con factores como temperatura y pH del medio, ya que son moléculas que pueden degradarse con facilidad. Además de este uso, se ha estudiado la posibilidad de emplear las antocianinas como compuestos que puedan contrarrestar el estrés oxidativo en el cuerpo humano, o prevenir la aparición de enfermedades no transmisibles como neurodegenerativas, cardiovasculares, metabólicas o cáncer (Mattioli et al., 2020).

Fibra dietaria

La fibra dietaria comprende diversos materiales que no pueden ser digeridos de forma natural por la digestión enzimática, entre los cuales resaltan polisacáridos, hemicelulosa, péptidos, gomas, mucílagos, entre otros. Estos compuestos, en las cantidades adecuadas, logran mejorar el tránsito intestinal en el cuerpo humano, lo que favorece el proceso digestivo de ciertos alimentos.

La fibra dietaria se puede clasificar en soluble o insoluble en agua, y se puede encontrar de manera natural en diferentes matrices alimentarias como algunos granos (cebada, arroz, maíz, avena, trigo), legumbres (lentejas, fríjoles, soja, habas), verduras (zanahoria [2,7 g/ 100 g], tomate [1,2 g/ 100 g], pepino [0,7 g/ 100 g], espinaca [2,6 g/ 100 g]), frutas (manzana [1,5 g/ 100 g],

kiwi [2,9 g/ 100 g], piña [1,7 g/ 100 g], mango [3,9 g/ 100 g], naranja [0,2 g/ 100 g], fresa [2,0 g/ 100 g], ciruela [2,4 g/100 g]) (ICBF, 2018) o frutos secos/nueces (almendras [10,9 g/ 100 g], coco [9,0 g/ 100 g], maní [8,3 g/ 100 g], sésamo [11,8 g/ 100 g]) (Dhingra et al., 2012; Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF], 2018) (figura 15.3).



Figura 15.3. Valores de fibra dietaria de frutas y hortalizas consumidas en Colombia.

Fuente: Elaboración propia con base en ICBF (2018) para frutas y verduras; Dhingra et al. (2012) para frutos secos

Vitaminas y minerales

Son moléculas químicas que favorecen el correcto funcionamiento de diversos procesos biológicos dentro del organismo humano, como es el caso de los minerales, encargados de favorecer el desbalance electrolítico en las paredes celulares, lo que contribuye a la hidratación de cada una de las células y, por ende, del cuerpo humano.

La zanahoria, además de contener múltiples compuestos beneficiosos para los procesos biológicos humanos como carotenos, antioxidantes, fibra, carbohidratos y agua, también cuenta con altos niveles de vitaminas E y C, y minerales como potasio, sodio, calcio, magnesio y zinc (Que et al., 2019).

Compuestos fenólicos

Se ha encontrado la presencia de fenoles o polifenoles en múltiples matrices, entre las que se destacan los vegetales y, en particular, la zanahoria. Si bien se han hallado estos compuestos, los cuales provienen principalmente de la fenilalanina, en toda la raíz de la zanahoria, se ha determinado que la piel (cáscara) es la que concentra mayor cantidad de fenoles y polifenoles (cerca de 54,1 % de los fenoles totales). Algunos estudios han establecido que la cantidad fenólica total de la zanahoria ronda los 26,6 µg/g, mientras que el jugo de zanahorias púrpuras presenta cantidades de fenoles cercanas a 772 mg/L (Sharma et al., 2012).

El interés de estos compuestos en el cuerpo humano se origina en su capacidad de combatir radicales libres, que pueden afectar el correcto funcionamiento del organismo y funciones biológicas; gracias a esto, los fenoles y polifenoles son compuestos orgánicos reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antimutagénicas e incluso antitumorales (Sharma et al., 2012).

Por otra parte, el consumo consciente de alimentos ha experimentado un incremento en los últimos años, pues cada vez es más alto el número de personas que prefieren el consumo de productos que representen beneficios para la salud en lugar de productos con alto contenido de sustancias que pueden afectar la salud, como exceso de azúcar, grasa, productos químicos, entre otros. Asimismo, como se mencionó anteriormente, se ha encontrado variación en las concentraciones nutricionales de las zanahorias, dependiendo de su color; por ejemplo, en las zanahorias oscuras como las moradas, rojas o naranjas oscuras, los niveles de fitonutrientes como los carotenoides han sido los más elevados en comparación con los niveles de este mismo componente en zanahorias más claras (Nguyen & Nguyen, 2015). Dichas concentraciones de compuestos pueden, en cierta medida, variar las características sensoriales de los diferentes materiales de zanahoria. En las figuras 15.4 a 15.7 se resumen los principales atributos sensoriales de las zanahorias con coloración diferencial disponibles para siembra en Colombia.

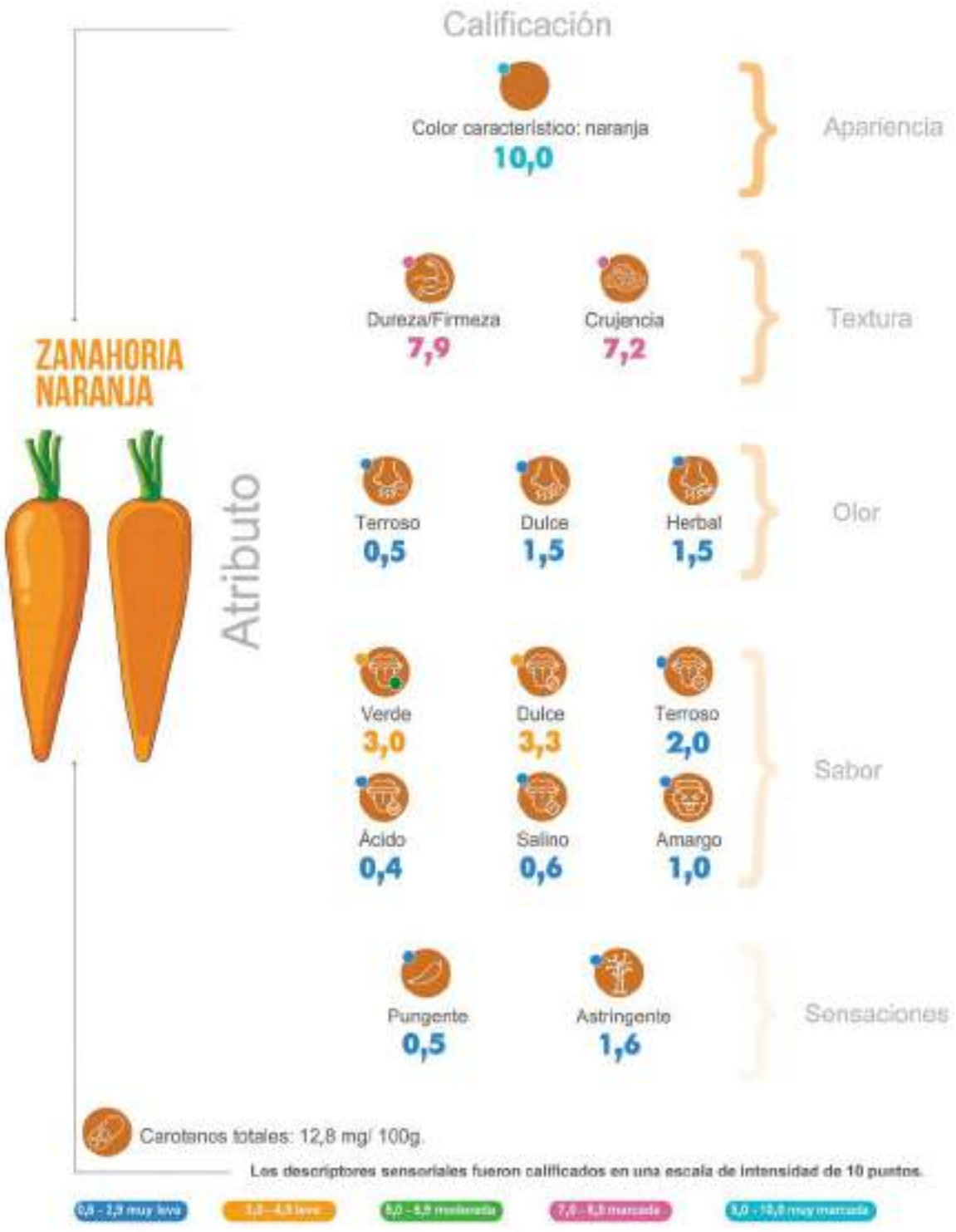


Figura 15.4. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: naranja.

Fuente: Elaboración propia

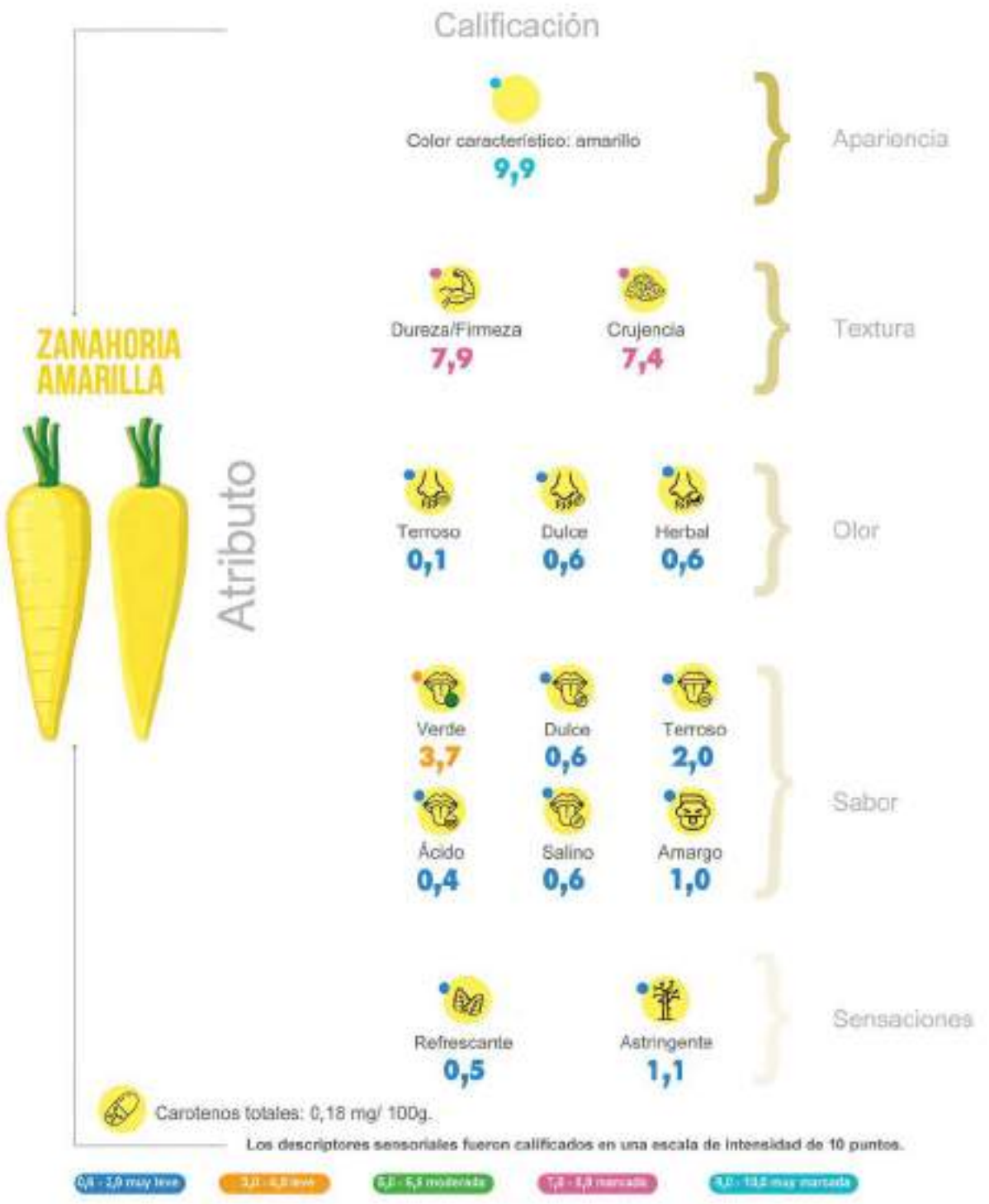


Figura 15.5. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: amarilla.

Fuente: Elaboración propia

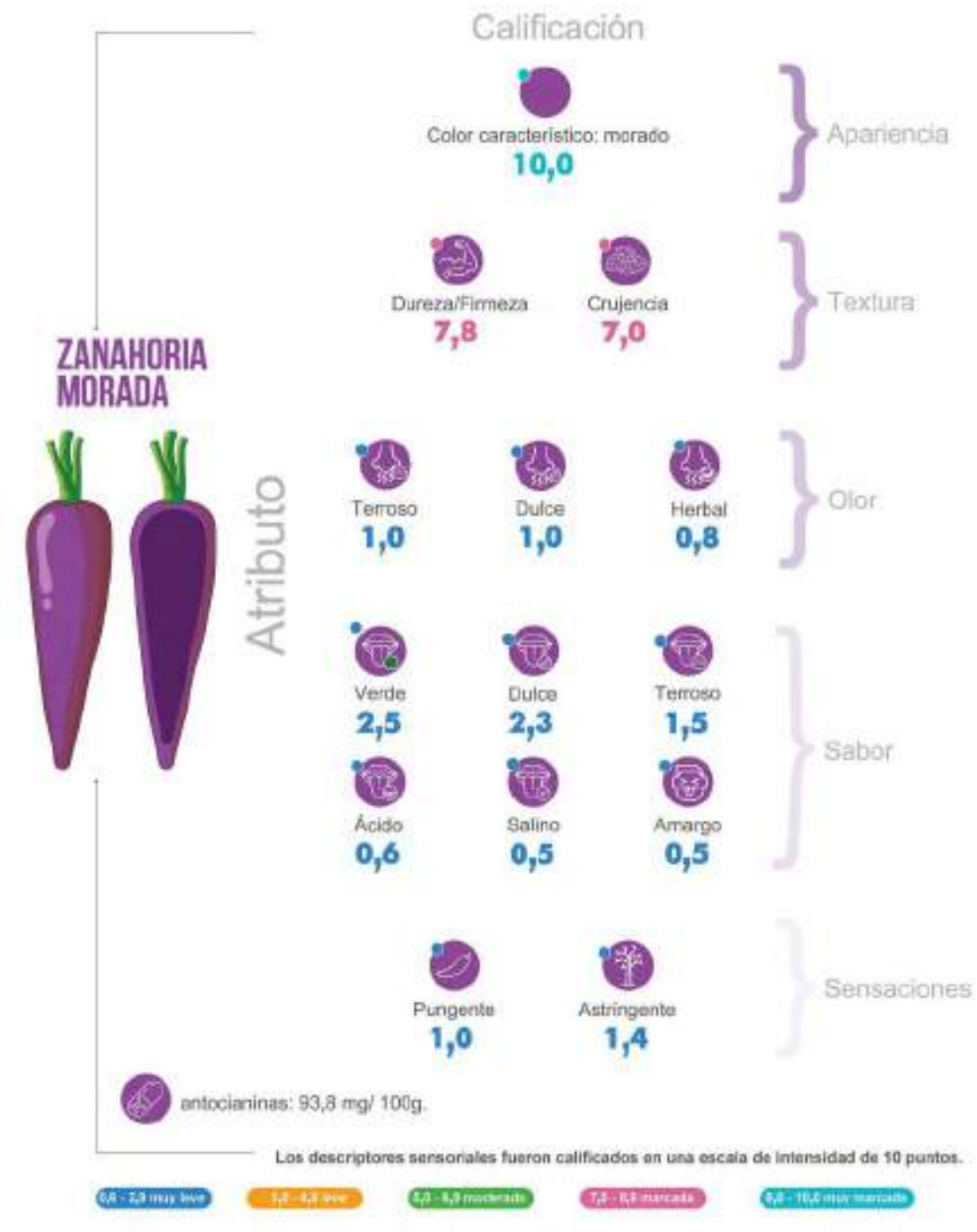


Figura 15.6. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: morada.

Fuente: Elaboración propia

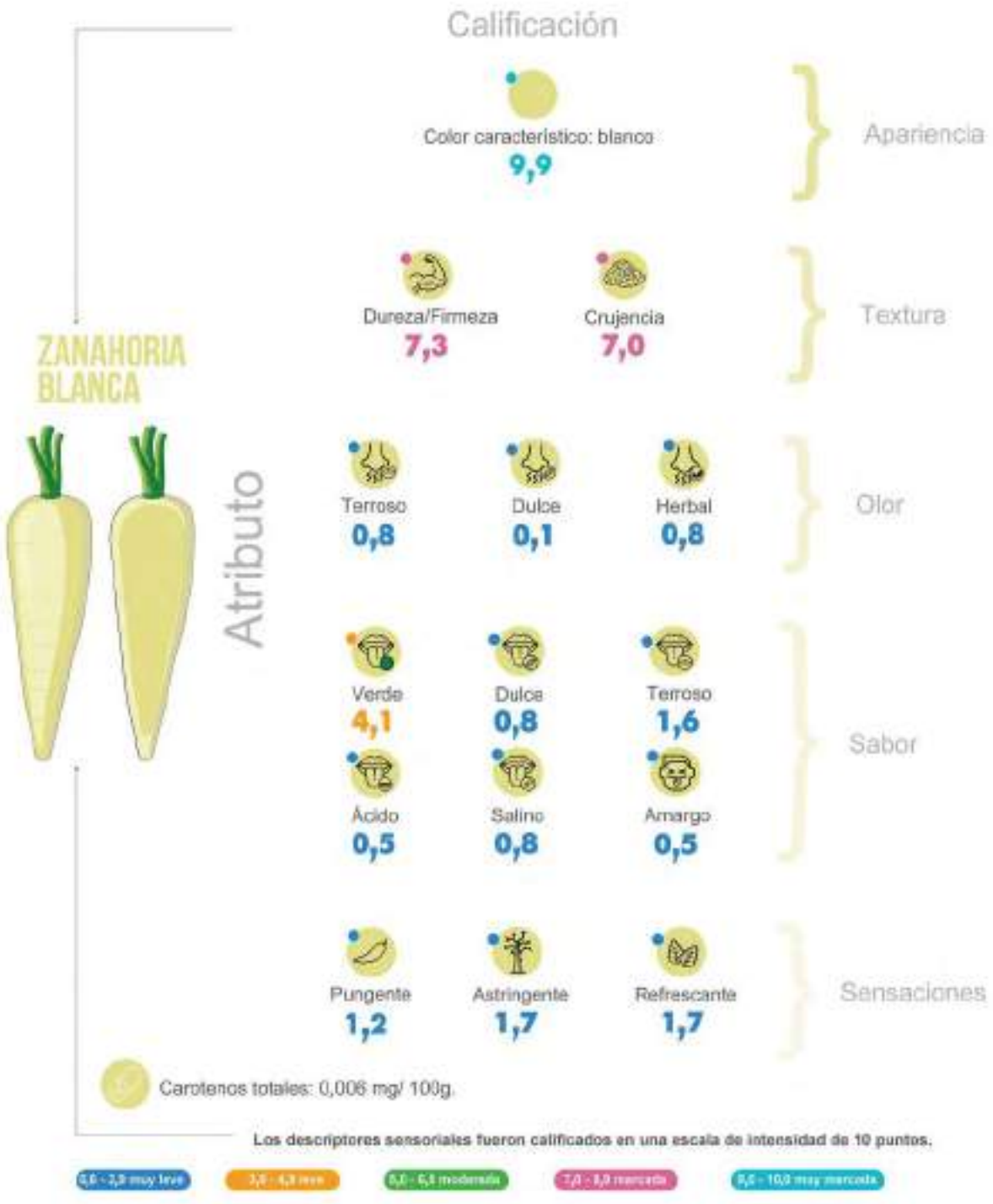


Figura 15.7. Principales atributos sensoriales de la zanahoria según su variedad: blanca.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15.2 presenta información recopilada de carotenoides en zanahorias de diversos colores.

Tabla 15.2. Concentración de carotenos en zanahorias de diversos colores

Concentración de carotenoides (µg/g)						
Color de zanahoria	**Carotenoides totales**	**α-carotenos**	**β-carotenos**	**Licopeno**	**Luteína**	**Referencias**
Blanca	0,14	ND	0,06	ND	0,09	Surles et al. (2004)
	17,6	0,5	2,8	0,35	14,2	Sun et al. (2009)
Amarilla	7,1	0,5	1,8	ND	5,1	Surles et al. (2004)
	52,0	1,86	30,1	0,32	19,8	Sun et al. (2009)
Naranja	152 816,3 60,0-125,2	22 228,3 12,8 - 31,3	128 579,3 32.1 - 66.5	ND 5,09 NM	2,6 3,61 0,61 - 1,8	Surles et al. (2004) Sun et al. (2009) Nicolle et al. (2004)
Naranja oscura	283 1.334,7 265,8	31 381,9 75,8	185 939,7 172,1	17 7,76 NM	4,4 5,53 1,0	Surles et al. (2004) Sun et al. (2009) Nicolle et al. (2004)
Morada	175	41	123	ND	11	Surles et al. (2004)
Roja	610,1	1,7	187,2	419,4	1,68	Sun et al. (2009)

Nota: NM y ND representan datos no mencionados y no determinados, respectivamente.
Fuente: Elaboración propia con base en Nguyen & Nguyen (2015)

Usos de la zanahoria

La zanahoria ha sido objeto de estudio como un ingrediente prometedor para la fabricación de productos alimenticios con alto valor nutricional y energético. Por ejemplo, se ha empleado la zanahoria para la extracción de colorantes naturales, vitaminas, saborizantes, y como materia prima para productos de repostería, confitería, bebidas vegetales, agente de relleno en formulaciones, condimento, entre otros.

Además, ante el aumento en la cantidad de mascotas en los hogares, asociado en parte a la disminución en la cantidad de hijos en familias conformadas por parejas jóvenes, estudios recientes han demostrado que existe una relación inversamente proporcional entre la cantidad de hijos y mascotas con respecto a los hogares conformados por personas con nivel socioeconómico alto. Es decir, se demostró que, entre mayor es el nivel socioeconómico de las familias evaluadas en el estudio, menor es el número de hijos; no obstante, mayor es la probabilidad de que estos cuenten con por lo menos una mascota (Guo et al., 2021). Por lo anterior, existe una preocupación cada vez más tangible por la calidad nutricional de los productos alimenticios para mascotas, y es allí donde la zanahoria juega un papel importante como potencial ingrediente funcional que aporta vitaminas, minerales, antioxidantes y demás compuestos de interés para la nutrición animal. Resaltan los beneficios nutricionales de la zanahoria en alimentación animal como ingrediente en concentrados, *snacks* tipo galletas, comidas húmedas o como premios de entrenamiento, ya que se ha evidenciado una aceptación y gusto por parte de algunas mascotas, en particular los caninos, que se caracterizan por llevar una alimentación omnívora (National Research Council, 2006).

Asimismo, el mercado de consumidores conscientes biofuncionalmente ha incrementado en los últimos años, por lo que es más común evidenciar que las personas prefieren alimentos que les beneficien nutricional y energéticamente, en lugar de alimentos que simplemente aporten saciedad. Además de los requisitos nutricionales, gran parte de la población ahora es más consiente de los alimentos que consume, por lo que es usual que algunas personas prefieran consumir alimentos sin adición de productos químicos como colorantes, conservantes, saborizantes y, en su lugar, recurrir a alimentos que cuenten con una promesa de valor relacionada con los productos o ingredientes naturales.

Productos comerciales a nivel mundial con zanahoria

En la actualidad se encuentran en el mercado un considerable número de alimentos que aprovechan las propiedades de la zanahoria para elaborar productos de consumo humano y animal. En consecuencia, por medio de un proceso de vigilancia tecnológica, realizado con la plataforma Mintel con una ventana de búsqueda entre el 2019 y 2023, se investigaron los principales usos y aplicaciones en mercados de Latinoamérica, Europa y Norteamérica.

En Latinoamérica se encuentran alrededor de 4.033 productos que contienen zanahoria, en el mercado norteamericano se reportan 4.554, mientras que en Europa esta cifra asciende a 32.200 productos.

En la figura 15.8 se exponen las principales categorías en las que se emplea la zanahoria para alimentos de consumo humano y animal. La tendencia de crecimiento comienza desde el año 2019 hasta el 2023, y se evidencia que el uso principal de la zanahoria en el mercado latinoamericano es para la elaboración de salsas y aderezos, seguido de productos para alimentación animal, la cual ha presentado un crecimiento acentuado para el año 2023.

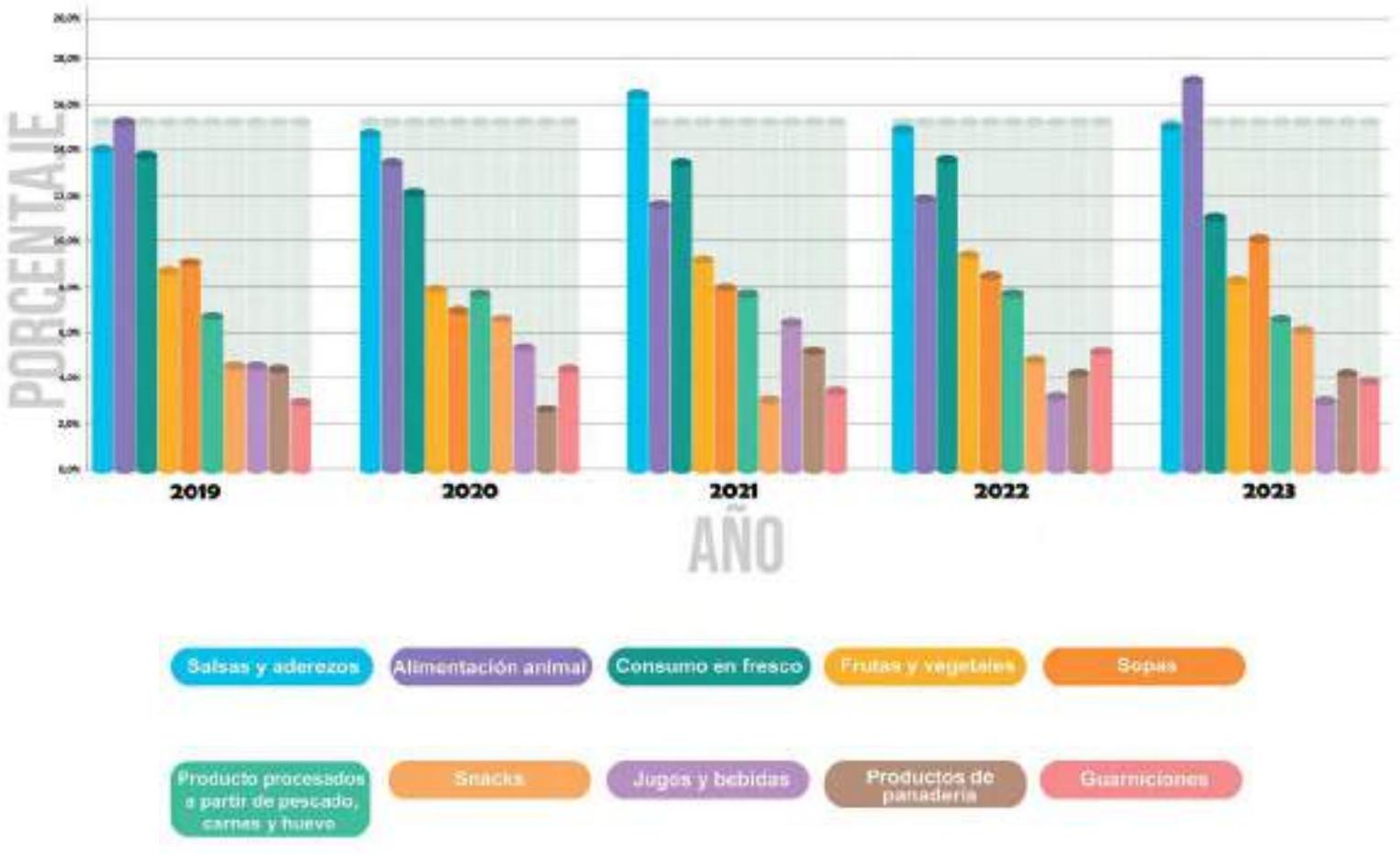
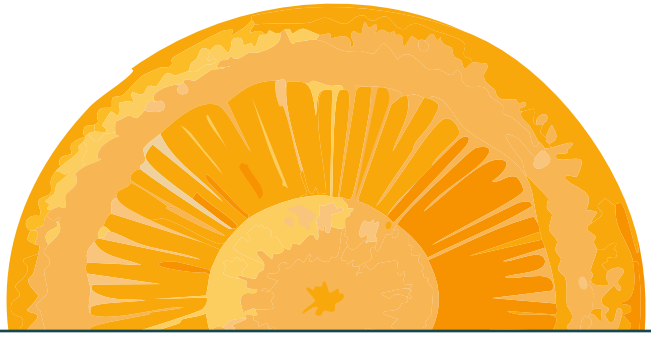


Figura 15.8. Categorías predominantes de productos con zanahoria en Latinoamérica.

Fuente: Agencia de Inteligencia de Mercado - Mintel GNPD para el año 2023

Para los productos evaluados, las principales declaraciones que se atribuyen son las siguientes:

- Alimentos funcionales para mascotas: mejora del tránsito intestinal
- Prebióticos
- Alto contenido de fibra/con fibra adicionada
- Reducido en grasas trans/sin grasas trans
- Reducido en alérgenos/sin alérgenos
- Libre de gluten
- Alimentos basados en plantas
- Orgánicos
- Sin aditivos/ sin preservativos
- Libre de colorantes artificiales



Procesamiento de la zanahoria

La elección de la variedad de zanahoria para la elaboración de productos alimenticios, ya sea para consumo humano o animal, está condicionada por las propiedades y características deseadas del producto final. Por consiguiente, resulta fundamental considerar los diversos beneficios de cada una de las variedades de zanahoria.

Antes de comenzar con el tratamiento de cualquier producto que tiene como fin último ser consumido por humanos o animales, se debe dar cumplimiento a ciertos requisitos de salubridad, con el objetivo de reducir el riesgo para la salud de los consumidores asociado a posibles infecciones o enfermedades que pueden alterar el correcto y adecuado funcionamiento del organismo (humano o animal).

De esta manera, en cada una de las etapas de procesamiento de alimentos se deben tener en cuenta las buenas prácticas de manufactura (BPM), definidas por la Resolución 2674 de 2013 como:

Todos aquellos principios básicos y prácticos de higiene en la manipulación, elaboración, enva-

sado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos en cada una de las operaciones mencionadas cumplan con las condiciones sanitarias adecuadas, de modo que se disminuyan los riesgos inherentes a la producción (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013a).

Las BPM se deben tener presente en la industria alimentaria, con el principal objetivo de asegurar la calidad e inocuidad de los productos que sean fabricados, envasados, transportados y almacenados, cuyo fin último es el consumo humano y/o animal. Cabe resaltar que la Resolución 2674 de 2013 define la inocuidad como la garantía o certeza de que los alimentos no producirán daño en la salud de los individuos que los consuman.

Con base en lo anterior, se presentan las etapas generales que deben ser consideradas para el tratamiento de zanahoria en la elaboración de alimentos. Adicionalmente, la figura 15.9 resume algunas de las etapas primarias que deben considerarse para la generalidad del procesamiento de zanahoria.

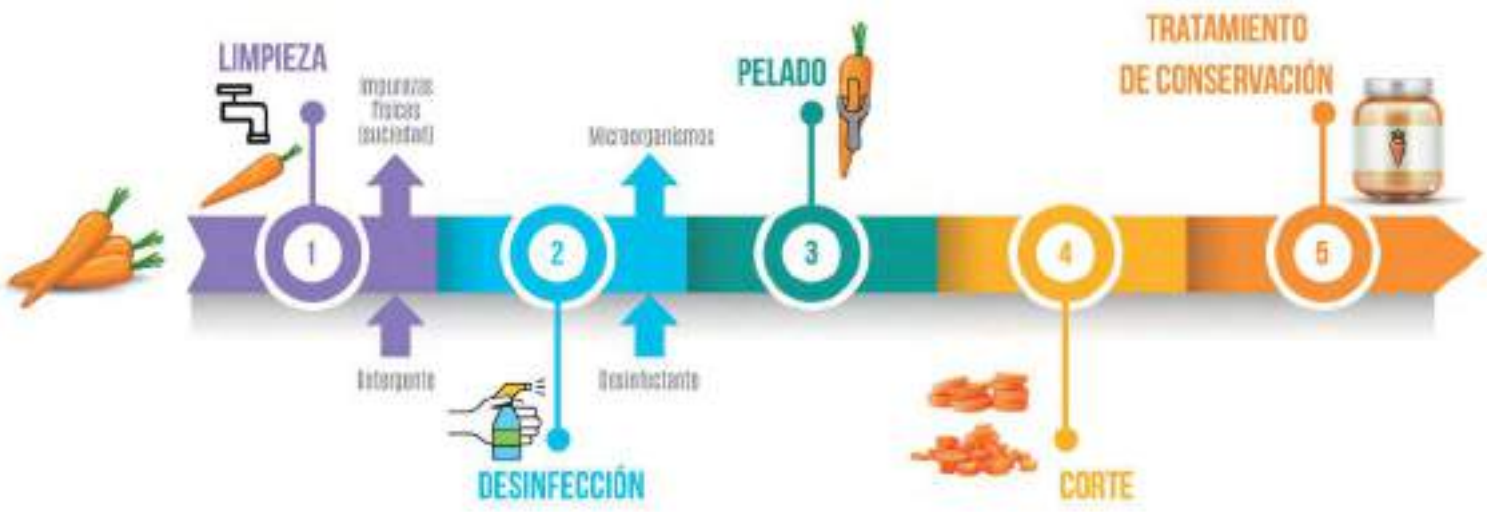


Figura 15.9. Etapas para el procesamiento de la zanahoria.

Fuente: Elaboración propia

Limpieza

Según la Resolución 2674 de 2013, el proceso de limpieza consiste en la eliminación de suciedad visible, es decir, residuos de alimentos u otros materiales extraños o indeseados. En el caso de las zanahorias, la etapa de limpieza consiste en la eliminación de polvo, tierra, raíces, ramas otros elementos que hayan sido transportados por error desde el campo de cosecha, como clavos, piedras, etc. Por lo tanto, el tratamiento de limpieza usualmente está acompañado por la adición de detergentes y agua, los cuales ayudan con la rápida, profunda y eficaz eliminación de artefactos que pueden alterar la inocuidad de los alimentos que se desean producir a partir del procesamiento del tubérculo.

Según estudios, la adición de detergentes y agua tibia puede favorecer la eliminación o inhibición del crecimiento microbiano en las zanahorias; sin embargo, se ha establecido que la implementación de una etapa adicional de desinfección logra una mayor reducción de la carga microbiana de los materiales y favorece el aumento del tiempo de vida útil de los productos, ya que retrasa reacciones bioquímicas que degradan las propiedades sensoriales y organolépticas de los alimentos (Nguyen & Nguyen, 2015).

Desinfección

Como lo indica la Resolución 2674 de 2013, la desinfección o descontaminación es el proceso fisicoquímico o biológico de destrucción de células vegetativas de microorganismos que pueden presentar riesgos para la salud pública. Por ende, el objetivo es reducir el número de microorganismos indeseados, para garantizar una adecuada inocuidad y calidad del alimento elaborado.

Existen diversos agentes desinfectantes en la industria alimentaria, entre los cuales se resaltan los que emplean el cloro como principio activo. Según estudios, la adición de cloro diluido en agua tibia logra la disminución de bacterias aerobias mesófilas durante el proceso de almacenamiento del alimento elaborado a partir de zanahoria (Nguyen & Nguyen, 2015). También se puede emplear el vinagre alimenticio como agente desinfectante, ya que logra disminuir el pH del alimento y, por tanto, retrasa el crecimiento microbiano.

Por otra parte, actualmente ha ido en aumento el uso de desinfectantes que no requieren enjuague, los cuales actúan como desinfectantes naturales en los alimentos y no se corre el riesgo de contaminación química en el producto fabricado. Se trata de los desinfectantes orgánicos, cuya composición se basa en mezcla de ácidos orgánicos, con lo cual se logra la eliminación de múltiples bacterias y hongos (Gómez et al., 2012).

Pelado

Esta etapa puede ser opcional en el procesamiento de zanahoria y depende del producto final que se desee elaborar. Sin embargo, es usual realizar la eliminación de la epidermis y algunos tejidos

subepidérmicos de algunas frutas y verduras, ya que estos son los que están más expuestos a ataques microbianos, químicos o físicos durante todo el procesamiento de cosecha.

Las zanahorias son uno de los vegetales a los que se le debe retirar la epidermis para conseguir productos con estándares adecuados de calidad e inocuidad, dado que, al ser una raíz, se encuentra expuesta a diversos microorganismos, insectos y animales subterráneos que pueden deteriorar su calidad.

Si bien el proceso de pelado representa un beneficio en términos de disminución del riesgo para la salubridad asociado a la contaminación, la eliminación del tejido externo de la zanahoria genera un aumento en la tasa de respiración del vegetal, lo que ocasiona una aceleración en las reacciones enzimáticas, oxidativas y el crecimiento microbiano, por lo que se debe tener especial precaución con el tratamiento de las zanahorias peladas.

La eliminación de la capa externa de la zanahoria se puede realizar por diversos métodos, entre los que se encuentra técnicas químicas y físicas. Para el caso de los mecanismos químicos, se reporta una disminución en el rendimiento y en la cantidad de pectinas; además, las zanahorias peladas con este tratamiento aumentan su tasa de respiración (Nguyen & Nguyen, 2015).

Por otro lado, en la técnica de pelado física se reporta que, con tratamientos manuales, el contenido fenólico y la capacidad antioxidante son menores en comparación con las zanahorias peladas con tratamientos físicos mecánicos (como la abrasión). También se encontró que la estabilidad de los carotenoides aumenta con el tiempo en zanahorias peladas manualmente, debido en parte a que con esta técnica no se ejercen perturbaciones físicas o térmicas significativas sobre esta molécula (Nguyen & Nguyen, 2015).

Corte

El tamaño de los cortes de la zanahoria está condicionado por las propiedades y características deseadas para el producto final; sin embargo, es importante tener precaución con las buenas prácticas de manufactura, siempre evitando la contaminación, bien sea química, física o microbiológica.

Además de esto, se debe tener en cuenta que la aparición de reacciones oxidativas se ve favorecida por la exposición del vegetal al oxígeno ambiental, lo que significa que entre mayor sea el número de cortes realizados en la zanahoria, mayor será el área expuesta al oxígeno ambiental y, por tanto, mayor será la velocidad con la que se presenten reacciones oxidativas en el producto (Jacobo-Velázquez et al., 2013).

La adición de un agente antioxidante puede favorecer la inhibición de enzimas oxidativas y lograr así un aumento en el tiempo de vida útil del producto cortado. La adición de algunos ácidos como el ascórbico y el cítrico han demostrado una acción protectora contra la oxidación en diversos vegetales y frutos (Jacobo-Velázquez et al., 2013).



Tratamientos de conservación

Escaldado

Dado que la eliminación de la capa externa de las zanahorias las deja expuestas ante ataques microbianos y degradación por reacciones no deseadas, como por ejemplo reacciones enzimáticas u oxidativas, se hace necesario realizar procesos de protección y conservación de las propiedades y características del vegetal.

Una de las técnicas más comunes en frutas y vegetales para evitar su degradación es el escaldado, un tratamiento térmico donde se introduce el alimento, en este caso zanahoria, en agua caliente entre 70 y 90 °C durante un rango de tiempo comprendido entre 1 y 25 minutos. Se ha determinado que el escaldado de zanahoria durante 6 minutos a una temperatura de 80 °C ha maximizado la calidad del vegetal (Nguyen & Nguyen, 2015).

Con este tratamiento térmico se logra reducir hasta en un 90 % la acción de enzimas oxidativas como la peroxidasa, la cual genera deterioro en las propiedades nutricionales y sensoriales de diversas frutas y verduras; sin embargo, se debe tener cuidado con el tiempo y la temperatura de exposición de las zanahorias en esta etapa, ya que algunos componentes como los carotenoides son altamente sensibles ante aumentos de temperatura y se podría generar una disminución en la calidad nutricional del vegetal (Nguyen & Nguyen, 2015).

Tratamiento con vapor

Un tratamiento con vapor puede generar un retraso o hasta eliminación en la acción de enzimas encargadas de decolorar la superficie de las zanahorias. Según estudios, este tratamiento térmico ha logrado proteger el color, sabor y textura de las zanahorias frente la acción de enzimas como fenilalanina-amoniaco liasa y peroxidasas. Además, esta técnica ha logrado retrasar la degradación de las propiedades del vegetal conforme transcurre el tiempo. Nguyen y Nguyen (2015) concluyeron que solo el 2 % de las muestras tratadas con vapor presentaron descomposición, mientras que cerca del 23 % de las muestras no tratadas sufrieron descomposición y una degradación de las propiedades organolépticas del vegetal.



Nuevas tecnologías de conservación

La mayoría de los compuestos con alto valor nutricional encontrados en las diferentes variedades de la zanahoria, como vitaminas y fitonutrientes, son moléculas sensibles frente a perturbaciones externas como exposiciones a altas temperaturas, luz, oxígeno, tratamientos mecánicos bruscos, entre otros (Nguyen & Nguyen, 2015). Por ello, se han evaluado diferentes técnicas para el procesamiento de este vegetal con miras a conseguir la menor degradación posible de sus propiedades de interés, entre las cuales se encuentran los procesamientos a alta presión, el campo eléctrico pulsado, el plasma frío y los fluidos supercríticos. A continuación, se realiza una descripción general de cada una de ellas:

Fluidos supercríticos

Los fluidos supercríticos son sustancias que bajo la combinación de valores de presión y temperatura específicos se pueden encontrar como una mezcla de líquido y vapor; es decir, en condiciones supercríticas, una sustancia puede comportarse como un gas (difundir) y como un líquido (disolver) (Knez et al., 2014). Gracias a sus propiedades, estas sustancias han sido ampliamente empleadas en la industria alimentaria, principalmente como técnicas de extracción de compuestos sensibles y de difícil extracción, como es el caso de los carotenoides.

Para conseguir una óptima extracción de carotenoides de la zanahoria al usar la técnica de fluidos supercríticos (CO_2), se requiere de un solvente; uno de los más utilizados es el aceite de canola, gracias a sus propiedades (Sun & Temelli, 2006). A continuación, en la tabla 15.3 se presentan las condiciones óptimas para realizar esta extracción, con base en estudios realizados previamente.

Tabla 15.3. Condiciones óptimas para la extracción de carotenos por CO_2 supercrítico

Parámetro	α-caroteno	β-caroteno	Luteína	Carotenos totales
Temperatura (°C)	70,0	70,0	70,0	70,0
Presión (MPa)	55,1	55,1	55,1	55,1
Concentración de aceite de canola (%)	5,0	5,0	3,8	5,0
Valor óptimo (µg/g alimento)	872,6	905,0	139,1	1.904,3

Fuente: Sun y Temelli (2006)

Alta presión

Esta técnica consiste en el aumento de la presión sobre el alimento, sin elevar la temperatura o con elevaciones mínimas, lo que permite conservar en gran medida sus propiedades nutricionales. Si bien algunas de las propiedades sensoriales como textura y firmeza se ven afectadas por esta técnica, la composición química de la muestra se mantiene prácticamente intacta, por lo que el producto final puede presentar un alto valor nutricional para sus consumidores (Nguyen & Nguyen, 2015).

Campo eléctrico pulsado

La utilización de campo eléctrico pulsado en alimentos consiste en la aplicación de pulsos de alto voltaje, entre 20 y 80 kV/cm durante no más de 10 µs en los alimentos, con el objetivo de eliminar la presencia de actividad microbiana en los productos. Además, se ha estudiado esta técnica como mecanismo para la inhibición de enzimas oxidativas como la peroxidasa, considerada la principal protagonista en la degradación sensorial de alimentos en términos de color, sabor y pérdida de nutrientes (Nguyen & Nguyen, 2015).

Dado que en esta técnica no se evidencian aumentos de temperatura, se ha determinado que las propiedades de la zanahoria no se ven afectadas cuando son sometidas a campos eléctricos pulsados. En consecuencia, este método parece ser una buena opción para la protección de la calidad e inocuidad de los alimentos producidos a partir de zanahoria (Nguyen & Nguyen, 2015).

Plasma frío

La aplicación de plasmas fríos a presión ambiental en aire u otros gases en alimentos ha sido objeto de estudio como técnica de conservación y eliminación de presencia microbiana, que actúa en la degradación de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos. Esta inhibición se presenta debido a los radicales reactivos y demás especies activas contenidas en el plasma frío, las cuales logran inactivar diversos microorganismos como bacterias, esporas, hongos y biopelículas (Wang et al., 2012).

Productos transformados a partir de la zanahoria

La zanahoria es ampliamente utilizada en múltiples formulaciones de productos, desde jugos hasta enlatados, harinas, dulces, productos de repostería, entre otros. A continuación, se mencionan los beneficios y las generalidades de los tratamientos para la fabricación de algunos de los productos elaborados a partir de zanahoria.

Productos enlatados

Debido al estilo de vida acelerado de la vida humana, hoy en día es cada vez más usual encontrar productos alimenticios listos para el consumo, pues ello facilita y acorta el tiempo de elaboración de algunas de las comidas principales (desayuno, almuerzo o cena) o de algún *snack*.

La zanahoria enlatada se ha convertido en un insumo altamente consumido gracias a su contenido nutricional y su facilidad de utilización. A continuación, se mencionan las etapas que deben ser realizadas para la producción de este alimento enlatado.

» El proceso inicia con la recepción de materia prima, inspección, limpieza, desinfección y pelado, tal y como se mencionó previamente.

» Una vez se cuenta con las zanahorias limpias y sin cáscara, se debe realizar un corte en cubos de pequeño tamaño.

» Los cubos de zanahoria deben atravesar por procesos de conservación para asegurar la inocuidad y calidad del producto final, razón por la que es necesario realizar una etapa de escaldado a una temperatura cercana a los 70 °C durante aproximadamente 5 minutos.

» La etapa final consiste en el enlatado, un proceso donde se empacan los cubos de zanahoria térmicamente tratados en un recipiente metálico que se sella herméticamente.

Es importante resaltar que, debido al tratamiento térmico utilizado en este tipo de productos, es posible generar una disminución en la cantidad de carotenoides, gracias a la desnaturalización de estas moléculas por el aumento de la temperatura (Sharma et al., 2012). La figura 15.10 representa los pasos para la obtención de este producto.



Figura 15.10. Proceso de obtención de zanahoria enlatada.

Fuente: Elaboración propia

Productos deshidratados

El procesamiento de deshidratación consiste en la exposición de las zanahorias a temperaturas alrededor de 40 °C durante aproximadamente 10 horas hasta conseguir productos con la menor cantidad de humedad posible.

La deshidratación se puede realizar por múltiples mecanismos, sin embargo, se ha estudiado que la liofilización es una de las técnicas que representa mayores beneficios nutricionales en el producto final, dado que con este tratamiento se consigue la conservación de moléculas de gran interés como los carotenoides. La liofilización consiste en una congelación del producto y, mediante modificaciones en la presión de operación, se sublima el agua contenida en la matriz congelada.

Una vez se consiguen las zanahorias deshidratadas, se pueden elaborar *snacks* crocantes o también harinas que pueden ser utilizadas en otro tipo de formulaciones como productos de repostería o concentrados de zanahoria (Sharma et al., 2012).

De manera similar a los productos enlatados, en los alimentos deshidratados se presenta un decremento en la cantidad de carotenos, debido a los tratamientos térmicos inherentes al procesamiento. La tabla 15.4 presenta la disminución de carotenoides en zanahorias en diferentes etapas de elaboración de productos deshidratados.

Tabla 15.4. Contenido de carotenos en zanahorias deshidratadas

Producto	β-caroteno (mg/100 g)	Pérdida de β-caroteno (%)
Zanahorias frescas	39,6 ± 0,81	No aplica
Rodajas de zanahoria deshidratadas	24,7 ± 0,73	37,0
Zanahoria deshidratada en tiras	22,5 ± 0,68	43,0
Polvo de zanahoria	23,9 ± 0,24	40,0

Fuente: Sharma et al. (2012)

Los tratamientos térmicos que utilizan altas temperaturas durante poco tiempo han presentado beneficios para la protección molecular de los carotenoides. La degradación térmica de los carotenoides se ha evidenciado en mayor medida en tratamientos de enlatado con 121 °C durante 30 minutos, seguido de calentamientos a temperaturas de 121 °C durante 30 segundos y, finalmente, el tratamiento con menor degradación de carotenos se evidenció con temperaturas de 105 °C durante 25 segundos (Sharma et al., 2012).

Adicionalmente, se han evaluado diferentes métodos de secado con el objetivo de preservar en mayor medida la calidad nutricional de la zanahoria; algunos de estos tratamientos consisten en secado con aire caliente, secado al vacío y secado combinado (aire caliente y vacío) (Sharma et al., 2012). La figura 15.11 resume los pasos que se deben tener en cuenta para la obtención de este producto.

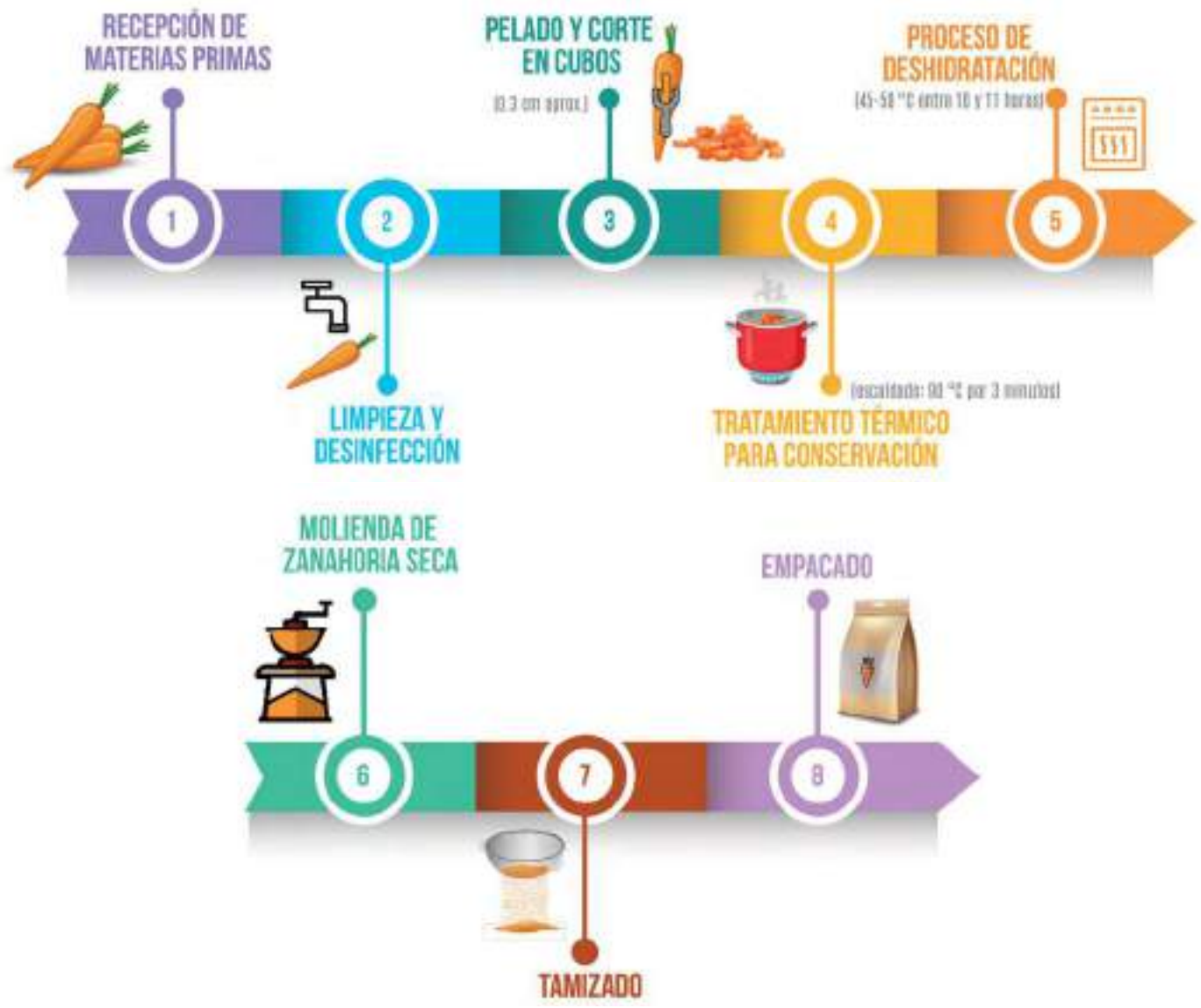


Figura 15.11. Proceso de obtención de harina de zanahoria.

Fuente: Elaboración propia

Bebidas

Las bebidas producidas a partir de zanahoria son uno de los productos más consumidos a nivel mundial. En Alemania, por ejemplo, los zumos de zanahoria se encuentran entre las bebidas no alcohólicas de mayor consumo. Además, este zumo suele ser combinado con frutas y verduras como naranja, banano, remolacha, entre otras, y también se ha mezclado con bebidas lácteas y yogur (Sharma et al., 2012).



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

El proceso que se debe realizar para la obtención de bebidas a partir de zanahoria se presenta a continuación:

» **Recepción de materias primas:** en esta etapa se debe verificar la calidad de cada uno de los insumos.

» **Limpieza y desinfección:** durante este proceso se realiza la eliminación de contaminantes físicos y químicos, así como la disminución de la carga microbiana mediante la acción de detergentes y desinfectantes.

» **Pelado y corte:** la zanahoria debe ser procesada como se mencionó anteriormente, teniendo en cuenta la eliminación de zonas defectuosas de la cáscara de la zanahoria.

» **Mezclado:** se deben combinar los ingredientes componentes del jugo de zanahoria, que usualmente son agua, endulzante, espesantes, conservantes y la zanahoria previamente tratada. Durante esta etapa se recomienda un proceso de licuado en el que se disminuye el tamaño de la zanahoria y se facilita la exposición de sus nutrientes internos.

» **Envasado:** se recomienda envasar en caliente para disminuir la carga microbiana que se pueda encontrar en la bebida. Esta técnica consiste en transportar la bebida a través de una tubería, en cuya parte final se encuentra una resistencia que calienta el fluido durante pocos segundos, justo antes de que la bebida ingrese en el recipiente.

La figura 15.12 muestra cada una de las etapas para la elaboración de yogur con zanahoria.

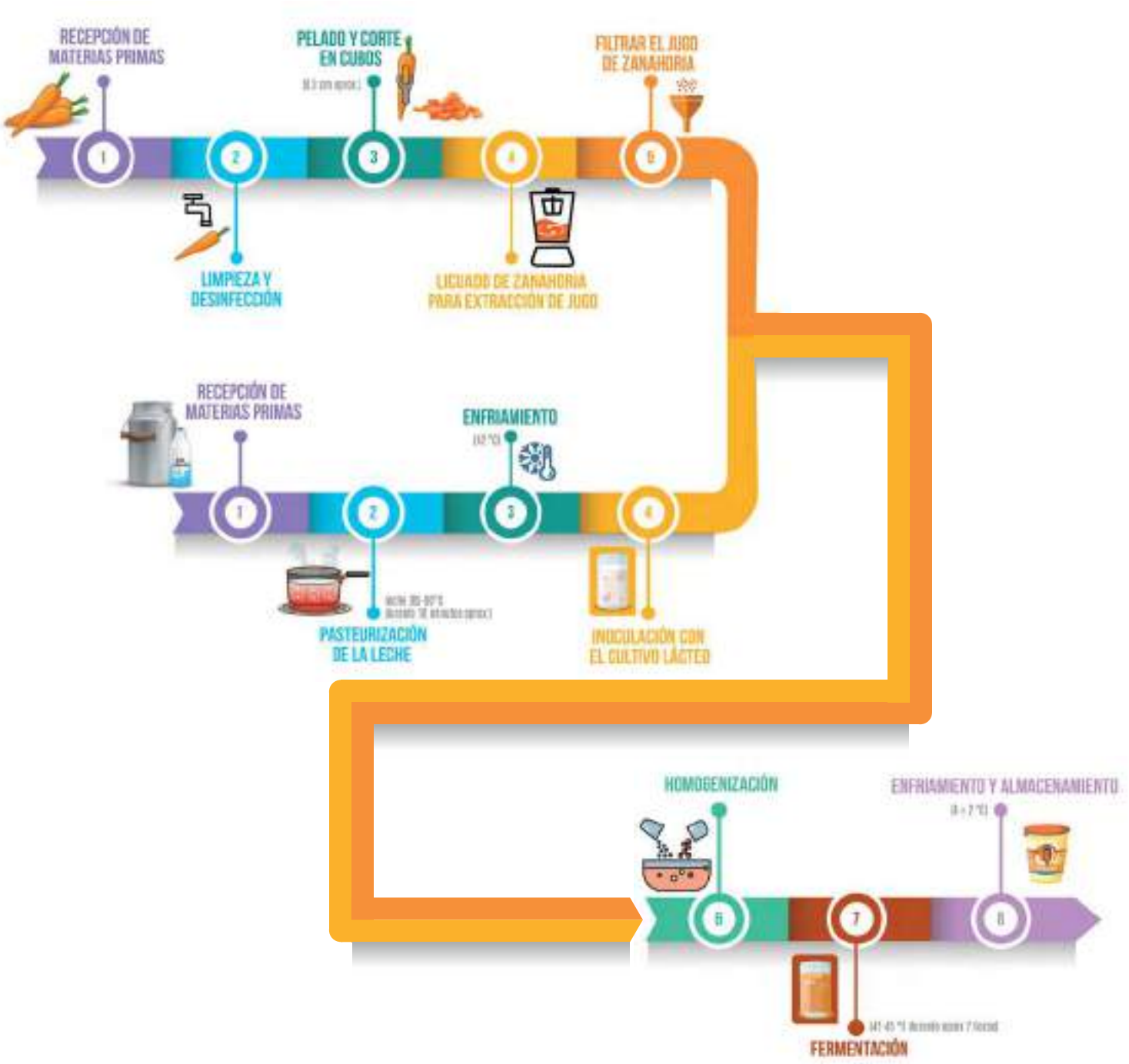


Figura 15.12. Proceso de obtención de yogur de zanahoria.

Fuente: Elaboración propia

Dulces

Los productos dulces suelen ser aceptados y consumidos por gran parte de la comunidad mundial, aunque se ha evidenciado que hoy en día hay mayor conciencia sobre los productos que se consumen, por lo que se han utilizado endulzantes artificiales no calóricos como Stevia, polioles o fibras.

Uno de los dulces que se pueden elaborar utilizando la zanahoria consiste en rebanadas de la hortaliza recubiertas de una mezcla dulce, lo que genera un producto rígido a temperaturas entre 1 y 3 °C. La solución de cubierta puede estar constituida por azúcar, glicol, agua, agentes acidulantes y conservantes (Sharma et al., 2012). La figura 15.13 expone cada una de las etapas para la elaboración de dulces de zanahoria.

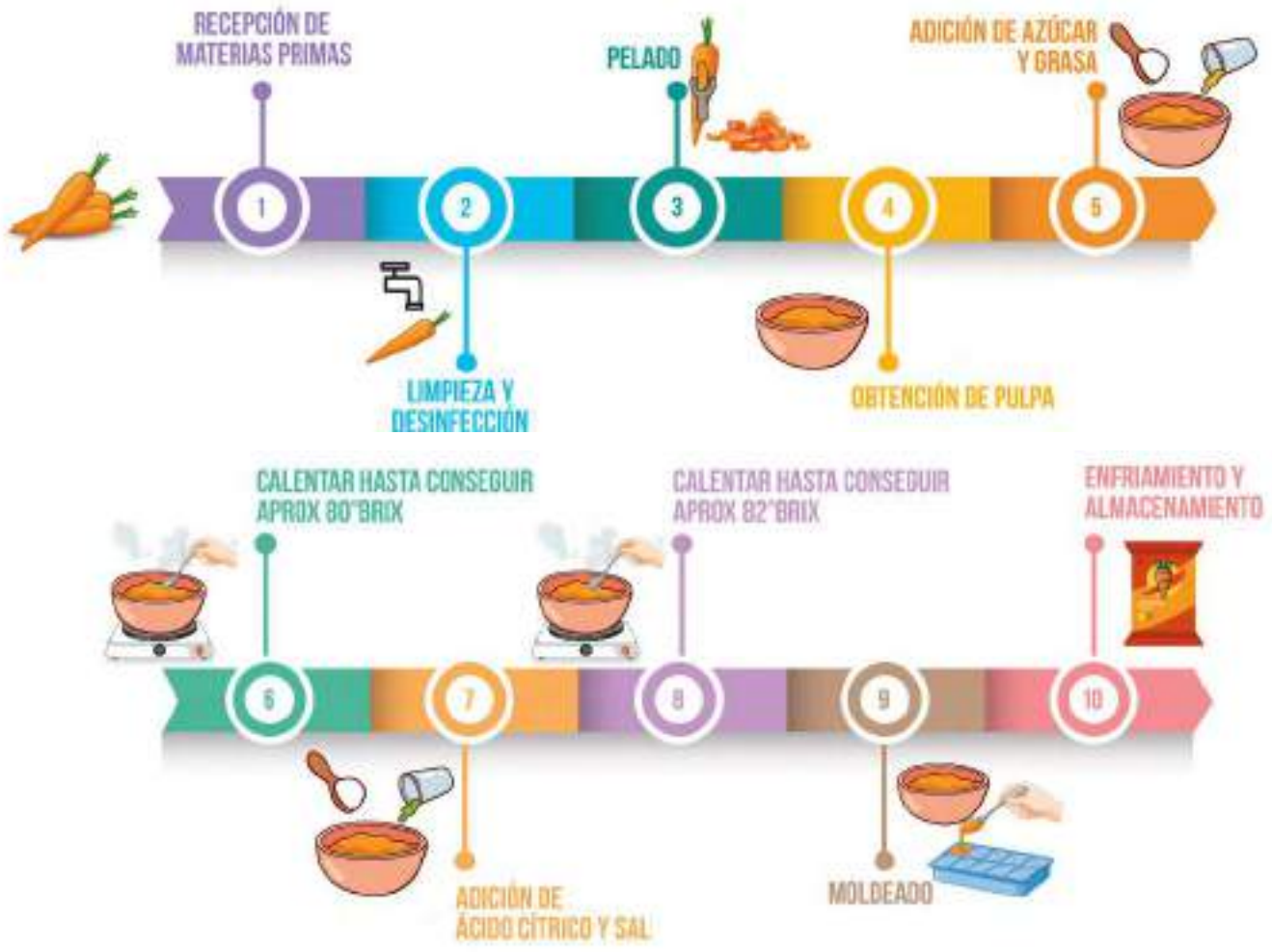
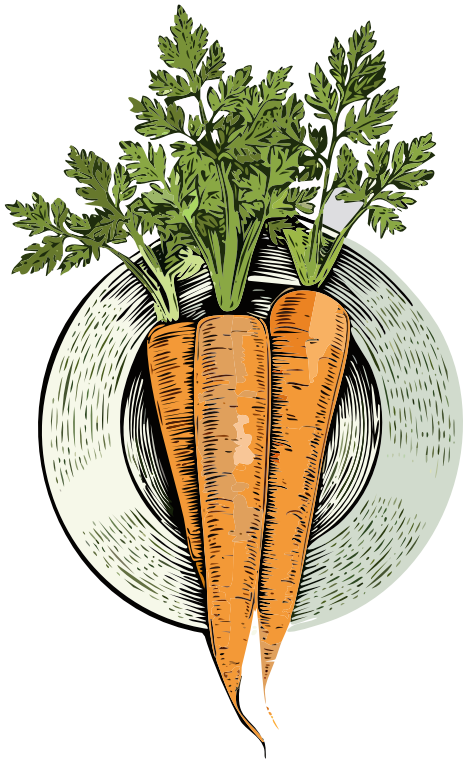


Figura 15.13. Proceso de obtención de dulces de zanahoria.

Fuente: Elaboración propia



Repostería

La zanahoria ha sido ampliamente utilizada en la elaboración de productos de repostería como tortas, muffins y galletas, particularmente en la obtención de harinas y decoración de estos productos. Las tortas de zanahoria son comunes en el norte de India, donde se preparan con zanahoria rallada, azúcar, aceite y leche en polvo, se mezclan estos ingredientes y se hornea a temperaturas cercanas a 150 °C durante alrededor de 30 o 40 minutos, dependiendo del horno que se utilice para su fabricación (Sharma et al., 2012).

Subproductos

Los rendimientos que se consiguen con el procesamiento de jugo de zanahoria usualmente son bajos, ya que gran parte de la materia prima se convierte en pulpa o bagazo (entre 30 y 50 %), lo cual no es lo deseado para ese tipo de bebidas. Sin embargo, gracias a su alto valor nutricional en términos de carotenoides (entre 17 y 35 % de los carotenos de la zanahoria fresca), fibra dietaria y azúcares, el bagazo se está empleando en diversas formulaciones alimenticias como en pasteles, aderezos, galletas con alto contenido de fibra, pan fortificado, bagazo en polvo, entre otros (Sharma et al., 2012).

Productos para alimentación animal

Los *snacks*, alimentos húmedos y concentrados son algunos de los productos de nutrición animal más elaborados con zanahoria. Estos procesamientos usualmente conllevan etapas de molienda, mezclado y empacado, y dependiendo de la vida útil que se espere para el alimento, se pueden utilizar técnicas de conservación como esterilización, pasteurización y emplear empaques con buena barrera como enlatados.

Normativa

Los productos alimenticios de consumo humano en Colombia están regidos por diversas normativas, entre las que destacan:

» Resolución 2674 de 2013: expone todos los requisitos locativos, de equipos, utensilios, personal manipulador, entre otros, a los que se debe dar cumplimiento cuando se fabrica, procesa, prepara, envasa, almacena, transporta, distribuye o comercializa alimentos o materias primas destinados para el consumo humano (Minsalud, 2013a).

» Resolución 5109 de 2005: establece los requisitos que deben cumplir los rótulos y etiquetas de los envases o empaques de alimentos destinados para consumo humano. Entre estos requerimientos se encuentra la presentación clara del nombre del producto alimenticio, la fecha de vencimiento, el lote del producto, la información nutricional, los datos del fabricante, entre otros (Ministerio de la Protección Social, 2005).

» Resolución 810 de 2021 y sus modificaciones (254 de 2023): presenta los requerimientos nutricionales a los que se debe dar cumplimiento cuando se producen, procesan o comercializan productos para la alimentación humana. De manera general, en estas resoluciones se explica cómo debe realizarse la declaración nutricional de los alimentos (tabla nutricional, sellos de advertencia frontal, entre otros) (Minsalud, 2021, 2023).

» Resolución 1407 de 2022: especifica los criterios microbiológicos que deben cumplir los alimentos y bebidas para consumo humano, los análisis que se deben realizar a cada una de las matrices, así como cada uno de los límites aceptables (Minsalud, 2022).

» Resolución 719 de 2015: clasifica los alimentos para consumo humano según el riesgo que representan para la salubridad pública. La normativa dictamina que aquellos alimentos con un riesgo alto para la salud deben contar con un registro sanitario, los productos con un riesgo medio para la comunidad deben contar con un permiso sanitario, mientras que aquellos con un riesgo bajo para la salubridad humana deben disponer de una notificación sanitaria (Minsalud, 2015).

» Resoluciones y normas técnicas específicas: de manera general, en Colombia se cuenta con múltiples resoluciones, decretos y normas técnicas que establecen requerimientos para productos específicos. Por ejemplo, la Resolución 3929 de 2013 establece el reglamento técnico que deben cumplir las frutas y bebidas, zumos, jugos, concentrados o pulpas de frutas (Minsalud, 2013b).

Finalmente, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) establece las normativas que se deben considerar en el momento de la producción, fabricación, envasado o comercialización de productos alimenticios para animales. De manera general, la Resolución 61252 de 2020 establece los requisitos y el procedimiento para la fabricación y envasado de productos alimenticios para animales. Además, se encuentran las acciones para asegurar la calidad e inocuidad de los productos para animales (ICA, 2020).

Para no olvidar...

» Las variedades de zanahorias moradas, naranjas oscuras y rojas son más ricas en carotenoides, antocianinas y compuestos fenólicos, lo que las convierte en insumos ideales para alimentos biofuncionales y diferenciados.

» En alimentación animal, los usos principales de la zanahoria se encuentran en los snacks como galletas y alimentos húmedos como los barf, que se refiere a las dietas a base de alimentos crudos, con carne cruda y que incluyen una porción de verduras, frutas, frutos secos, plantas, aceites, huevos y lácteos. Este tipo de alimentación es considerada más natural y saludable.

» El bagazo de zanahoria puede representar hasta 50 % de la materia prima, que puede ser reutilizado en panificación, aderezos y alimentos para animales, debido a su alto contenido de fibra, carotenoides y azúcares.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas

» Integrar procesos de transformación en la cadena productiva de zanahoria permite reducir pérdidas, diversificar ingresos, fortalecer mercados locales y generar empleo rural no agrícola.

Conclusiones y perspectivas de los autores

» Procesos físicos como el escaldado y el tratamiento con vapor mejoran la conservación del producto, reducen carga microbiana y mantienen estabilidad de compuestos funcionales, si se optimizan adecuadamente. Por ejemplo, escaldar a 80 °C por 6 minutos reduce hasta en 90 % la actividad enzimática perjudicial, aunque tiempos y temperaturas excesivas deterioran los carotenoides.

» Las nuevas tecnologías de conservación como plasma frío, alta presión y fluidos supercríticos permiten preservar mejor los nutrientes de la zanahoria frente a métodos tradicionales. Estas tecnologías no térmicas son eficaces para mantener antioxidantes, textura, color y propiedades sensoriales, aunque su adopción en Colombia aún es incipiente.

» El procesamiento de zanahoria permite la obtención de múltiples productos (jugos, enlatados, deshidratados, dulces, yogures, etc.) con distintos niveles de complejidad técnica y valor agregado. Las investigaciones revelan que la diversificación de productos reduce las pérdidas poscosecha, mejora el aprovechamiento de residuos y responde a distintas demandas del mercado.

» En Colombia, la transformación de la zanahoria en finca o a pequeña escala es limitada debido a la falta de infraestructura, conocimientos técnicos y acceso a tecnologías apropiadas. La mayoría de los productores se limita al mercado de fresco, sin aprovechar las posibilidades de valor agregado que mejoren la rentabilidad y reduzcan pérdidas.

» Las variedades de zanahoria disponibles en Colombia poseen perfiles sensoriales y funcionales diferenciados, lo cual permite diseñar productos de nicho según color, dulzura, textura o propósito funcional. La selección de la variedad adecuada permite desarrollar productos específicos como jugos antioxidantes, harinas fortificadas, *snacks* para mascotas o repostería saludable.

» La zanahoria representa una oportunidad estratégica para desarrollar cadenas agroindustriales sostenibles y bioeconómicas en zonas rurales. Su transformación puede reducir desperdicios, generar empleo no agrícola, diversificar ingresos y estimular la innovación rural en emprendimientos campesinos, familiares o asociativos.

» Formar profesionales y extensionistas con competencias en transformación agroalimentaria es clave para cerrar la brecha entre el potencial productivo y el valor de mercado. Se requiere capacitación en BPM, procesamiento, formulación, normatividad y diseño de productos, para dinamizar la innovación desde el territorio

Referencias

Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA]. (2014). *National Nutrient Database for Standard Reference*. National Agricultural Library (NAL). http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/

Dhingra, D., Miguel, M., Rajput, H., & Patil, R. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Tenchnology*, *49*(3), 255-266. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5

Gómez, L. M., Jaimes, S., & Montes, J. (2012). Evaluación de un producto a base de ácidos orgánicos frente a *E. coli* y *Salmonella* spp., en la desinfección de lechuga fresca. *Revista Lasallista de Investigación*, *9*(2). https://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/339

Gopalan, C., Rama, B. V., & Balasubramanian, S. C. (1991). *Nutritive value of indian foods* (3.ª ed.). National Institute of Nutrition; Indian Council of Medical Research (ICMR). https://dn720406.ca.archive.org/0/items/sochara.nutritivevalueof0000gopa/sochara.nutritivevalueof0000gopa.pdf

Guo, Z., Ren, X., Zhao, J., Jiao, L., & Xu, Y. (2021). Can pets replace children? The interaction effect of pet attachment and subjective socioeconomic status on fertility intention. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(16), 8610. https://doi.org/10.3390/ijerph18168610

Handl, S. (2014). The "BARF" trend-advantages, drawbacks and risks. *Veterinary Focus*, *24*(3), 16-23. https://euvetshop.com/literature/The_BARF_Trend_Advantages_Drawbacks_and_Risks.pdf

Holland, B., Unwin, I. D., & Buss, D. H. (1991). *Vegetables, herbs and spices: fifth supplement to McCance and Widdowson's*. Royal Society of Chemistry.

Howard, F. D., Yamaguchi, M., & MacGillivray, J. H. (1962). *Nutrient composition of fresh California grown vegetables*. University of California.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). *Resolución 61252. "Por medio de la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes e importadores de alimentos para animales, así como los requisitos y el procedimiento para el registro de alimentos para animales y se dictan otras disposiciones".* https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020r61252

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF]. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)*. https://www.icbf.gov.co/system/files/tcac_web.pdf

Jacobo-Velázquez, D., Castellanos-Dohnal, G., Caballero-Mata, P., & Hernández-Brenes, C. (2013). Cambios bioquímicos durante el almacenamiento de puré de aguacate adicionado con antioxidantes naturales y procesado con alta presión hidrostática. *CyTA - Journal of Food*, *11*(4), 379-391. https://doi.org/10.1080/19476337.2013.775185

Kaur, G., Jaiswal, S., Brar, K. S., & Kumar, J. C. (1976). Physico-chemical characteristics of some important varieties of carrot. *Indian Food Packer*, *30*(2) 5-8.

Knez, Ž., Markočič, E., Leitgeb, M., Primožič, M., Knez Hrnčič, M., & Škerget, M. (2014). Industrial applications of supercritical fluids: a review. *Energy*, *77*, 235-243. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.044

Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: a comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, *25*(17), 3809. https://doi.org/10.3390/molecules25173809

Ministerio de la Protección Social. (2005). *Resolución 5109. "Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano"*. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30033974

Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud). (2013a). *Resolución 2674. "Por la cual se reglamenta el artículo 126 del Decreto Ley 019 de 2012 y se dictan otras disposiciones".* https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%202674%20de%202013.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2013b). *Resolución 3929. "Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las frutas y las bebidas con adición de jugo (zumo) o pulpa de fruta o concentrados de fruta, clarificados o no, o la mezcla de estos que se procesen, empaquen, transporten, importen y comercialicen en el territorio nacional".* https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203929%20de%202013.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud). (2015). *Resolución 719. "Por la cual se establece la clasificación de alimentos para consumo humano de acuerdo con el riesgo en salud pública"*. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0719-de-2015.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Resolución 810. "Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados o empacados para consumo humano"*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20810de%202021.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2022). *Resolución 1407. "Por la cual se establecen los criterios microbiológicos que deben cumplir los alimentos y bebidas destinados para consumo humano"*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201407%20de%202022.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud). (2023). *Resolución 254. "Por la cual se corrige un yerro en la Resolución 2492 de 2022, modificatoria de la Resolución 810 de 2021"*. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20254%20de%202023.pdf

National Institutes of Health. (2022). *Vitamin A and carotenoids*. https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminA-Consumer/#:~:text=Carotenoids%20are%20pigments%20that%20give,%2C%20dairy%20products%2C%20and%20eggs

National Research Council. (2006). *Nutrient requirements of dogs and cats*. The National Academies Press.

Nguyen, H. H., & Nguyen, L. T. (2015). Carrot processing. En Y. H. Hui & E. Özgül Evranuz (Eds.), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (2.ª ed., p. 449). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b19252

Nicolle, C., Simon, G., Rock, E., Amouroux, P., & Rémésy, C. (2004). Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *129*(4), 523-529. https://doi.org/10.21273/JASHS.129.4.523

Ockermann, P., Headley, L., Lizio, R., & Hansmann, J. (2021). A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health. *Nutrients*, *13*(8), 2831. https://doi.org/10.3390/nu13082831

Que, F., Hou, X.-L., Wang, G.-L., Xu, Z.-S., Tan, G.-F., Li, T., Wang, Y.-H., Khadr, A., & Xiong, A.-S. (2019). Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, *6*, 69. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0150-6

Riaz, N., Yousaf, Z., Yasmin, Z., Munawar, M., Younas, A., Rashid, M., Aftab, A., Shamsheer, B., Yasin, H., Najeebullah, M., & Simon, P. (2021). Development of carrot nutraceutical products as an alternative supplement for the prevention of nutritional diseases. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 787351. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.787351

Saini, R. K, Prasad, P., Lokesh, V., Shang, X., Shin, J., Keum, Y.-S., & Lee, J.-H. (2022). Carotenoids: dietary sources, extraction, encapsulation, bioavailability, and health benefits—a review of recent advancements. *Antioxidants*, *11*(4), 795. https://doi.org/10.3390/antiox11040795

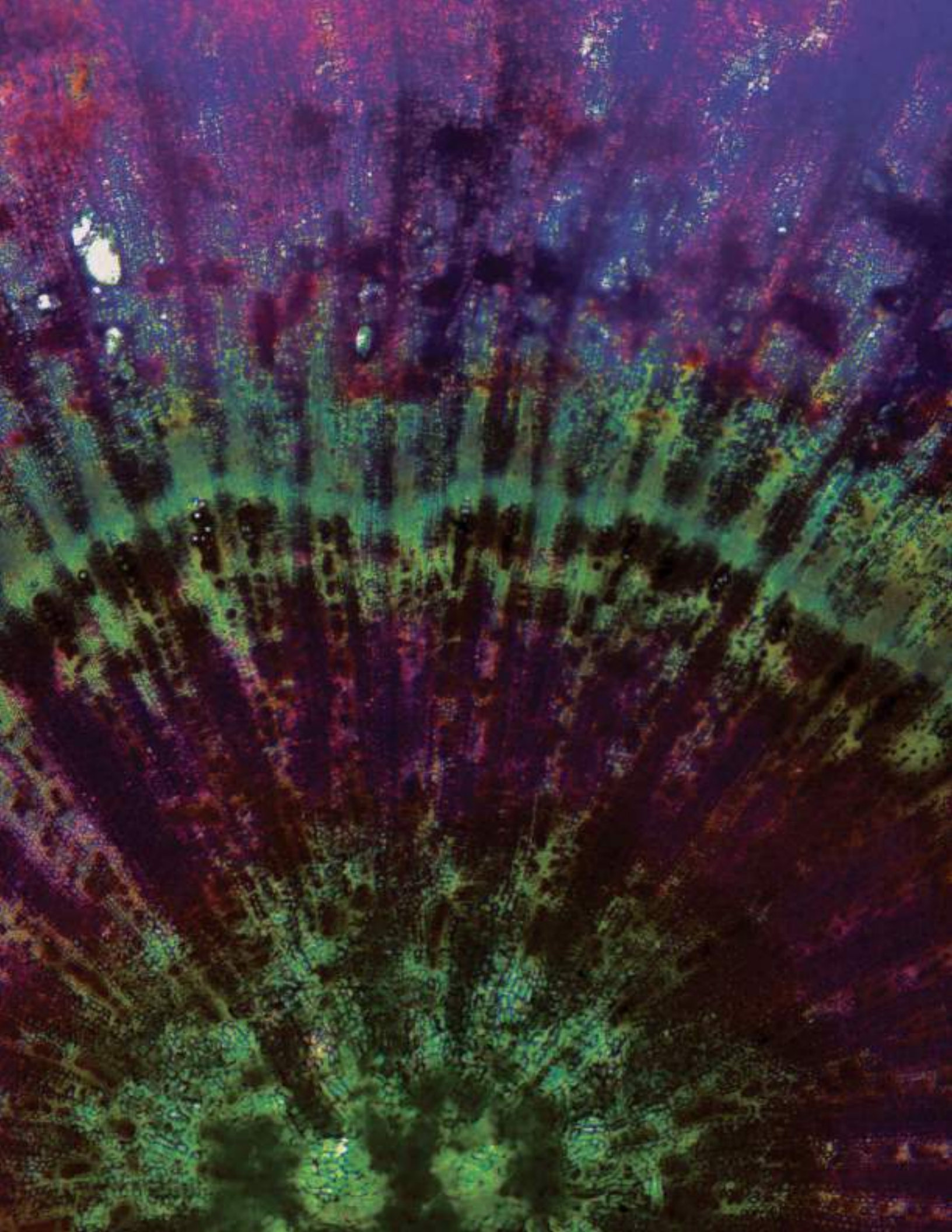
Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(1), 22-32. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7

Sun, M., & Temelli, F. (2006). Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from carrot using canola oil as a continuous co-solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*, *37*(3), 397-488. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.01.008

Sun, T., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food* Chemistry, *57*(10), 4142-4147. https://doi.org/10.1021/jf9001044

Surles, R. L., Weng, N., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2004). Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(11), 3417-3421. https://doi.org/10.1021/jf035472m

Wang, R. X., Nian, W. F., Wu, H. Y., Feng, H. Q., Zhang, K., Zhang, J., Zhu, W. D., Becker, K. H., & Fang, J. (2012). Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. *The European Physical Journal D*, *66*, 276. https://doi.org/10.1140/epjd/e2012-30053-1





Título

Aza-Horia

Técnica

Microscopía de campo claro y campo amplio, agrupando 18 secciones del tejido. Colores propios de la transmisión de luz al tejido.

Autoría

Juan Camilo Orozco Cardona
Paola Andrea Hormaza Martínez
Juan Camilo Henao-Rojas

Descripción

Sección del corte transversal (radial) de la raíz de una zanahoria morada, donde se observan las estructuras de la peridermis, el córtex y las paredes celulares, a través de las cuales se observa el gradiente de pigmentos del centro al exterior.

Capítulo XVI

Aza-Horia, una historia de cotidianidad y obviedad

Isaías Esteban Arcila Parra

Introducción

La zanahoria es una hortaliza ampliamente cultivada alrededor del mundo y reconocida como un ingrediente clásico, infaltable en la mayoría de las cocinas y reconocida por su característica versatilidad. Sin embargo, aunque se considera un alimento de la cotidianidad, muy pocos se preguntan a qué debe su popularidad.

La raíz del nombre

En las primeras ediciones del *Diccionario de la lengua española* en el siglo XVIII se indica que la palabra *zanahoria* puede provenir de una voz arábiga que significa "raíz pajiza". Asimismo, los vascos de la época, al no contar con una diferencia léxica para los colores entre el naranja y el amarillo, denominaron dicha gama como *horia*; así, hay una raíz vasca de la palabra que es *Aza-Horia*, que literalmente "piel-amarilla". Otra variante completa la etimología popular con las palabras *zainhori* y *zanhori*, pudiendo ser interpretado *zain* como "nervio" o "raíz", que al sumarle la palabra *hori* da como resultado "raíz amarilla-anaranjada".

En cuanto a su forma, Pedacius Dioscórides (1563, citado por Stolarczyk & Janick, 2011), uno de los primeros tratadistas de la cocina en el siglo I d.C., describe e ilustra dos variedades: la *Staphylinos agrios*, zanahoria silvestre o de cuerno, debido a su forma, y la *Staphylinos kepeutos*, "zanahoria cultivada". La figura 16.1 muestra ilustraciones de la denominada *Staphylinos kepeutos* o *Staphylinos keras*, con una raíz recta de color naranja intenso y una roseta de hojas muy similar a la zanahoria moderna (figura 16.1). También se representa la variedad *Staphylinos agrios*, una planta en flor con raíces más delgadas y anaranjadas (figura 16.1b), y la variedad *Daucus gingidium* en flor, con una raíz amarilla extremadamente fina (figura 16.1c).

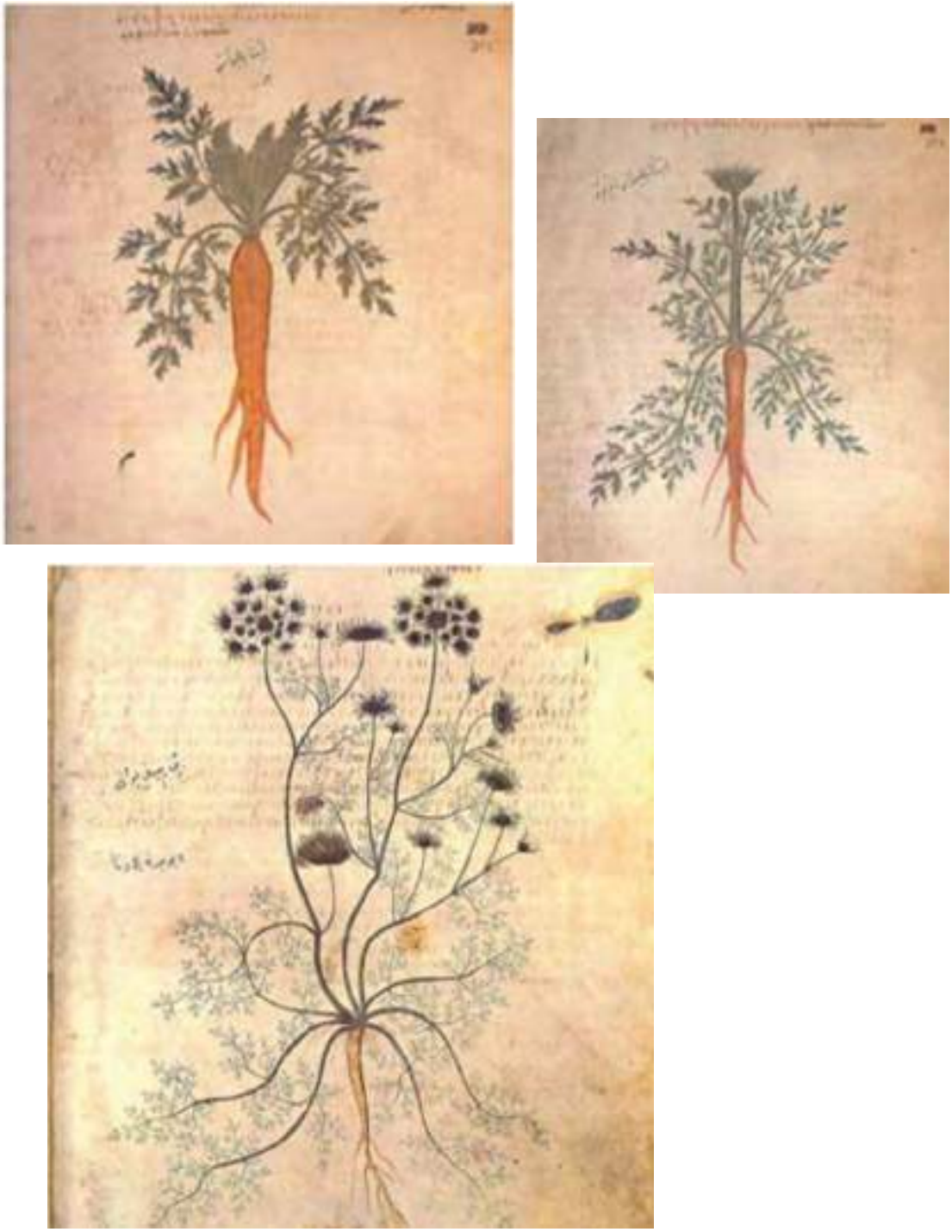


Figura 16.1. Ilustración de zanahorias cultivadas y silvestres. a. *Staphylinos keras,* zanahoria cultivada; b. *Staphylinos agrios*, zanahoria silvestre; c. *Daucus gingidium*, zanahoria silvestre.

Fuente: Stolarczyk y Janick (2011)

Para referirse a su sabor, los griegos empleaban el término *daûkos* en relación con el verbo "quemar", por su sensación remanente picante. En latín se empleó el término *daucus,* y *carōta* y su variante *cariōta*. Mucho más adelante, los franceses la denominarán *carrot*, por el color naranja, y de allí se obtendrá el término *caroteno*, que es el principio activo del color naranja en las zanahorias de este tipo. Los ingleses, por su parte, las nominan *Orange*, al igual que la fruta y algunos apellidos de Europa y los Países Bajos. Este es el punto importante de toda esta diatriba, ya que son las circunstancias históricas que rodean a la Familia Real Holandesa Orange las que le dan a esta hortaliza una marcada y fuerte presencia en la gastronomía.

Domesticación y diversificación

La zanahoria es, posiblemente, una de las hortalizas cultivadas más antiguas del mundo (alrededor de unos 5.000 años); su consumo se remonta a las zanahorias silvestres o salvajes de color blanco o amarillo pálido, domesticadas por primera vez en la zona de la meseta persa, y mencionadas desde el siglo IV en textos sirios. La variedad original no poseía su característico color naranja, el cual apareció cuando los humanos las domesticaron en la antigua Persia y se dispersó en Egipto y Afganistán, llegando a obtener tonos amarillos, rojos, púrpuras, negros con un interior blanco, que llegaron a ser reconocidas por su sabor leñoso y amargo.

Para griegos y romanos, que la denominaban como *karoton,* su gusto resultaba insípido y amargo, de consistencia dura, fibrosa y frágil; sin embargo, las semillas se empleaban como condimento, lo que posibilitó introducirlas, distribuirlas en el territorio y conservarlas en los jardines de los monasterios. En la Edad Media, la zanahoria era común en los jardines arábigo-andaluces, que posteriormente gozarían de popularidad en la expansión musulmana en España.

Una vez domesticadas, las zanahorias se dividieron en dos ramas principales: "el grupo asiático, que se cultivaba alrededor del Himalaya, y el grupo occidental, que crecía principalmente en Oriente Medio y Turquía", como afirma John Stolarczyk, curador del Musée de la Carotte (Museo Mundial de la Zanahoria), quien agrega que es probable que las zanahorias amarillas del grupo occidental mutaran por medio de la siembra selectiva a tonos levemente naranjas (Hariharan, 2023).

Lo anterior lleva a pensar que el marcado color naranja con el cual se asocia actualmente esta hortaliza es el resultado de entrecruzamientos de variedades por parte de los agricultores en el siglo XVI, especialmente holandeses, quienes buscaban un sabor más dulce en comparación con las características gustativas que ofrecía la chirivía; antes de dichos cruces, la zanahoria era más apreciada en esta zona por sus hojas, flores y semillas que por el sabor amargo de su raíz.

Así, al cruzar zanahorias amarillas y rojas, se obtuvo una variedad que no solo sabía mejor que sus predecesoras, sino que era más dulce, jugosa y de color naranja, las cuales se dieron a conocer como zanahorias de naranja larga o de cuerno, y fueron ampliamente distribuidas en Europa.

Ahora bien, a partir de la obtención de la variedad de zanahoria ampliamente difundida a nivel mundial, se creó un folclore popular que establece un vínculo histórico entre la aparición de la zanahoria naranja y la Casa Orange o la Familia Real Holandesa.

Historia sobre su color

"La zanahoria ha pasado al lenguaje común: su color, que evoca a la famosa cabellera rojiza de 'pelo de zanahoria', el joven héroe de Jules Renard, se ha extendido a muchas llamativas melenas" (De Rosamel, 2019, p. 12).

Para el siglo XVI, la Corona española poseía una larga lista de colonias alrededor del mundo, entre ellas los Países Bajos, gobernados por los monarcas Habsburgo. En lo que actualmente es el sur de Francia se encontraba establecida la Casa Orange, a la cabeza de Guillermo, Príncipe de Orange, quien se constituirá como el principal líder de la Rebelión holandesa, que comenzó en 1566 y condujo al reconocimiento formal de una República holandesa autónoma más de 80 años después.

Antes de oficializarse la independencia holandesa de España, Guillermo fue asesinado, posteriormente el trono holandés optó por una monarquía autócrata y sus descendientes ocuparon el trono, por lo que se le atribuyó a Guillermo el mérito de ser el padre fundador del país naciente.

Por aquella época, los agricultores holandeses se encontraban desarrollando los cruces de zanahorias, con el fin de aclimatar y mejorar su sabor, lo que hizo que se extendieran por toda Europa, hasta convertirse en el color estándar de la verdura. En algún punto de esta historia se extendió y popularizó el rumor de que los agricultores holandeses de la época desarrollaron la variedad de la zanahoria naranja como muestra de respeto a la Casa Orange y a Guillermo.

Por muy romántica y pintoresca que sea esta historia, John Stolarczyk afirma que "no hay pruebas documentales de que los holandeses inventaran las zanahorias naranjas para honrar a su familia real" y anota que, aunque el desarrollo y la estabilización de la raíz de zanahoria naranja parecen datar de esa época en los Países Bajos, es poco probable que el homenaje a Guillermo de Orange tuviera algo que ver" (Hariharan, 2023).

Investigadores-historiadores como Stolarczyk & Janick (2011) concuerdan que quienes introdujeron las primeras semillas de zanahoria naranja en Europa fueron comerciantes islámicos que se desplazaban entre la Península ibérica, lo que era el Imperio Otomano y el norte de África. Aproximadamente dos siglos antes de que Guillermo de Orange incitara a la insurrección, estas posturas se encuentran fundamentadas en la descripción de lo que parecieran zanahorias naranjas y púrpuras en España a partir del siglo XIV.

Lo anterior se refuerza con las descripciones del agrónomo y escritor español Alonso de Herrera, que en 1513 describe plenamente a la hortaliza bajo el nombre de *"cenoria"*, mientras que Miquel Agustí (1617) la denomina *"Paftanagues"* y da cuenta de su presencia en jardines y huertos, además de recomendaciones para su cuidado.

Cabe aclarar que todo esto ocurre en el marco de la presencia morisca en el territorio español, junto con la marcada y ampliamente difundida tradición del jardín-huerto por todo el territorio del Al-Ándalus. Al respecto, Santiago Beruete señala que "en los jardines botánicos de las almunias o granjas de recreo se aclimataron muchas especies vegetales provenientes de oriente", como la zanahoria. Esta es una referencia importante, ya que se circunscribe durante y después del periodo de dominación mora, abarcando el mismo espacio de tiempo de aclimatación de la variedad naranja en Holanda.

Una vez se aclimató la variedad naranja, se estableció su comercio junto con otros productos de larga duración, por cuanto la independencia llevó un par de siglos después a que Holanda se constituyera en una potencia agrícola en el continente europeo. Así, la nueva variedad se propagó y prosperó con facilidad en la zona climatológica templada y húmeda de los Países Bajos. "La variedad anaranjada crecía muy bien en los climas y entornos [holandeses], mejor que la púrpura y la amarilla, y era más productiva, estable, uniforme y confiable" (Stolarczyk & Janick, 2011). A ello contribuyó también que hubiera una alta receptividad de la variedad por parte de países como Francia, Alemania e Inglaterra.

Dada su alta demanda en el mercado, el Estado holandés empleó la hortaliza para reforzar el color nacional de la nación en expansión, lo cual sería, quizás, una explicación más lógica del origen de la conexión entre Guillermo de Orange y la zanahoria.

Su difusión en Europa en la Edad Media la puso al alcance de las clases menos favorecidas, dado su parecido con su prima la chirivía (*Pastinaca sativa* L.), una hortaliza de invierno perteneciente a la familia Apiaceae, al igual que la zanahoria, el apio y el perejil, de color blanco a crema, que en apariencia tiene similitudes con la zanahoria, aunque es más dulce y posee un sabor levemente más terroso.

Originaria de Europa y Asia, ampliamente difundida y consumida en el Mediterráneo y el norte de Europa, previo a la diseminación de la zanahoria, la chirivía en estas regiones se constituía como una de las principales fuentes de carbohidratos en la dieta; aunque se puede consumir, cruda era empleada mayoritariamente en sopas, purés y guisos, por su sabor dulce y suave textura.

Entrado el Renacimiento y con el ascenso de la familia Médicis, aparece en escena Catalina de Médicis, quien impone en la corte, por así decirlo, el consumo de legumbres, lo que implica el establecimiento de huertos, la llegada de jardineros y, por supuesto, la contratación de cocineros. Para esta época, chirivías, zanahorias y legumbres en general se consideraban como un aditamento necesario en las sopas de los campesinos, mas no en la mesa del señor feudal o de los cortesanos.

Un siglo más tarde, con la entrada en escena del reinado de Luis XIV, quien solicitaba la presencia de frutas y legumbres todo el año, aparece el célebre abogado, agrónomo y jardinero Jean-Baptiste de La Quintinie, encargado de los huertos en el palacio de Versalles, aunque en su obra póstuma, *Instruction pour les jardins fruitiers et potagers* (1690), no hace referencia alguna a la zanahoria naranja que conocemos en la actualidad, debido a lo que parece una

predilección de Luis hacia las zanahorias pálidas, por su cercanía con la chirivía y a que el proceso de mejora, aclimatación y distribución aún se encontraba en pleno desarrollo.

La introducción de la zanahoria en Europa durante el siglo XVII fue paulatina, pero su entrada triunfal en las mesas aristocráticas se da en el siglo XVIII con la regencia de Felipe de Orleáns, quien ofrecía a amigos y visitantes la posibilidad de descubrir legumbres raras, entre ellas la zanahoria naranja, que para la época ya gozaba de cierta popularidad.

Pese al esfuerzo de mejorar la especie, se mantuvieron las variedades originales, presentándose cambios en la forma, tamaño y coloración, correspondiendo a la tradición cultural del lugar de diversificación, que con el paso del tiempo dio lugar a una mejora de su sabor.

Es necesario aclarar que la coloración de esta hortaliza no solo tiene una finalidad estética, desde el ámbito biológico y culinario, sino que las variedades también poseen diversas características nutrimentales según su tonalidad; así, la zanahoria púrpura es rica en antocianinas, con propiedades antioxidantes; la zanahoria amarilla es rica en xantofilas, con propiedades antioxidantes; la zanahoria blanca es rica en fitoquímicos, con efectos antiinflamatorios; la zanahoria púrpura a negra contiene antocianinas y compuestos fenólicos, que ayudan a reducir la presión arterial y disminuyen los trastornos neurodegenerativos, como se ha mencionado en capítulos previos.

La zanahoria naranja tiene una fuerte presencia en casi todas las culturas culinarias que la conocen, habiendo claras preferencias y marcadas diferencias según el tipo de cocina; así pues, mientras que en el continente asiático hay una predilección por las zanahorias de rojo intenso a violeta, en Estados Unidos hay una predilección por la variedad Imperator, mayoritariamente empleadas crudas en ensaladas y aperitivos, por su gusto y su textura crujiente, largas y delgadas, con un extremo cónico y un tono naranja profundo.

En Gran Bretaña hay un marcado consumo de la variedad Chantenay, cuyo uso se enfatiza en asados y estofados, por su sabor terroso profundo, cortas y anchas con un extremo cónico y un color rojizo-naranja. En Francia la preferencia va por la variedad Nantes, de consumo directo o en crudo o ligeramente cocida, de textura crujiente, dulce y tierna, de forma cilíndrica y punta contundente.

Otras variedades de presencia generalizada en la cocina son la Danvers, considerada la zanahoria naranja por excelencia, ideal para cocinar y en la extracción de jugo, que se caracteriza por una forma cónica y por poseer una piel suave, y las Mini o baby, empleadas para decorar, en ensaladas crudas o de consumo directo, de sabor dulce, pequeñas y redondas, con un color naranja brillante.

Aunque la obtención de variedad naranja posibilitó su diversificación, esta universalización por un color, gusto y sabor específico desembocó en una obligada estandarización y apreciación por dicha variedad, estableciendo tipos específicos de zanahorias naranjas apreciadas y empleadas en la cocina europea según fines específicos y una marcada disminución de gusto y consumo por sus diversas variedades.

En la gastronomía

En Gran Bretaña, las recetas de pasteles de zanahoria comenzaron a aparecer en los libros de cocina de los siglos XVIII y XIX, aunque el auge por el uso de zanahorias en los postres resurgió en el Reino Unido y tomó mayor interés durante la Segunda Guerra Mundial, cuando el suministro de azúcar escaseó. Así, las raíces que se cultivaban en los huertos familiares, como zanahoria, patata, remolacha, chirivía y nabo, se convirtieron en una alternativa al azúcar para la elaboración de postres.

El pastel de zanahoria, que inicialmente surge como una solución para apalear el hambre y saciar las ansias de algo dulce, se transforma en un artículo novedoso, pero al popularizarse pasa a ser un postre corriente. Sin embargo, más adelante, en la década de 1960, empieza a verse en las estanterías de restaurantes y cafeterías de Estados Unidos.

Conclusiones y perspectivas del autor

» La homogeneización del color naranja ha desplazado otras variedades de zanahoria (moradas, blancas, rojas y negras), lo que ha reducido la diversidad culinaria, agrícola y genética de la especie. Esta situación puede conllevar una pérdida para la seguridad alimentaria, el patrimonio biocultural y la innovación gastronómica.

» La riqueza terminológica de la palabra "zanahoria" revela una construcción cultural compleja, influenciada por raíces árabes, vascas, latinas, francesas e inglesas. Este hallazgo etimológico subraya el papel de la zanahoria como objeto lingüístico, histórico y alimentario profundamente arraigado en diversas culturas.

» Las fuentes históricas —como el libro ilustrado de Dioscórides o los tratados agrícolas de Herrera y Agustí— documentan la existencia de múltiples variedades de zanahoria cultivada desde el siglo I d.C., incluyendo formas silvestres y pigmentadas. Estas evidencias contribuyen al rescate del patrimonio agro biodiverso y a la validación de saberes tradicionales agrícolas.

» Comprender el origen de la zanahoria favorece una agricultura más consciente, diversa y sostenible, en tanto que reconocer y revalorar la historia evolutiva y cultural de la zanahoria puede fortalecer los procesos de extensión rural, especialmente en programas de rescate de variedades nativas y consumo informado.

Para no olvidar...



» La zanahoria es una de las hortalizas más antiguas del mundo y su domesticación ocurrió hace más de 5.000 años en la meseta persa, a partir de raíces silvestres blancas y amarillas. Esto evidencia una trayectoria milenaria de coevolución con los sistemas agrícolas y humanos, que permite comprender su amplia adaptación ecológica y su diversidad fenotípica.

» El color naranja de la zanahoria no es natural, es una creación agrícola de la Europa del siglo XVI, especialmente en los Países Bajos, cuyos productores cruzaron variedades rojas y amarillas para obtener raíces más dulces, jugosas y anaranjadas.

» Las variedades de zanahoria son preferidas según regiones y tradiciones culinarias, mostrando un importante potencial de diferenciación de mercado. Por ejemplo, la Chantenay es valorada en Reino Unido para asados, la Nantes en Francia para consumo crudo y la Imperator en EE. UU. para *snacks* y jugos.

» Durante la Segunda Guerra Mundial, la zanahoria fue clave en épocas de escasez: endulzó postres cuando no había azúcar, se usó como sustituto en pasteles, galletas y dulces, que demuestra su versatilidad en momentos de crisis alimentaria.

Referencias

Agustí, M. (1617). *Secrets d'agricultura*. Imprenta de los Herederos de Juan Jolis.

Beruete, S. (2019). *Jardinosofía. Una historia filosófica de los jardines*. Titivillus.

Cartañà, J. (2005). *Agronomía y geoponía*. Universidad de Barcelona.

De Rosamel, C. (2019). *Las zanahorias: cultivo, cuidado y consejos prácticos*. De Vecchi.

Dioscórides, P. (1563). *Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos*. Mathias Gast.

Hariharan, A. (2023, marzo 16). *Are carrots naturally orange? despite what some say, they are*. Daily Meal. https://www.thedailymeal.com/1230461/are-carrots-naturally-orange-despite-what-some-say-they-are/

Quintinie, J. (1688) *Instruction pour les jardins fruitiers et potagers avec un traité des orangers, et des réfléxions sur l'agriculture*. Compagnie des Libraires. https://archive.org/details/A039a462/page/n31/mode/2up

Stolarczyk, J., & Janick, J. (2011). Carrot: history and iconography. *Chronica Horticulturae*, *51*(2), 13-18. https://ishs.org/app/uploads/2025/09/ch5102.pdf



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas



Conclusiones generales

Estimado lector, a continuación usted encontrará las conclusiones globales de la obra, las cuales comprenderán los aspectos más relevantes del trabajo desarrollado por los diferentes investigadores de Agrosavia desde el momento de la selección del material de zanahoria a sembrar, hasta las rutas de innovación hacia la agroindustria de esta importante hortaliza.

» El cultivo de zanahoria en Colombia tiene un alto potencial de crecimiento sustentado en eficiencia productiva, especialmente en zonas como Antioquia; sin embargo, se requiere articular políticas territoriales que fomenten tecnificación, acceso a infraestructura y apertura de mercados internacionales con criterios de calidad e inocuidad.

» Fortalecer las capacidades técnicas del productor mediante modelos de producción integrados con apropiación social del conocimiento es fundamental para la sostenibilidad del sistema productivo de zanahoria, en especial frente al reto de la inocuidad, el uso racional de insumos y la permanencia generacional en el campo.

» La zanahoria constituye un modelo genético ejemplar para entender la interacción entre evolución natural, domesticación mediada por el ser humano y biotecnología moderna. Su estudio revela no solo una rica historia de diversificación genética y adaptativa, sino también un enorme potencial para el desarrollo de variedades más nutritivas,



Foto: Paola Andrea Hormaza Martínez

resilientes y sostenibles usando métodos de última generación. Integrar este conocimiento en estrategias de conservación, mejoramiento y política agrícola es clave para enfrentar los desafíos alimentarios y ambientales del siglo XXI.

» La diversidad morfológica, genética y adaptativa de la zanahoria posiciona este cultivo como un recurso estratégico para el mejoramiento participativo y la investigación botánica. Su origen cultural y filogenético ofrece una base sólida para la selección de variedades adaptadas y diferenciadas.

» La dependencia de semilla importada en Colombia refleja una limitación estructural del sistema productivo. Por lo anterior, es importante fomentar las capacidades de los productores nacionales en evaluación varietal y manejo agronómico adaptado para avanzar en autonomía tecnológica y sostenibilidad productiva.

» Un manejo agronómico eficiente, sustentado en diagnóstico, planeación y adaptación local, marca la diferencia entre un cultivo rentable y uno vulnerable. La capacitación técnica continua y los esquemas de manejo diferenciados, según el tipo de productor, son importantes para garantizar sostenibilidad.

» El capítulo sobre la fisiología de la zanahoria Bangor F1 en el Bosque Húmedo Montano Bajo del Oriente antioqueño evidencia que el conocimiento detallado del crecimiento, desarrollo y requerimientos térmicos del cultivo permite definir con precisión el momento óptimo de cosecha y orientar el manejo agronómico en cada etapa fenológica. Esta información resulta clave para técnicos y productores, debido a que ofrece herramientas concretas tendientes a mejorar la eficiencia productiva, optimizar la calidad del producto final y adaptar las prácticas de manejo a las condiciones locales, contribuyendo así al fortalecimiento técnico de la cadena de valor de la zanahoria en Colombia.

» El manejo eficiente del recurso hídrico en las prácticas técnicas del riego y drenaje debe considerarse como una estrategia agronómica central. Por lo anterior, es neurálgico incorporar tecnologías accesibles, basadas en indicadores físicos del suelo, que pueden reducir pérdidas, mejorar calidad y aumentar la resiliencia productiva ante el cambio climático.

» El manejo integrado de enfermedades en zanahoria exige una estrategia preventiva basada en monitoreo, prácticas culturales, uso de bioinsumos y semillas sanas; de esta forma, se puede reducir la dependencia de químicos y garantizar un producto inocuo, competitivo y sostenible.

» La mayoría de los insectos y artrópodos observados en el cultivo de zanahoria no representan plagas económicamente importantes, salvo algunos lepidópteros barrenadores; por esto, el conocimiento del agroecosistema permite identificar el papel de insectos benéficos y ajustar el manejo con base en monitoreo, para fomentar el control biológico y evitar aplicaciones innecesarias de productos de síntesis química, lo cual finalmente favorece un agroecosistema equilibrado.

» Las buenas prácticas agrícolas (BPA) son una herramienta estratégica para el acceso a mercados, mejora de la inocuidad y sostenibilidad del cultivo. Su adopción requiere de infraestructura mínima en finca, documentación ordenada y formación técnica continua para cumplir estándares de calidad y responsabilidad social.

» Las pérdidas poscosecha en zanahoria son altas y evitables, al intervenir con infraestructura adecuada, prácticas de cosecha y manejo poscosecha apropiadas, así como transporte higiénico que permite conservar calidad e inocuidad, aumentando la eficiencia y la competitividad del sistema.

» El fortalecimiento de capacidades por parte del productor en gestión técnica y financiera es fundamental para la sostenibilidad del cultivo de zanahoria; por eso, llevar registros, analizar riesgos y adoptar decisiones informadas permite pasar de una agricultura empírica a una basada en datos y análisis económico.

» La zanahoria y sus residuos tienen un alto potencial para aplicaciones cosméticas, gracias a su riqueza en compuestos bioactivos. Valorizar estos subproductos representa una oportunidad económica, ambiental e industrial, en línea con la bioeconomía y la sostenibilidad.

» La transformación agroindustrial de la zanahoria es una alternativa viable para reducir pérdidas, diversificar ingresos y promover encadenamientos productivos. Su implementación requiere formación técnica, acceso a tecnologías adecuadas y un enfoque territorial de innovación rural.

» Reconocer la historia cultural, lingüística y biológica de la zanahoria fortalece la identidad agrícola, fomenta la conservación de variedades tradicionales y abre oportunidades para la innovación gastronómica y educativa basada en la agrobiodiversidad.



Consulte el

Catálogo de materiales y excedentes de zanahoria con calidad diferencial para la bioeconomía del Oriente antioqueño

Conozca el recetario

Desde la raíz. Cocina singular: creaciones a base de zanahorias de la agrobiodiversidad presente en el Oriente antioqueño



Autoría

Albeiro de Jesús Macías Vivares

Correo: amacias@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1178-4843

Bachiller agrícola, vinculado a AGROSAVIA desde 1994 como asistente de investigación, con experiencia en desarrollo de trabajos de investigación en el área de fitopatología bajo condiciones de laboratorio, invernadero y campo, especialmente en el montaje, evaluación y seguimiento a los experimentos con el acompañamiento de los especialistas del área. Preparación de medios simples y modificados para diagnóstico y estudios biológicos de enfermedades en vegetales. Manejo de ensayos de investigación en campo, toma y registro de información. Adscrito a la Red de Frutales de AGROSAVIA, C. I. La Selva.

Andrés Javier Cortés Vera

Correo: ancortesv@unal.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4178-0675

Biólogo, profesor asociado en Genética Forestal en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. PhD en Genética Vegetal de la Uppsala University y biólogo (BSc Hons, MSc) de la Universidad de los Andes. Su experiencia investigativa incluye actividades desarrolladas en el International Center for Tropical Agriculture (CGIAR-CIAT), la University of Fribourg, the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL-SLF), The Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) y AGROSAVIA. Su principal interés es investigar el potencial adaptativo genético en árboles y plantas de importancia agroecológica mediante el uso de herramientas genómicas, evolutivas y ecológicas. En particular, ha explorado la herencia mediada por portainjertos en aguacate y cacao, la adaptación genética al cambio climático en especies de sauce, la tolerancia a estrés abiótico y la diversidad genética en fríjol, así como la diversificación adaptativa en distintos linajes vegetales presentes en el páramo, un ecosistema de rápida evolución que provee recursos hídricos fundamentales para el Neotrópico.

Andrés Felipe Vega Baquero

Correo: andres.vega@udea.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0262-4143

Ingeniero químico de la Universidad de Antioquia y especialita en Eco-Eficiencia Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Posee una sólida trayectoria profesional en el desarrollo e implementación de proyectos de investigación orientados a la valorización de subproductos industriales, mediante estrategias innovadoras de

economía circular y metodologías de análisis de ciclo de vida para evaluar impactos ambientales. Se ha desempeñado como gestor de proyectos, destacándose en la búsqueda, formulación y ejecución de iniciativas tanto en el sector público como en el privado, así como en la creación de redes de valor estratégicas, e identificación y obtención de fuentes de financiación para fomentar la sostenibilidad industrial. Actualmente, cursa el Máster en Tecnologías y Gestión para la Economía Circular bajo el programa Erasmus Mundus, ampliando su perspectiva global y fortaleciendo su capacidad para desarrollar soluciones avanzadas en el ámbito de la sostenibilidad

Ángela María Castaño Marín

Correo: amcastano@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7190-9412

Ingeniera agrónoma, doctora en Ciencias Ambientales con enfoque en Micrometeorología y Ecofisiología. Ha trabajado en la determinación de la eficiencia productiva de cultivos, eficiencia en uso del agua y evaluación de respuesta ecofisiológica al estrés abiótico en algunas especies perennes y de ciclo corto. Ha realizado estudios que involucran la medición de balance de carbono y el uso consuntivo del agua por cultivos. Ha liderado proyectos de investigación que derivan productos como sistemas de información agroclimática y modelos de cultivos. Su enfoque incluye gestión del riesgo agroclimático a través de generación de herramientas codiseñadas con agricultores. Actualmente, se desempeña como Investigador PhD de AGROSAVIA, C. I. La Selva.

Carlos Mario García

Correo: carlosmgp11@hotmail.com

Ingeniero químico, especialista en Química Orgánica. Experiencia investigativa en tratamiento de aguas residuales y tecnologías avanzadas de oxidación. Actualmente, trabaja en el fondo adaptación en proyectos de adaptación para el cambio climático en la región de La Mojana, estructurando proyectos enfocados en la recuperación de las dinámicas hídricas, rehabilitación ecológica, reconversión productiva, saneamiento básico y calidad del agua.

Carolina Ortiz Muñoz

Correo: cortizm@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5239-6137

Ingeniera agrónoma con énfasis en Entomología y Producción de Cultivos del Instituto Universitario de La Paz, y candidata a magíster en Ciencias - Entomología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Ha trabajado en manejo técnico y extensionismo para cultivos perennes como cacao, café y palma de aceite. Actualmente es profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA, donde colabora con los Bancos de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura de Colombia, y la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas, además de formar parte del grupo de investigación Sistemas Agrícolas del Trópico.

Carolina Zuluaga Mejía

Correo: czuluaga@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3890-0701

Ingeniera agrícola con especialización y maestría en gerencia de proyectos, con más de siete años de experiencia en el sector agropecuario. Ha liderado la formulación y ejecución de proyectos de distritos de riego orientados a pequeños productores. Durante los últimos cinco años ha estado involucrada en la coordinación de actividades experimentales y en la formulación de iniciativas de I+D+i. Su experiencia incluye la evaluación financiera de proyectos, consolidación y análisis de datos, y la estandarización de técnicas de investigación, contribuyendo a la generación de soluciones innovadoras para el desarrollo rural.

Cristian Domínguez Pulgarín

Correo: cdominguez@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-4782-1032

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia. Trabajó en proyectos de investigación asociados a la fitopatología y manejo productivo de hortalizas y frutales con la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y AGROSAVIA C. I. Tibaitata y C. I. La Selva. Se encuentra vinculado a AGROSAVIA como profesional de apoyo a la investigación desde 2019 en la red de hortalizas y plantas aromáticas, donde ha trabajado en proyectos de investigación y transferencia del conocimiento asociados al manejo de sistemas productivos como fríjol, cebolla, zanahoria y ají.

Edison Osorio

Correo: edison.osorio@udea.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9821-3420

Químico farmacéutico y magíster de la Universidad de Antioquia, y doctor en Farmacia de la Universidad de Barcelona. Actualmente, es profesor titular e investigador de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia, y coordinador del Grupo de Investigación en Sustancias Bioactivas de la misma institución. Sus áreas de experticia están relacionadas con el análisis químico y metabólico de productos naturales y matrices biológicas, la funcionalidad de sustancias bioactivas y nutrientes, así como con el desarrollo de sustancias valorizadas para la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y el sector agroindustrial. Cuenta con 25 años de experiencia como docente e investigador, más de 70 publicaciones escritas en revistas internacionales indexadas y más de 12 tesis de maestría y doctorado dirigidas.

Germán Franco

Correo: jffrancob@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0281-8135

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas, especialista en Poscosecha de Vegetales Perecederos de la Universidad del Quindío y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, con área de profundización en fisiología en poscosecha. Trabajó durante 36 años como investigador en frutales y hortalizas-aromáticas en ICA - Corpoica - AGROSAVIA.

Jaime Darío Posada Rúa

Correo: jprua@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8042-9242

Ingeniero agrónomo con experiencia en microbiología y biología molecular, adscrito al grupo de investigación Biotecnología Microbiana de la Universidad Nacional, desempeñándose como estudiante auxiliar en periodo de formación en los laboratorios de microbiología industrial y fitotecnia tropical, realizando identificación y caracterización de virus en diferentes cultivos, además de la evaluación del efecto de elicitores en la expresión de genes de resistencia a estrés biótico en cultivos de frutales de clima frío y frío moderado. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación en el C. I. La Selva de AGROSAVIA, donde apoya la evaluación del comportamiento ecofisiológico de cultivos perennes y transitorios, así como las pruebas de evaluación agronómica de diferentes accesiones de hortalizas para la determinación de características deseables para el mercado en fresco e industrial en Colombia.

Jaison Martínez Saldarriaga

Correo: jmartinezs@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4314-4384

Ingeniero biológico con una línea de profundización en alimentos y estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA desde la transformación de matrices, generación de prototipos, aprovechamiento de residuos y agregación de valor, con un enfoque en la generación de soluciones basadas en la naturaleza y bajo los principios de la bioeconomía y la economía circular; actualmente pertenece a la Red de Innovación de Hortalizas para el C. I. La Selva.

Jeanine Kathleen Peñaloza-Figueroa

Correo: jpenalozaf@unal.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2934-749X

Ingeniera de alimentos, ingeniera mecánica, magíster en Innovación Alimentaria y Nutrición y Doctora en Ingeniería - Sistemas Energéticos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Actualmente, se desempeña como investigadora de extractos antioxidantes y bioactivos en la empresa Tecnas S.A. Bic, con experiencia de 19 años en investigación básica y aplicada. Su experiencia se basa en la gestión de proyectos, análisis estadístico, vida útil de alimentos, microencapsulación de componentes activos, extracción de colorantes naturales, modelamiento matemático y formulación/extracción de compuestos antioxidantes y bioactivos dirigidos para la industria de alimentos.

Jorge Eliécer Jaramillo Noreña

Correo: jjaramillo.jorge@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2515-5706

Ingeniero agrónomo y magíster en Entomología de la Universidad Nacional de Colombia

sede Medellín. Fue investigador en AGROSAVIA, donde lideró proyectos de investigación y transferencia de tecnología en alianza con otras instituciones, que permitieron validar y socializar investigación aplicada y participativa sobre producción artesanal de semillas de hortalizas, buenas prácticas agrícolas (BPA) y producción limpia de hortalizas. Experto en evaluación de materiales hortícolas importados y construcción de modelos tecnológicos compuestos por recomendaciones técnicas y agronómicas para el cultivo competitivo y sostenible de hortalizas bajo condiciones protegidas y a campo abierto.

José Antonio Rubiano Rodríguez

Correo electrónico: jrubiano@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2145-4162

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, magíster en Ciencias - Protección de Cultivos de la Universidad de Puerto Rico (Recinto de Mayagüez) y doctor en Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca. Ha sido docente en la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Utuado, y en la Universidad del Pacífico, en Buenaventura. Es investigador de AGROSAVIA desde noviembre de 2013, en los centros de investigación Motilonia y La Selva, donde ha sido coinvestigador en más de quince proyectos. Tiene experiencia de más de veinticinco años en manejo integrado de plagas agrícolas, con énfasis en control biológico. Tiene alrededor de 50 publicaciones entre artículos científicos, cartillas, capítulos de libro y ponencias en congresos.

Juan Camilo Henao-Rojas

Correo: jhenao@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0007-6809

Investigador máster sénior del C. I. La Selva de AGROSAVIA. Ingeniero de alimentos, magíster en Ingeniería de Alimentos con énfasis en Biotecnología de la Universidad de Caldas y candidato a doctor en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia. Tiene experiencia en ingeniería bioquímica, biotecnología, análisis de datos, cosecha, poscosecha y generación de valor agregado a partir de biodiversidad, bioprospección, productos naturales y sustancias bioactivas. Ha sido investigador y consultor en empresas públicas y privadas en ciencia, tecnología, innovación, bioeconomía y aplicaciones multiómicas.

Isaías Esteban Arcila Parra

Correo: isaias.arcila@gmail.com

Coordinador del pregrado de Ciencias Culinarias de la Universidad de Antioquia, licenciado en Artes Plásticas de la Universidad de Antioquia, cocinero, artista plástico e investigador de patrimonio culinario colombiano, con amplia experiencia en trabajo de investigación de campo y con comunidades. Se dedica a la investigación y enseñanza del patrimonio alimentario material e inmaterial de la cocina colombiana. Ha publicado textos en revistas, periódicos y libros con enfoque en patrimonio material e inmaterial, historia y tradición colombiana. Es miembro del Colegio de Estudios Socioculturales de la Alimentación y las Cocinas Colombianas (CE-

SAC) y docente de cocina con experiencia en áreas teórico-prácticas. Cocinero con reconocimiento en el sector gastronómico y de eventos culturales. En 2015 publicó el libro *Las cocinas rurales: un retrato de la vida Carmelitana*, reconocido con el Estímulo al Talento Creativo de la Gobernación de Antioquia. Ha participado como investigador y exponente en diversos proyectos y eventos del Ministerio de Cultura en convenio con la fundación Tridha, además de ser jurado del Premio Nacional a las Cocinas Tradicionales de Colombia y organizador de eventos como el I Festival de Músicas y Cocinas Tradicionales en El Carmen de Viboral. Durante más de ocho años lideró un proyecto enfocado en la pedagogía alimentaria con la realización de talleres dirigidos a población infantil y juvenil. En 2018 obtuvo una mención de honor por parte de la Universidad de Antioquia por su trabajo de grado "La cocina tradicional como método educativo para la enseñanza de Artes en Básica Primaria".

Karent Bravo

Correo: karen.bravo@udea.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5851-0180

Química farmacéutica, magíster en Biología y PhD en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia. Actualmente, se desempeña como docente de cátedra de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias de la Universidad de Antioquia en materias prácticas y de alto componente investigativo. Coordinadora de los servicios de extensión y de la línea de investigación en Bioactividad del Grupo de Investigación en Sustancias Bioactivas - GISB. Cuenta con amplia experiencia en investigación en la evaluación y validación del potencial biológico de compuestos bioactivos de origen vegetal mediante técnicas *in vitro* y en la caracterización química de productos naturales.

Karen Lorena Ballestas-Álvarez

Correo: kballesta@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4580-4120

Profesional en Biología de la Universidad de Córdoba y candidata a magíster en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Tiene experiencia en microbiología agrícola, biocontrol de fitopatógenos, uso de microorganismos para la gestión sostenible de plagas agrícolas, técnicas de aislamiento, cultivo y caracterización de microorganismos entomopatógenos, desarrollo de prototipos biofertilizantes a partir de bacterias promotoras de crecimiento vegetal. Se desempeña en AGROSAVIA como profesional de apoyo a la investigación en la red de hortalizas y plantas aromáticas.

Lucas Esteban Cano Gallego

Correo: lcanog@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2819-9694

Profesional en Agronomía y Zootecnia con maestría en Ciencias Agrarias y énfasis en Fisiología de la Producción Vegetal. Investigador master asociado desde 2010 a AGROSAVIA, donde se desempeña en la ejecución de proyectos de investigación en frutales de clima frío y frío moderado, hortalizas, pastos y aromáticas, en los cuales se ha avanzado en la identificación del comportamiento ecofisiológico de especies de interés económico de la región, con miras en cultivos adaptados a las condiciones cambiantes de clima y suelo, además de la tolerancia y resistencia a factores bióticos y abióticos.

Luis Alfonso Salazar-Hoyos

Correo: alfonso.salazar@udea.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6799-5431

Ingeniero químico de la Universidad de Antioquia (Colombia) y doctor en Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral (Argentina). Su trayectoria se centra en áreas de I+D+i, especialmente en investigación aplicada del sector agroalimentario, con énfasis en el desarrollo y mejoramiento de productos, el escalamiento de procesos y la seguridad alimentaria. Ha trabajado como investigador en organismos públicos y privados de carácter nacional e internacional, liderando proyectos de innovación y fomentando la transferencia de conocimiento entre distintos actores del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación. Su experiencia abarca la industria farmacéutica, alimenticia y académica, con participación en más de 15 eventos científicos y diversas publicaciones en revistas indexadas

Luis Felipe López Hernández

Correo: llopez@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4967-6955

Ingeniero biológico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y magíster en Biociencias con énfasis en Biología Computacional de la Universidad EAFIT. Experto en bioinformática, genética molecular y biología computacional. Es investigador máster adscrito a la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas de AGROSAVIA. Ha publicado más de 22 artículos Q1 en genética, genómica y transcriptómica, sobre mejoramiento de especies hortícolas y forestales. Lidera proyectos en inteligencia artificial y bioinformática, con experiencia internacional en investigación genómica en Reino Unido y Estados Unidos.

Luz Mary Quintero Vásquez

Correo: lquintero@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5823-7719

Ingeniera de alimentos de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Es profesional de investigación en AGROSAVIA, adscrita a la Red de Hortalizas & Aromáticas (H&A), que lidera en el C. I. La Selva. Desarrolla investigaciones experimentales en el campo de las ciencias naturales en productos de hortalizas y aromáticas en las líneas de investigación de cosecha, poscosecha y agroindustria.

Mario Alonso Mesa-Gómez

Correo: mmesa@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-0935-8580

Tecnólogo en Agrobiotecnología del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y estudiante de Agronomía de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Asistente de investigación en nematología agrícola de AGROSAVIA, adscrito a la red de frutales con aportes en trabajos de investigación en cultivos de mora, lulo, mortiño, uchuva, aguacate, granadilla, gulupa, plátano, maracuyá y cítricos. También en otros cultivares como cannabis, tomillo, estragón, romero,

albahaca, cebolla, arracacha, zanahoria y papa. Tiene once años de experiencia en diagnóstico e identificación taxonómica de nematodos de interés agrícola, experto en identificación de nematodos, micropropagación de plantas *in vitro*, elaboración de bioinsumos, redacción científica, sistemas de información geográfica, vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, aspectos ingenieriles de la producción de metabolitos secundarios, introducción a la técnica de extracción mediante fluidos supercríticos, extracción de aceites esenciales mediante CO_2 supercrítico práctico, introducción a la biotecnología, automatización y control aplicado a la agrobiotecnología, propagación de material vegetal *in vitro*, propiedades determinantes en la elaboración de sustrato, aplicación de herramientas informáticas a la gestión del predio rural agropecuario, comportamiento emprendedor y generación de ideas para un negocio innovador del SENA.

Mateo Londoño Valencia

Correo: malondonova@unal.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1597-3832

Ingeniero químico y magíster en Alimentos. Actualmente, se desempeña como investigador en la empresa Tecnas S.A. Bic. Su trabajo ha estado enfocado en la investigación aplicada en la industria de alimentos, con especial interés en el desarrollo de productos innovadores. Ha llevado a cabo investigaciones sobre conceptualización, formulación y desarrollo de productos alimenticios para mascotas a partir de zanahoria, contribuyendo al avance en formulaciones sostenibles y nutricionalmente balanceadas.

Paola Andrea Hormaza Martínez

Correo: phormaza@agrosavia.co
pahormazam@unal.edu.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0156-9955

Ingeniera agrónoma con conocimiento y experiencia en calidad fisiológica de semillas hortícolas y café, con conocimientos en fisiología vegetal, ecofisiología y fenología de cultivos. Ha trabajado en ecofisiología de cultivos, desarrollo floral, formación de fruto y calidad fisiológica de la semilla. Ha desarrollado investigaciones sobre fisiología y bioquímica de semillas, incluyendo estudios en sistemas antioxidantes, reservas (carbohidratos, lípidos y proteínas) y procesos de germinación y vigor, integrando análisis anatómicos del endospermo y embrión. Cuenta con experiencia en osmocondicionamiento de semillas y en el estudio del estrés abiótico y biótico en sistemas productivos perennes y de ciclo corto (hortalizas). Ha liderado proyectos que buscan determinar la interferencia de sistemas productivos agrícolas en ecosistemas de páramo, y tiene más de quince años de experiencia en investigación científica. Actualmente, se desempeña como Investigador PhD en el C. I. La Selva de AGROSAVIA y es profesora asociada en botánica general, económica y fisiología vegetal en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Rocío Alexandra Ortiz-Paz

Correo: rortizp@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2945-2118

Ingeniera agroforestal de la Universidad de Nariño y magíster en Fitopatología de la Universidad de Caldas. Ha realizado diagnóstico y manejo integrado de enfermedades causadas por hongos, nematodos, bacterias y virus en los cultivos de maracuyá, guayabo, plátano, cacao, mora; cebolla, zanahoria, tomate; hierbabuena; chontaduro, palma nolí e híbrido interespecífico OxG. Ha estudiado sobre captura de carbono en linderos de teca y *Acacia mangium* en Costa Rica y Panamá. Ha fortalecido el manejo del arbolado de Santiago de Cali. Se ha destacado como docente de Unitrópico. En la actualidad realiza diagnóstico y manejo de enfermedades en cultivos de zanahoria, mora y crisantemo con la participación de los agricultores y, contribuye con la sanidad de los cultivos desde el C. I. La Selva de AGROSAVIA.

Rosa Helen Mira Herrera

Correo: rmira@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7429-5274

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia sede de Medellín y estudiante de la Maestría en Sociedades Rurales en la Universidad de Caldas, con interés en el desarrollo rural y comunitario. Ha participado en proyectos del área de entomología y del Departamento de Semillas de AGROSAVIA, específicamente con la producción de semillas de calidad en las especies fríjol y maíz. Cuenta con experiencia en facilitación de procesos de extensión rural con pequeños productores de hortalizas y café.

Tatiana Alejandra Rodríguez Quiroz

Correo: trodriguez@agrosavia.co
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8381-6723

Licenciada en Biología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, trabaja como investigadora AGROSAVIA, liderando el grupo de investigación Rizósfera, con amplia experiencia en proyectos de investigación del sector agropecuario y ambiental, en áreas como microbiología, biología molecular y ecología microbiana mediante herramientas ómicas, con enfoque en bioprospección, nutrición, calidad e inocuidad, fitopatología, cambio climático, bioeconomía, transferencia tecnológica y gestión del conocimiento e innovación del ecosistema de CTi Agropecuario, bajo la articulación, cocreación, formulación y ejecución de proyectos de I+D+i de orden territorial, nacional e internacional, así como procesos de planeación y política pública asociados a CTi.



Foto: Juan Camilo Henao-Rojas



La obra *Carota 360°. Modelo integral para el desarrollo de la cadena de valor de zanahoria en el Oriente del departamento de Antioquia* terminó de imprimirse en Bogotá D. C., Colombia, en agosto de 2026.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

La zanahoria es mucho más que una raíz: es historia, diversidad, ciencia, territorio y futuro.

Carota 360° invita a descubrir el fascinante universo de este cultivo y a comprender la cadena de valor que lo hace posible en el Oriente antioqueño. A lo largo de sus páginas, productores, investigadores, estudiantes y amantes del campo encontrarán conocimientos sobre su diversidad genética, establecimiento, nutrición, manejo agronómico, sanidad, cosecha, poscosecha, transformación y aprovechamiento.

Esta obra integra la experiencia de quienes trabajan la tierra con los avances de la investigación científica, y reconoce en cada semilla una oportunidad para innovar, fortalecer las comunidades rurales y construir sistemas productivos más sostenibles. Sus fotografías, ilustraciones, datos y recomendaciones revelan la riqueza de un cultivo cotidiano que, observado de cerca, resulta extraordinario.

Abrir este libro es emprender un recorrido por los colores, sabores, desafíos y posibilidades de la zanahoria. Es acercarse al esfuerzo de las familias productoras y descubrir cómo el conocimiento puede transformar el campo.

Lo invitamos a recorrer estas páginas, dejarse sorprender y enamorarse de la zanahoria: una raíz que nace en la tierra y crece hacia el futuro.

www.agrosavia.co

ISBN: 978-958-740-910-9

BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: bac@agrosavia.co
Teléfono: (+57 601) 4227300 ext. 1257 o 1274
Skype: biblioteca.agropecuaria

Distribución gratuita
Prohibida su venta