Modelo productivo de **batata** para la costa Caribe colombiana

Editoras
Elvia Amparo Rosero Alpala y
Jazmín Vanessa Pérez-Pazos



AGROSAVIA
EDITORIAL

Modelo productivo de batata para la costa Caribe colombiana

Editoras

Elvia Amparo Rosero Alpala y Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Autores

Elvia Amparo Rosero Alpala
Jazmín Vanessa Pérez-Pazos
Rocío Margarita Gámez Carrillo
Evelin Gómez Delgado
José Luis Pérez Gamero
Hernando Alberto Araujo Vásquez
Remberto Rafael Martínez Figueroa
Amaury Aroldo Espitia Montes
Sol Mara Regino Hernández
Eberto Rodríguez Henao
Ricardo Enrique Támara Morelos
Laura Beatriz Espitia Negrete
Katia Vanesa Contreras Valencia
Luis Felipe López-Hernández
María Gladis Rosero Alpala
Andrés Javier Cortés Vera
Jhon Alexander Berdugo-Cely
Germán Andrés Aguilera Arango
Lina Vanessa Garavito Morales

AGROSAVIA
EDITORIAL

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Modelo productivo de batata para la costa Caribe colombiana. / Elvia Amparo Rosero Alpala [y otros dieciocho] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2025.

270 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.
ISBN e-Book: 978-958-740-848-5

1. Batata 2. Cultivo 3. Valor nutritivo 4. Diversidad genética (recurso) 5. Variedad 6.Mejoramiento genético 7. Anatomía de la planta 8. Calidad de la semilla.

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 Turipaná. Kilómetro 13 vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal: 230550, Colombia

Esta publicación se deriva del proyecto "Conservación de la diversidad genética y estrategias de multiplicación para el fomento del sistema productivo de batata (*Ipomoea batatas* L.) en el Caribe colombiano", que hace parte del macroproyecto "Desarrollo de estrategias de manejo integrado del cultivo, poscosecha y aprovechamiento integral del cultivo de batata en Colombia".

Colección Prácticas Agropecuarias

Tipología: Modelo productivo

Fecha de recepción: 21 de marzo de 2024

Fecha de evaluación: 8 de mayo de 2024

Fecha de aprobación: 12 de junio de 2024

Primera edición digital: 2025

editorial@agrosavia.co
Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Jorge Enrique Beltrán Vargas
Corrección de estilo: Alejandro Merlano Aramburo y Felipe Solano Fitzgerald
Diagramación: Mónica Cabiativa Daza
Foto de cubierta: Eberto Rodriguez

Citación sugerida: Rosero Alpala, E. A., & Pérez-Pazos, J. V. (Eds.). (2025). *Modelo productivo de batata para la costa Caribe colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7408485

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones y 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 en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

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

Contenido

9 Agradecimientos

11 Presentación

13 Introducción

CAPÍTULO 1. Generalidades de la batata 14

14 Taxonomía de la batata

15 Origen de la batata

16 Distribución y conservación de la batata en el mundo

17 Producción de batata en el mundo

19 Referencias

CAPÍTULO 2. El cultivo de batata en Colombia 21

21 La conservación y uso de la batata en Colombia

26 Determinación del área actual y el potencial para el cultivo de batata en Colombia

32 Potencialidad del cultivo comercial de batata en la costa Caribe de Colombia

33 Mercado de la batata según las dinámicas de la variedad Agrosavia Aurora

38 Tipos de actores de la demanda de batata

39 Referencias

CAPÍTULO 3. La batata y su importancia como producto de alto valor nutricional 41

41 Composición nutricional de las raíces tuberosas de batata

48 Composición nutricional de las hojas de batata

49 Beneficios de la batata en la salud humana

53 Referencias

CAPÍTULO 4. Diversidad genética de la batata en Colombia 58

59 Diversidad genética en Colombia

60 Procedencia de las accesiones colectadas en Colombia

61 Caracterización genética con marcadores moleculares

62 Estructura poblacional de la colección de batata

66 Comparación entre las muestras conservadas en el banco de germoplasma y las de la colección de trabajo

67 Colección núcleo de batata determinada a partir de variantes tipo SNP

69 Referencias

CAPÍTULO 5. Variedad Agrosavia Aurora y perspectivas del proceso de mejoramiento genético de batata 71

71 Obtención de variedad Agrosavia Aurora

77 Mejoramiento genético de la batata

81 Perspectivas del mejoramiento en Colombia

94 Referencias

CAPÍTULO 6. Morfología y fisiología del cultivo de batata 97

97 Características morfológicas relevantes

101 Parámetros fisiológicos del cultivo de batata

107 Comportamiento fenológico del cultivo de batata

109 Referencias

CAPÍTULO 7. Fisiología de las raíces tuberosas de batata 111

112 Características morfológicas y anatómicas de las raíces de batata

114 Formación de raíces tuberosas en el género *Ipomoea* spp.

115 Factores que influyen en la formación de raíces tuberosas de la batata

121 Referencias

CAPÍTULO 8. Esquema de producción de semilla de batata de calidad 128

129 Producción de semilla de calidad a través de técnicas de micropropagación *in vitro*

150 Poscosecha de minirraíces tuberosas

151 Referencias

CAPÍTULO 9. Requerimientos edafoclimáticos, hídricos y nutricionales para el cultivo de batata 154

154 Suelos y clima

155 Requerimientos hídricos

157 Nutrición y fertilización

158 Referencias

CAPÍTULO 10. Recomendaciones de manejo de la variedad de batata Agrosavia Aurora 160

161 Selección del terreno

161 Preparación de suelos

162 Multiplicación de semilla tipo esqueje

166 Época de siembra

167 Establecimiento del cultivo comercial

168 Establecimiento

168 Manejo de arvenses

169 Fertilización

170 Cosecha

171 Referencias

CAPÍTULO 11. Plagas que afectan el cultivo de batata y estrategias para su manejo integrado 173

173 Principales plagas en el cultivo de batata en Colombia

184 Plagas potenciales reportadas en el mundo que causan daños en el cultivo de batata

193 Métodos para evaluar la presencia y daños de plagas en el cultivo de batata

198 Recomendaciones de manejo

199 Referencias

CAPÍTULO 12. Enfermedades en batata y su manejo integrado 201

201 Enfermedades detectadas en Colombia

205 Principales enfermedades causadas por hongos y bacterias en el cultivo de batata reportadas en el mundo

211 Enfermedades causadas por virus en el cultivo de batata reportadas en el mundo

216 Enfermedades fisiogénicas en el cultivo de batata reportadas en el mundo

221 Referencias

CAPÍTULO 13. Cosecha y poscosecha 224

225 Condiciones para la cosecha de batata Agrosavia Aurora

227 Alternativas de cosecha

234 Categorías comerciales de batata

236 Pérdidas ocasionadas por malformaciones o daños físicos en raíces de batata

237 Técnicas de curado

238 Conservación de las raíces

240 Referencias

CAPÍTULO 14. Usos, transformación y costos de producción de la batata 242

243 Principales líneas de transformación

250 Costos de producción de la batata en campo

257 Referencias

Autoría 261



Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los agricultores que han conservado, cultivado y consumido la batata en Colombia. Es este arraigo cultural el que ha permitido reconocer la importancia del cultivo de batata, desde su adaptación a la oferta climática en diferentes regiones hasta la diversidad genética que confirma el papel de nuestro país como parte del centro de origen y diversidad de este cultivo.

Un especial agradecimiento a todos los emprendedores que han visualizado el potencial del cultivo de la batata en sus diferentes eslabones. Todos los esfuerzos han sido considerados para continuar generando tecnologías para el eslabón primario y para la proyección de uso en la transformación, de manera que sea posible mejorar la producción y calidad de las raíces.

Un agradecimiento al apoyo económico del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, ya que todo el esfuerzo en la generación de conocimiento, uso y valoración de especies nativas, criollas y mejoradas se proyecta en alternativas para la diversificación y desarrollo del sector agropecuario de Colombia.



Presentación

Este modelo productivo resulta del esfuerzo de un equipo multidisciplinario que ha estado enfocado en la generación de conocimiento, recomendaciones y tecnologías para fortalecer el uso y valoración de la batata en Colombia. Esta obra inicia, en su capítulo 1, con la descripción general de la batata como especie y con su importancia a nivel mundial. Seguidamente, el capítulo 2 aborda la importancia del cultivo de batata en Colombia, entendiendo la riqueza natural, sus usos y la proyección en el mercado nacional e internacional.

El capítulo 3, basado en literatura a nivel mundial, busca llegar con información sobre el valor nutricional de la batata y su influencia en el tratamiento de diferentes enfermedades. Por otra parte, en el capítulo 4, el estudio de la riqueza natural de la batata a través de análisis genéticos muestra su amplia diversidad y potencial de uso en programas de mejoramiento. Asimismo, el capítulo 5 muestra los principales avances del programa de mejoramiento de batata en Colombia, realizado a través de AGROSAVIA, con base en la descripción de una variedad registrada y altamente comercial, describiendo el proceso de mejoramiento y sus perspectivas para el país.

Los capítulos 6 y 7 buscan afianzar el conocimiento de la morfología y fisiología de la batata, con el fin de proveer insumos técnicos para la toma de decisiones en labores importantes del cultivo. De la misma forma, los capítulos 8, 9 y 10 abordan temas de alta relevancia en el manejo agronómico del cultivo, como la producción y uso de semilla de calidad, los requerimientos edafoclimáticos, hídricos y nutricionales, y las recomendaciones de manejo, todo esto enfocado en la variedad de batata Agrosavia Aurora. Considerando que el cultivo comercial de batata está cubriendo cada vez más áreas del territorio nacional, los capítulos 11 y 12 describen las plagas y enfermedades reportadas en Colombia y abordan la temática desde la perspectiva mundial, como escenario de riesgo latente en este cultivo. Finalmente, en los capítulos

13 y 14, este modelo describe los procesos de cosecha, poscosecha y transformación, y presenta información base sobre la estructura de costos para la producción primaria.

Introducción

El modelo productivo de batata en Colombia busca compilar la información básica del cultivo, abordando temáticas desde el eslabón primario hasta los procesos de adición de valor. Reconocer la batata como una alternativa de diversificación agrícola y potencializar su uso en la bioeconomía de Colombia permite aprovechar las ventajas de hacer parte del centro de origen y diversidad de esta especie. Los grandes aportes que han realizado los diversos equipos de investigación a nivel nacional, incluida AGROSAVIA, permiten crear una base científica para fortalecer esta cadena de valor. Sin embargo, es clara la necesidad de articular los esfuerzos públicos y privados para cerrar las brechas que limitan la producción y el consumo, los procesos de agregación de valor y la exportación a mercados internacionales. Este modelo es un insumo para los diferentes actores, productores, comercializadores, transformadores y demás emprendedores que visualizan en la batata una oportunidad de fortalecer la seguridad alimentaria regional e incentivar el agronegocio a nivel nacional e internacional.

Considerando el alto potencial que tiene la batata en la diversificación agrícola y el emprendimiento de nuevos agronegocios, se detalla la necesidad del uso de semilla de calidad, así como el manejo técnico requerido, y se describen las principales plagas y enfermedades, tanto las presentes en Colombia como las que se han reportado a nivel mundial y que hacen parte de los desafíos para este cultivo en crecimiento. Por otra parte, se reconoce la importancia que tiene la batata dentro del arraigo cultural de las comunidades en diferentes regiones, y se resalta la importancia de conservar, usar y valorar esta riqueza en términos de recursos biológicos para evitar la erosión genética y la pérdida de agrobiodiversidad.

CAPÍTULO 1.

Generalidades de la batata

JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS Y ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA

Taxonomía de la batata

La batata es una planta angiosperma dicotiledónea perenne, perteneciente a la familia Convolvulaceae, género *Ipomoea*, especie *I. batatas* (tabla 1.1), también conocida como *sweet potato*, patata dulce, camote, boniato, moniato, caiapo, kumara o kumera, que es la especie más representativa del género, ya que es la única capaz de producir raíces tuberosas comestibles (Cartabiano-Leite et al., 2020; Escobar-Puentes et al., 2022; Rosero et al., 2022).

Tabla 1.1. Clasificación de la batata según los reportes del Global Biodiversity Information Facility (GBIF)

Clasificador	Nombre
Dominio	Eukaryota
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (=Dicotyledoneae)
Orden	Solanales
Familia	Convolvulaceae
Género	*Ipomoea*
Especie	*I. batatas*

Fuente: Elaboración propia

Origen de la batata

Las batatas son nativas del continente americano, pero el centro primario de origen y de diversidad está localizado entre Centroamérica y Suramérica; posteriormente, fueron introducidas en España y el resto de Europa, África, India, el Sudeste Asiático y Filipinas, entre los siglos XIV y XVI, durante los eventos de colonización (Escobar-Puentes et al., 2022; Muñoz-Rodríguez et al., 2018; Mwanga et al., 2017; Yoon et al., 2022). Asimismo, fueron introducidas en Oceanía, probablemente por transferencia humana hacia Polinesia y por distribución en varias islas de la región, como las Islas Cook, las Islas Marianas del Norte, Nueva Zelanda, Hawái y Rapa Nui (Cartabiano-Leite et al., 2020; Rosero et al., 2022), las cuales son consideradas como centros secundarios de diversidad (Lebot et al., 2016; Roullier et al., 2013) (figura 1.1).



Figura 1.1.

Centros de origen y diversidad de la batata. Las flechas no indican la ruta.

Fuente: Elaboración propia con base en Roullier et al. (2013)

Distribución y conservación de la batata en el mundo

Para el periodo 2020-2025, según los datos del GBIF (2023), se cuenta con registros de presencia de la especie *I. batatas* (L.) Lam. en 115 países (figura 1.2), de los cuales cerca de 46 cuentan con más de 10 reportes de la especie, siendo Estados Unidos, Brasil, México, Taiwán, España, Portugal, India, Colombia, Ecuador y Australia los 10 países con mayores registros acumulados durante este periodo (tabla 1.2).

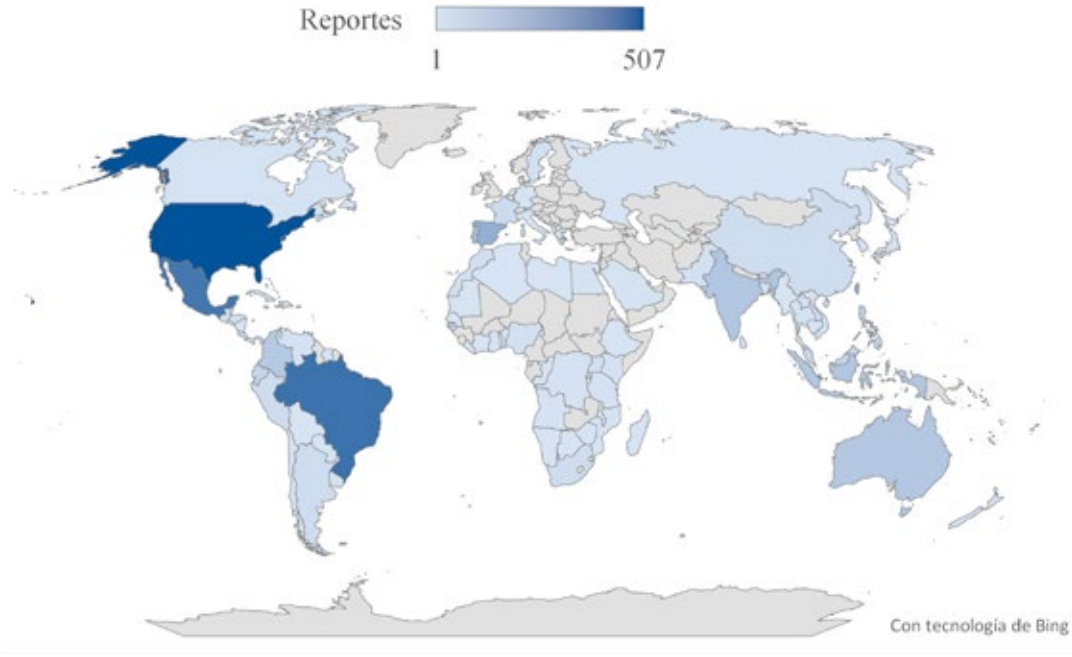


Figura 1.2.

Registro de la presencia de batata a nivel mundial durante el periodo 2020-2025.

Fuente: GBIF (2023)

Tabla 1.2. Registro de la presencia de la especie *I. batatas* a nivel mundial durante el periodo 2020-2025

> 400 registros	101-400 registros	51-100 registros	15-50 registros		
EE. UU.	Taiwán	Indonesia	Perú	Sudáfrica	Singapur
Brasil	España	Filipinas	Malasia	Francia	El Salvador
México	Portugal	Hong Kong	China	Argentina	Puerto Rico
	India		Reino Unido	Panamá	Vanuatu
	Colombia		Uganda	Marruecos	Guadalupe
	Ecuador		Costa Rica	Honduras	Suecia
	Australia		Guatemala	Nigeria	

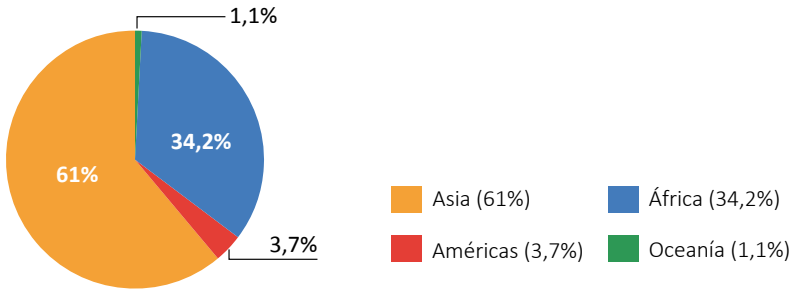
Fuente: Elaboración propia con base en GBIF (2023)

El Centro Internacional de la Papa (CIP) mantiene actualmente uno de los bancos de germoplasma de batata cultivada más grandes del mundo, con más de 5.500 muestras mantenidas *in vitro*. Actualmente, Colombia está representada por 169 muestras disponibles, de 310 muestras recolectadas inicialmente, incluidas 113 muestras pertenecientes a la especie *I. batatas* y 56 de parientes silvestres de cultivos de *I. amnicola*, *I. hederifolia*, *I. leucantha*, *I. purpurea*, *I. trifida* e *I. triloba*. Además, existe un registro de 124 accesiones mantenidas por el Banco de Germoplasma para la Agricultura y la Alimentación de Colombia - BGAA (Cerón-Souza et al., 2023).

Producción de batata en el mundo

Aunque la especie se encuentra registrada en diferentes países, la producción de batata está restringida a aquellos que cuentan con las áreas y la tecnología necesarias para la producción de este cultivo con fines comerciales. Según los datos actualizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para el año 2022 se reportó una producción mundial de batata superior a los 93 millones de toneladas, de las cuales, a nivel continental, un 62 % fue producido en Asia y un 33 % en África (figura 1.3a).

a.



b.

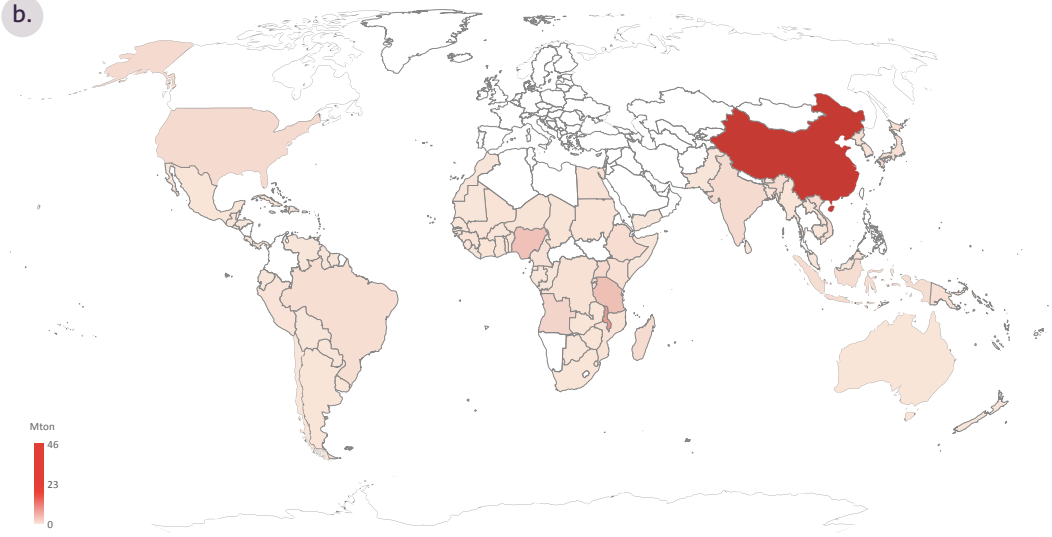


Figura 1.3.

Producción de batata a nivel mundial para el año 2023. a. Registro de producción de batata a nivel continental; b. Países productores de batata a nivel mundial.

Fuente: FAO (2023)

China es el país con la mayor producción de batata (figura 1.3b), con más de 51 millones de toneladas, seguida de Malawi, Tanzania y Nigeria, con una producción superior a los 4 millones de toneladas (tabla 1.3). Con relación a datos de comercialización, Estados Unidos, Países Bajos y Egipto registraron más de 150.000 toneladas de batata exportadas, y para el caso de importaciones, Países Bajos, Reino Unido y Canadá encabezaron el listado con más de 75.000 toneladas de batata (tabla 1.3).

Tabla 1.3. Registro de los países con mayor producción, exportación e importación de batata para el año 2023

Producción		Exportaciones		Importaciones	
País	Toneladas	País	Toneladas	País	Toneladas
China	51.400.818	EE. UU.	253.740	Países Bajos	200.893
Malawi	8.045.478	Egipto	160.999	Reino Unido	124.431
Tanzania	4.514.919	Países Bajos	154.815	Canadá	77.560
Nigeria	4.084.518	Canadá	46.906	Francia	66.729
Angola	1.997.930	China	32.579	Alemania	51.849
Uganda	1.648.681	España	29.503	Bélgica	51.373
Indonesia	1.559.181	Portugal	21.534	EE. UU.	45.121
Ruanda	1.312.378	Vietnam	20.025	Vietnam	24.140
Madagascar	1.301.244	Honduras	16.729	Italia	23.040
Etiopía	1.295.060	Indonesia	14.938	Arabia Saudita	22.693

Fuente: FAO (2025)

Referencias

Cartabiano-Leite, C. E., Porcu, O. M., & De Casas, A. F. (2020). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) nutritional potential and social relevance: A review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *10*(6), 23-40. http://dx.doi.org/10.9790/9622-1006082340

Cerón-Souza, I., Delgadillo-Duran, D., Polo-Murcia, S. M., Sarmiento-Naizaque, Z. X., & Reyes-Herrera, P. H. (2023). Prioritizing Colombian plant genetic resources for investment in research using indicators about the geographic origin, vulnerability status, economic benefits, and food security importance. *Biodiversity and Conservation*, *32*(7), 2.221-2.261. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02599-7

Escobar-Puentes, A. A., Palomo, I., Rodríguez, L., Fuentes, E., Villegas-Ochoa, M. A., González-Aguilar, G. A., Olivas-Aguirre, F. J., & Wall-Medrano, A. (2022). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) phenotypes: From agroindustry to health effects. *Foods*, *11*(7). https://doi.org/10.3390/foods11071058

FAO. (2025). *Crop and livestock statistics.* Consultado el 4 de septiembre de 2024 en https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2023). *GBIF Backbone Taxonomy. GBIF taxon ID 7324073. Checklist dataset*. Consultado el 6 de octubre de 2023 en https://doi.org/10.15468/39omei

Lebot, V., Michalet, S., & Legendre, L. (2016). Identification and quantification of phenolic compounds responsible for the antioxidant activity of sweet potatoes with different flesh colours using high performance thin layer chromatography (HPTLC). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 94-101. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.04.009

Muñoz-Rodríguez, P., Carruthers, T., Wood, J. R. I., Williams, B. R. M., Weitemier, K., Kronmiller, B., Ellis, D., Anglin, N. L., Longway, L., Harris, S. A., Rausher, M. D., Kelly, S., Liston, A., & Scotland, R. W. (2018). Reconciling conflicting phylogenies in the origin of sweet potato and dispersal to Polynesia. *Current Biology*, *28*(8), 1.246-1.256. https://doi.org/10.1016/J.CUB.2018.03.020

Mwanga, R. O. M., Andrade, M. I., Carey, E. E., Low, J. W., Yencho, G. C., & Grüneberg, W. J. (2017). Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). En H. Campos, & P. D. S. Caligari (Eds.), *Genetic improvement of tropical crops* (pp. 181-218). Springer.

Rosero, A., Rodríguez, E., Aguilera-Arango, G., Rosero, M.-G., Granda, L., Pastrana, I., Martínez, R., Perez, J.-L., Espitia, L., Gomez, E., Rodríguez, T., & Sieber, S. (2022). Assessment of the current state of *in situ* conservation and use of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in Colombia. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, *44*(1), 76-89. https://doi.org/10.1111/CUAG.12293

Roullier, C., Kambouo, R., Paofa, J., McKey, D., & Lebot, V. (2013). On the origin of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) genetic diversity in New Guinea, a secondary centre of diversity. *Heredity*, *110*, 594-604. https://doi.org/10.1038/hdy.2013.14

Yoon, U.-H., Cao, Q., Shirasawa, K., Zhai, H., Lee, T.-H., Tanaka, M., Hirakawa, H., Hahn, J.-H., Wang, X., Kim, H. S., Tabuchi, H., Zhang, A., Kim, T.-H., Nagasaki, H., Xiao, S., Okada, Y., Jeong, J. C., Nagano, S., Shin, Y., … Isobe, S. (2022). Haploid-resolved and chromosome-scale genome assembly in hexa-autoploid sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *bioRxiv*. https://doi.org/10.1101/2022.12.25.521700

CAPÍTULO 2.

El cultivo de batata en Colombia

ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA, KATIA VANESA CONTRERAS VALENCIA, JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS, LUIS FELIPE LÓPEZ-HERNÁNDEZ, MARÍA GLADIS ROSERO ALPALA, ANDRÉS JAVIER CORTÉS VERA Y REMBERTO RAFAEL MARTÍNEZ FIGUEROA

El cultivo de batata (*Ipomoea batatas* L.) en Colombia reviste gran importancia debido a su arraigo cultural en diversas zonas del país. Parte de la dieta de muchas comunidades incluye la batata como fuente de carbohidratos, y esta es usada especialmente en coladas, bollos, panadería, frita, cocida, etc. En Colombia, el cultivo de la batata está asociado a culturas ancestrales y locales. Existe evidencia de su cultivo antes de la colonización por parte de indígenas malibúes, a lo largo del río Magdalena, en la región Caribe. Durante la conquista española, la economía de la cultura muisca en la región Andina se basó en la explotación de productos agrícolas, entre ellos el camote o batata (García López et al., 2019). Hoy en día, el cultivo de batata se da principalmente en pequeñas áreas, como cultivo tradicional, especialmente en la región Caribe, y su producción se utiliza principalmente para el consumo familiar y rara vez para la venta en los mercados locales (Garrido-Rubiano et al., 2016; Rosero et al., 2022). Su manejo se basa en conocimientos empíricos y depende de la disponibilidad de variedades tradicionales o locales, las cuales se cultivan en asociación con otros cultivos como yuca, ñame, tabaco y maíz, entre otros.

La conservación y uso de la batata en Colombia

La exploración y recolección sistemática de genotipos de batata en áreas de gran diversidad genética en Colombia fue realizada por Rosero et al. en 2022; se colectaron 750 accesiones, incluidas 25 especies silvestres parientes pertenecientes a la familia Convolvulaceae (figura 2.1).

La mayoría de las accesiones se recolectaron en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cesar, Santander y Tolima (tabla 2.1) (Rosero et al., 2022). Los materiales colectados superaron significativamente el número de accesiones recolectadas en Colombia y conservadas en el banco de germoplasma. La alta densidad de accesiones encontradas en este estudio, especialmente en las regiones Caribe y Andina, confirmó informes anteriores sobre la distribución y riqueza de la batata y sus parientes silvestres en estas áreas (Khoury et al., 2015; Roullier et al., 2013).

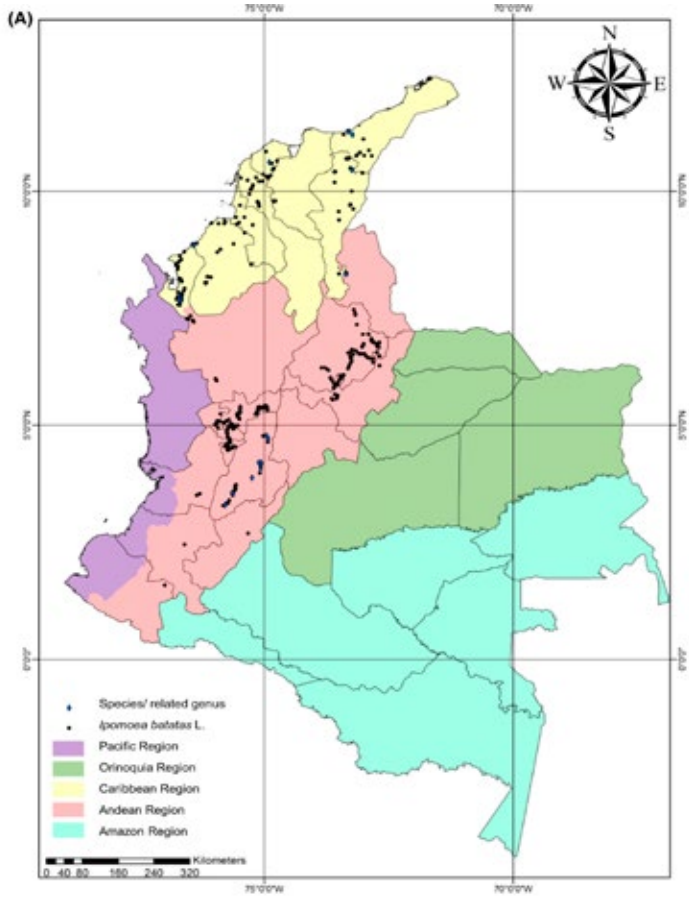


Figura 2.1.

Distribución geográfica de las accesiones de batata recolectadas en Colombia.

Nota: los puntos negros representan sitios de recolección de *I. batatas* L. y los diamantes azules representan especies silvestres del género *Ipomoea*. Los demás colores identifican las cinco regiones naturales de la Colombia continental.

Fuente: Rosero et al. (2022)

Tabla 2.1. Distribución de las accesiones de batata (*I. batatas*) recolectadas en 19 departamentos de Colombia

Departamento	Accesiones	Porcentaje
Región Caribe		
Cesar	92	12,27
Antioquia	62	8,26
Córdoba	45	6,00
Bolívar	37	4,93
Atlántico	24	3,20
La Guajira	19	2,53
Sucre	7	0,93
Magdalena	4	0,53
Total parcial	290	38,7
Región Andina		
Caldas	124	16,53
Santander	82	10,93
Tolima	55	7,33
Boyacá	51	6,80
Valle del Cauca	47	6,27
Quindío	41	5,47
Risaralda	33	4,40
Antioquia	13	1,73
Norte de Santander	11	1,47
Cauca	1	0,13
Huila	1	0,13
Nariño	1	0,13
Total parcial	460	61,3
Total	750	100

Fuente: Elaboración propia con base en Rosero et al. (2022)

La mayoría de los genotipos colectados en Colombia fueron reconocidos como variedades locales, seguidos por los que crecen en hábitats silvestres y los considerados como malezas, entre otros cultivos (figura 2.2). Esto indica que la batata en Colombia aún se conserva según su origen

y que esta especie nativa ha desarrollado mecanismos de alta resiliencia que han permitido su supervivencia, multiplicación y conservación (Rosero et al., 2022).

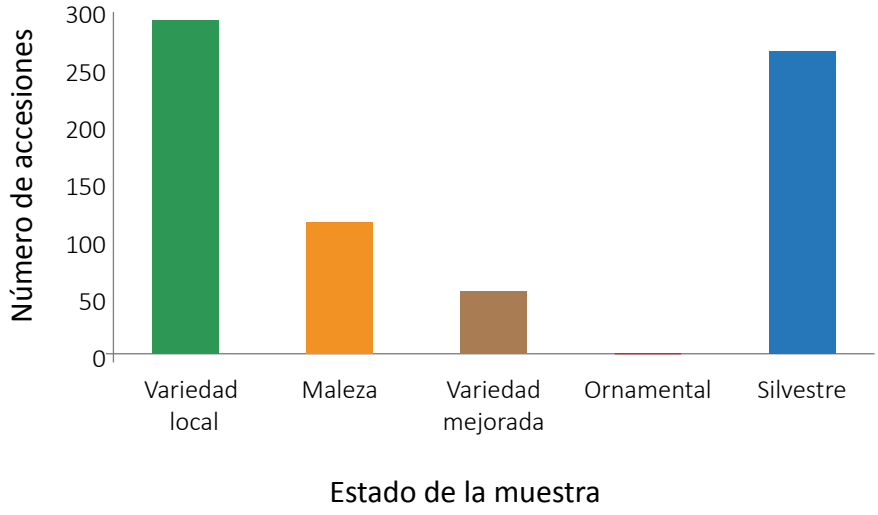


Figura 2.2.

Número de accesiones según el estado de la muestra de los materiales de batata colectados en Colombia.

Fuente: Rosero et al. (2022)

La conservación de la batata en las diversas condiciones ambientales de Colombia también se atribuye a los agricultores, así como a las comunidades locales e indígenas, quienes conservan *in situ* esta amplia diversidad en sus huertos o campos, garantizado la conservación no solo de los cultivares, sino también de especies subutilizadas y parientes silvestres de cultivos. Al respecto, las diferencias ambientales y culturales entre regiones han dado lugar a distintos enfoques en el sistema productivo de la batata: en la costa Caribe se reconoce como un cultivo establecido cuyo manejo incorpora el uso de tecnologías, mientras que en la región Andina su conocimiento es limitado y su desarrollo depende más de la resiliencia propia de la especie que de los cuidados directos de los campesinos. En la tabla 2.2 se muestra una breve descripción de los agroecosistemas en los que se encuentra la batata en estas dos regiones de Colombia.

Tabla 2.2. Uso y manejo del cultivo de batata en los sitios de recolección de las dos regiones exploradas

Uso y manejo del cultivo	Región Caribe	Región Andina
Uso	Maleza (8,2 %), alimento (83,9 %), alimento/forraje (1,07 %), ornamental (0,35 %), ninguno (6 %), otro (0,35 %)	Maleza (13,7 %), alimento (11 %), alimento/forraje (0,89 %), alimento/medicinal (1,5 %), forraje (2,2 %), ninguno (68,9 %), otro (1,8 %)
Parte usada	Hojas y raíces tuberosas	Raíces tuberosas
Manejo del cultivo (105 sitios de colecta)	Asociado a otros cultivos (10,7 %), manejo tradicional (13,3 %), riego/control de malezas y plagas (56 %), ninguno (20 %)	Asociado a otros cultivos (33,3 %), manejo tradicional (18,2 %), riego/control de malezas y plagas (15,2 %), ninguno (33,3 %)
Cultivos asociados (160 sitios de colecta)	Caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), plátanos (*Musa* spp.), cítricos (*Citrus* spp.), cacao (*Theobroma cacao* L.), árboles maderables, gandul (*Cajanus cajan* L.), guayaba (*Psidium guajava* L.), hortalizas, guanábana (*Annona muricata* L.), ricino (*Ricinus communis* L.), mango (*Mangifera indica* L.), maíz (*Zea mays* L.), papaya (*Carica papaya* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), plantas ornamentales, malanga (*Colocasia esculenta* Schott), achiote (*Bixa orellana* L.), sésamo (*Sesamum indicum* L.), calabaza (*Crescentia cujete* L.), coco (*Cocos nucifera* L.)	Café (*Coffea arabica* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), plátano (*Musa* spp.), coco (*Cocos nucifera* L.), maíz (*Zea mays* L.), fríjol (*Phaseolus* spp.), cítricos (*Citrus* spp.), árboles maderables, ricino (*Ricinus communis* L.), leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.)
Cultivos principales	Yuca y plátano	Café y verduras

Fuente: Rosero et al. (2022)

Las diferentes regiones que no han sido exploradas aún deben estar contempladas en los objetivos de diferentes proyectos o iniciativas, ya que un recurso genético tan importante como la batata debe ser considerado como una de las principales alternativas en la diversificación agrícola de Colombia.

Determinación del área actual y el potencial para el cultivo de batata en Colombia

Colombia es reconocida mundialmente por su extraordinaria diversidad, una característica que se debe a su privilegiada ubicación geográfica y a su diversidad climática. El país cuenta con diez regiones biogeográficas, cada una con una rica variedad de ecosistemas, hábitats y una vasta biodiversidad de flora y fauna. Según datos recientes, Colombia ocupa el cuarto lugar en biodiversidad a nivel global (Butler, 2020). En el ámbito de la botánica, se han identificado aproximadamente 24.528 especies de plantas vasculares. De estas, 400 especies nativas son utilizadas en la alimentación, lo que demuestra la riqueza natural del país en cuanto a recursos alimenticios (Bernal et al., 2019).

Sin embargo, la intervención humana desmedida ha provocado un incremento alarmante en las alteraciones ambientales, afectando directamente los ecosistemas y su biota. El cambio en los patrones climáticos y la ocurrencia de fenómenos extremos, como olas de calor de gran intensidad, inundaciones devastadoras, sequías y precipitaciones intensas y prolongadas, han aumentado paralelamente al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Shakoor et al., 2023). Los impactos de estos fenómenos climáticos son palpables en diversas regiones del mundo, donde han afectado la seguridad alimentaria, la salud pública, la estabilidad económica y la biodiversidad (Kah et al., 2023).

El cambio climático representa un desafío, sustentado en informes recientes que sugieren que la temperatura global promedio podría alcanzar pronto el límite crítico de 1,5 °C, establecido en el Acuerdo de París, con pronósticos de reducciones significativas en las precipitaciones, especialmente en la región Caribe colombiana, donde se espera una disminución del 3,75 % para el periodo 2020-2050. Estos cambios en el clima, junto con otros factores como la expansión agrícola, la deforestación y la minería ilegal, entre otras actividades humanas, podrían afectar seriamente la productividad de los cultivos de batata y provocar desplazamientos de las poblaciones naturales, lo que resultaría en una pérdida de diversidad biológica.

En este contexto, se hace imperativo explorar y conservar la diversidad biológica con potencial de adaptación. Esto permitirá identificar características genéticas deseables, como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a sequías, que podrían ser integradas en variedades de cultivos para mejorar su rendimiento y sostenibilidad.

La batata es uno de los cultivos de raíces y tubérculos alimenticios más importantes en Colombia. Las variedades tradicionales muestran una asombrosa capacidad de adaptación a distintas condiciones climáticas, atributo que ha permitido su cultivo en una amplia variedad de altitudes y regiones de Colombia. Según los datos recopilados para la especie, que incluyen la colección custodiada por AGROSAVIA (Rosero et al., 2022) y registros cuidadosamente curados por botánicos en plataformas como el Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y la Botanical Information and Ecology Network (BIEN), las variedades de batata, tanto las locales como las silvestres, se encuentran desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2.500 metros, ubicadas específicamente entre las regiones Caribe y Andina de Colombia. En las zonas de mayor altitud, donde las temperaturas son más bajas, la batata parece haber desarrollado adaptaciones para su crecimiento en condiciones de clima templado-frío, sobre la franja altoandina. Por el contrario, en áreas más cálidas y de menor altitud, podría haber desarrollado mecanismos para resistir las altas temperaturas, periodos de sequía prolongados y suelos pobres. Esta versatilidad es crucial para el éxito de este cultivo, especialmente en la región Caribe, y para su supervivencia en ambientes silvestres, principalmente en la región Andina.

En este sentido, con miras a optimizar el cultivo de la batata a través de ecorregiones climáticas y explorar su adaptación natural, se presenta a continuación un análisis de la distribución espacial y el modelado de nicho ecológico para la especie. En concreto, el objetivo del trabajo fue analizar la distribución presente de *I. batatas* L., con miras a apalancar la conservación de los recursos fitogenéticos de la batata en Colombia. Este estudio utiliza georreferenciación precisa de registros de batata a lo largo del país, información ambiental sobre climas nativos y herramientas avanzadas de inteligencia artificial. Esta aproximación no solo ayuda a identificar las zonas más adecuadas para el cultivo, sino también a preservar y aprovechar la rica biodiversidad del país.

Modelamiento de la distribución espacial de la batata en Colombia

El modelamiento de la distribución espacial es una técnica analítica avanzada que combina datos ambientales con información geográfica detallada de las especies para prever su distribución y la adecuación de hábitats. Este enfoque se aplicó para batata, utilizando registros de 389 materiales silvestres y 313 variedades locales, obtenidos de la colección de germoplasma del programa de mejoramiento genético de AGROSAVIA y de repositorios públicos como GBIF y BIEN. Para integrar la información ambiental en el modelado por inteligencia artificial, se desarrolló un código personalizado en R (versión 4.0.3), con una resolución espacial de aproximadamente 1 km². Los datos climáticos se obtuvieron de WorldClim, que proporciona un conjunto de variables predictivas para el modelado de distribución espacial, relacionadas con estrés abiótico, como el estrés por sequía y calor. Para reducir la colinealidad entre las variables predictoras, se realizó un análisis usando el factor de inflación de la varianza, seleccionando variables clave como isotermalidad, estacionalidad de la temperatura y precipitación anual, entre otras.

El modelo de distribución espacial se basó en las suposiciones de que la zona de colecta del material y el nicho ecológico de la especie están en equilibrio, y de que las condiciones ambientales son estables a través del tiempo. Se empleó el algoritmo de máxima entropía, o MaxEnt (Kass et al., 2021), que utiliza técnicas de inferencia bayesiana para estimar las distribuciones de probabilidad de ocurrencias. El estudio incluyó 10.000 pseudoausencias a lo largo del territorio nacional y se validó mediante 500 iteraciones.

Distribución espacial de la batata en Colombia

La batata, con sus variedades locales y formas silvestres, presenta una notable adaptabilidad, extendiéndose desde el nivel del mar hasta altitudes que superan los 2.500 m s. n. m. En el resultado del modelamiento se identifican zonas con alto potencial para el cultivo de batata; estas zonas abarcan, en su totalidad, 1.120.800 hectáreas a nivel nacional, las cuales presentan una alta probabilidad de distribución de la batata (>90 %) y principalmente se encuentran en las regiones Caribe y Andina.

Como ecosistemas con hábitats óptimos para la batata, con alto potencial de adaptación y, por ende, con áreas de alta probabilidad de presencia de las formas cultivadas y silvestres, el análisis arrojó aquellos ubicados en las zonas de vida tropical y subtropical, con amplia distribución en el territorio nacional, a lo largo de las regiones naturales Caribe, Andina y Pacífica, cuyas características particulares, además de los factores climáticos, también están determinadas por factores fisiográficos y edáficos que otorgan ambientes o nichos ecológicos propicios para la permanencia de la especie. En efecto, aún es necesario explorar las regiones de la Orinoquía y la Amazonía, pues la variabilidad y el cambio climáticos generan alteraciones en todos los ecosistemas.

En cuanto al sistema productivo, los resultados de este análisis de modelamiento mostraron que la batata en Colombia presenta un alto potencial de distribución, en la región Caribe, en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Cesar y Antioquia (subregión Urabá), en las zonas bajas con respecto al nivel del mar (figura 2.3). En la región Andina, sobre la cordillera Occidental, en los departamentos de Antioquia (subregiones Occidente y Suroeste), Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca.

Además, presenta buen potencial de distribución sobre áreas e inmediaciones del Macizo Colombiano y el Nudo de los Pastos, en Cauca y Nariño. De igual forma, muestra potencial de adaptación en la región Pacífica, en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Nariño (Tumaco e inmediaciones de la alta montaña). También existe un gran potencial de distribución del cultivo en las inmediaciones de la cordillera Oriental, en los departamentos de Santander, Norte de Santander, Boyacá, Tolima, Huila y Tolima, y en las inmediaciones de Caquetá y Putumayo (Florencia y Mocoa, respectivamente).

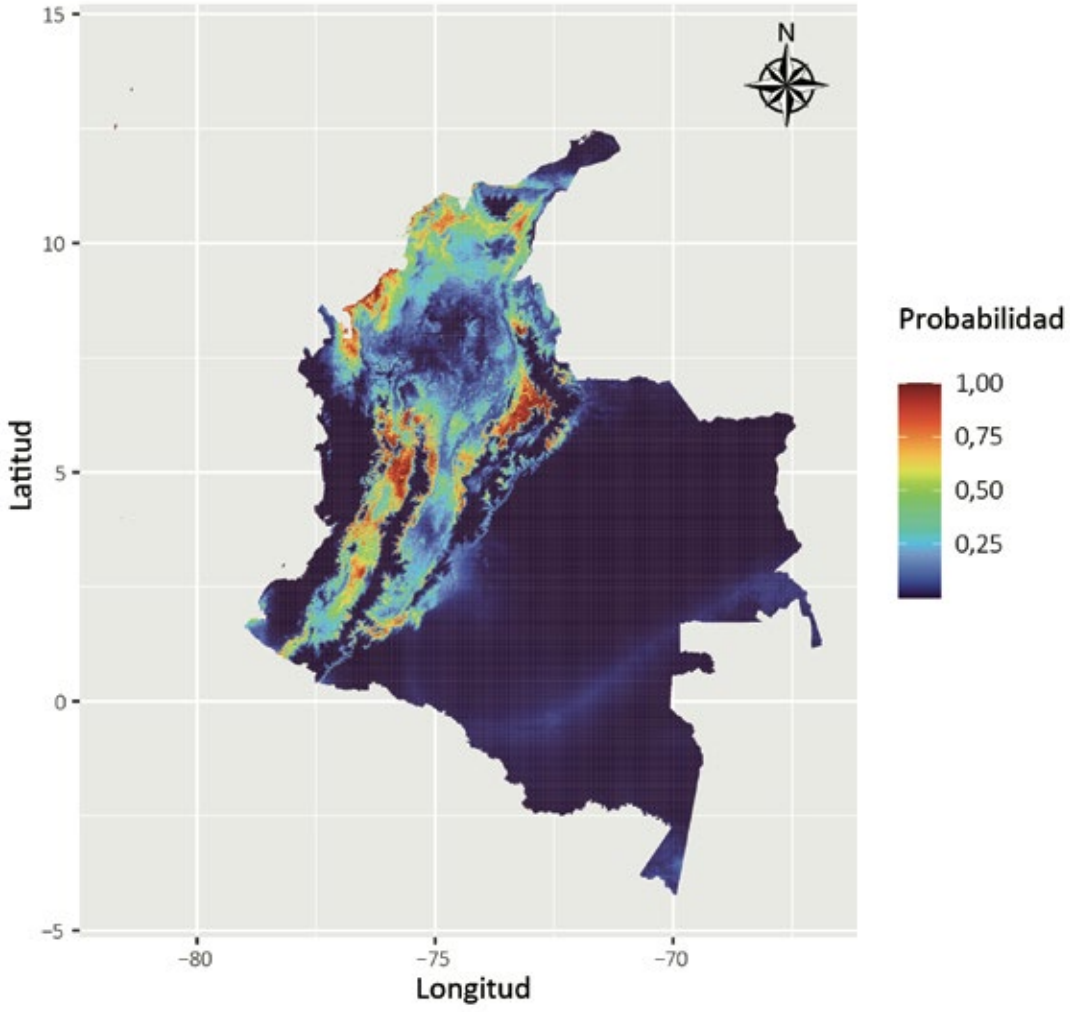


Figura 2.3.

Distribución espacial potencial de la batata (*I. batatas* L.) en Colombia, según datos de presencia actual, variables climáticas y herramientas de inteligencia artificial.

Fuente: Elaboración propia

En las zonas de mayor altitud, especialmente en la región Andina, con temperaturas más bajas, la batata ha desarrollado adaptaciones notables para tolerar esas condiciones, en busca de un hábitat óptimo resultado de la variabilidad climática en dicha región. Por otro lado, en las áreas más cálidas y de menor altitud, como las encontradas en la región Caribe, la batata podría haber evolucionado mecanismos para resistir altas temperaturas y periodos de sequía estacional. Esto se manifiesta en el desarrollo de raíces tuberosas, que actúan como órganos de almacenamiento que le permiten

a la planta sobrevivir en condiciones adversas y facilitan su domesticación. En general, el análisis de la información arrojó que la batata se distribuye en ambientes con temperaturas entre los 13,5 °C y los 28,43 °C, y en términos de precipitación, entre los 973 y los 3.877 mm/año (tabla 2.3). En las zonas que se caracterizan por una oferta ambiental que promovería el desarrollo del cultivo, se encontraron leves variaciones en estos datos. Se identificaron áreas con mayores temperaturas tanto en zonas altas como bajas, y con un menor rango de precipitación.

Tabla 2.3. Temperatura y precipitación en zonas con presencia confirmada y en zonas potenciales para el cultivo de batata en Colombia

Estadística	Puntos de muestreo		Zonas potenciales de presencia	
	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)
Mediana	22,2 ± 3,9	2.038,05 ± 522	20,86 ± 3,16	2.007,40 ± 373
Máxima	28,43	3.877	28,55	3.336
Mínima	13,5	973	15,51	730

T: Temperatura; P: Precipitación

Fuente: Elaboración propia

Esta capacidad de distribución de la batata no solo es crucial para su éxito en diversas condiciones ambientales, sino también para su supervivencia en ambientes silvestres. La habilidad para prosperar en un rango tan amplio de condiciones climáticas y altitudinales ha contribuido significativamente a la diversidad genética de la especie, proporcionando una base para futuros programas de mejoramiento y conservación. Además, su adaptabilidad le habría permitido integrarse profundamente en las prácticas agrícolas y culinarias de las regiones Caribe y Andina.

Se prevé que la distribución de la batata en el territorio colombiano experimentará cambios significativos en respuesta al cambio climático en el corto plazo. Los estudios indican que el gradiente altitudinal de la especie se verá afectado, lo que podría resultar en una migración de la batata hacia elevaciones más altas que las actuales. Este fenómeno refleja una distribución en las temperaturas más frescas, en mayores alturas, a medida que las condiciones en elevaciones más bajas se vuelven menos favorables. Además, es probable que el hábitat potencial de la batata disminuya con el tiempo, debido al incremento de las temperaturas y a la alteración de los

patrones de precipitación. Esta reducción en el hábitat adecuado para la batata podría tener impactos negativos sobre la biodiversidad asociada y la disponibilidad de esta importante fuente de alimento.

La predicción de las áreas que sufrirán pérdidas de hábitat natural es crucial para el desarrollo de planes de conservación eficaces. Estos planes deben enfocarse no solo en proteger las áreas actuales donde la batata prospera, sino también en identificar y conservar nuevas áreas que podrían volverse adecuadas bajo las condiciones climáticas futuras.

A la vez, analizar las áreas que podrían volverse aptas para el cultivo de batata en un futuro cercano es fundamental para dirigir los planes territoriales de producción agropecuaria. Estos planes ayudarán a anticipar y adaptarse a los cambios, asegurando la continuidad de la producción de batata y su contribución a la seguridad alimentaria.

En este contexto, es esencial continuar con el registro de puntos de presencia de la batata en otras regiones naturales de Colombia y avanzar en el modelado de escenarios de cambio climático. Estas acciones permitirán a los investigadores y planificadores entender mejor la dinámica de cambio y formular estrategias para manejar los impactos del cambio climático sobre este cultivo vital.

Potencialidad del cultivo comercial de batata en la costa Caribe de Colombia

En Colombia, las condiciones agroclimáticas son adecuadas para la producción de batata principalmente en la zona del Caribe colombiano, donde el cultivo se produce, por lo general, como parte de policultivos, en huertas caseras, que hacen parte de la dieta alimenticia; sin embargo, a nivel nacional, las áreas de siembra, producción y transformación de batata son bajas en comparación con las de otros tubérculos (Tarache-Ricaurte, 2023). Según las estadísticas agrícolas para Colombia reportadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) en Agronet, para el cultivo de batata, en 2022, los departamentos con la mayor producción fueron Sucre, Magdalena y Atlántico, con 917, 769 y 155 toneladas, respectivamente. En

estudios previos, se identifica que existe una demanda de batata insatisfecha en la zona norte de país. Sin embargo, el consumo per cápita de batata en la región Caribe va decreciendo debido a la baja producción y el escaso desarrollo tecnológico, por lo que está el riesgo de que se pierda el patrón de consumo de este alimento en dicha región. AGROSAVIA ha enfocado su esfuerzo de investigación en desarrollar variedades de batata y recomendaciones de manejo que permitan incrementar la productividad. Así, Agrosavia Aurora es la primera variedad comercial con pulpa anaranjada y un contenido superior a 200 µg de betacarotenos/g, lo que garantiza una excelente fuente de vitamina A (Rosero et al., 2023).

Mercado de la batata según las dinámicas de la variedad Agrosavia Aurora

Luego de la liberación de la variedad Agrosavia Aurora, se ha dado un dinamismo en el cual la producción se ha destinado en mayor medida al mercado en fresco y se han generado valores agregados gracias a los procesos de transformación. Para el mercado en fresco, se destinan las raíces de primera, dadas por su uniformidad en tamaño y peso, sin agrietamientos (figura 2.4).

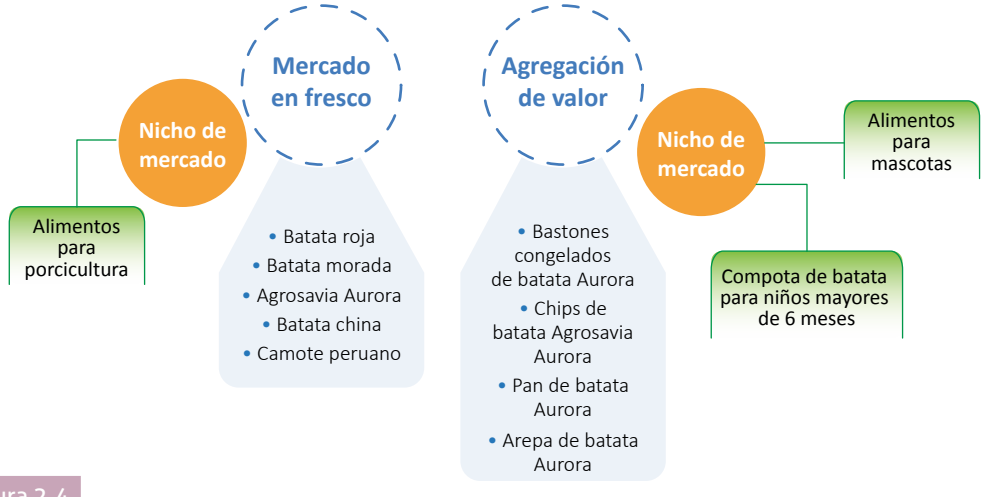


Figura 2.4.

Mercados actuales y diversificación de productos.

Fuente: Elaboración propia

En el mercado en fresco para alimentación humana, se identifica la producción de batata comercial, que proviene de otros materiales regionales como batata roja, morada, china e importada de Perú, denominada comúnmente como camote; con respecto a este último, su consumo es predominante en la ciudad de Bogotá y nulo en la región Caribe. Las raíces comerciales en fresco ingresan al mercado mayorista, donde se identifican ventas de batata de pulpa anaranjada, especialmente en la central de abastos de la ciudad de Barranquilla; sin embargo, la comercialización es estacional y no es frecuente ni estable. En este segmento de mercado, el producto que no cumple con las especificaciones de primera categoría se rechaza para alimentación humana, aunque, de igual forma, los actores del eslabón de la intermediación transan para incorporarlo al mercado de alimentos para animales, generalmente en porcicultura.

Con respecto a los productos que cuentan con agregación de valor, es de resaltar que en el mercado se encuentra posicionado el término *Aurora* y se ha suprimido el término *Agrosavia*. Los procesos de agregación de valor y de transformación se caracterizan porque el suministro de raíces proviene de cultivos propios, y no de terceros, para tener la certeza sobre la calidad.

¿De dónde viene la producción de raíces comerciales de batata Agrosavia Aurora?

Los núcleos productivos de batata Agrosavia Aurora se están configurando y y su mercado es emergente. En la figura 2.5 se muestra el área de siembra actual; allí se observan áreas por fuera de la región Caribe, donde está el dominio de recomendación, lo cual indica el interés de los productores por contar con la adaptación y versatilidad de la variedad Agrosavia Aurora en diferentes condiciones.

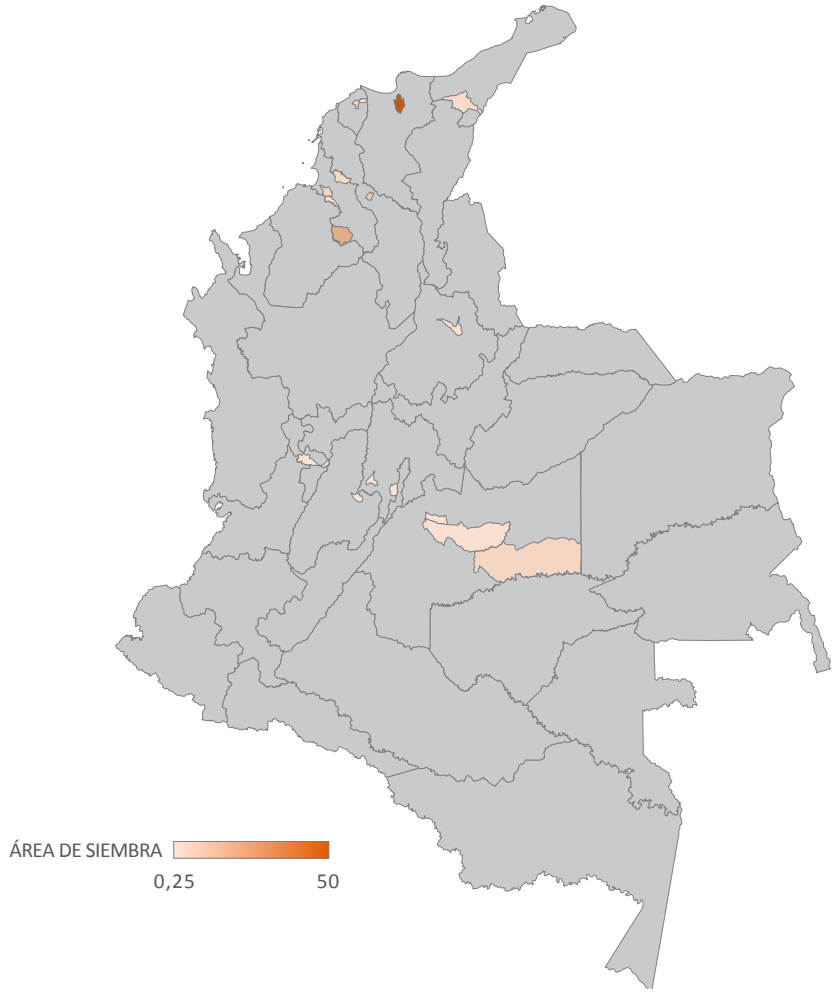


Figura 2.5.

Áreas de producción del cultivo de batata de la variedad Agrosavia Aurora.

Fuente: Elaboración propia

Una de las limitaciones que se está observando es la baja capacidad de registro real y actualizado del área de cultivo de la variedad Agrosavia Aurora, que permita conocer la tasa de crecimiento en la región Caribe. Se estima que para el periodo 2022-2023, el área fue de 136 hectáreas, pero se reconoce que puede existir una mayor área sembrada.

El instrumento de política pública para analizar el comportamiento del área establecida son las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) del MADR; sin embargo, la metodología ha cambiado y existe el riesgo de

que se haya complejizado la búsqueda y el rastreo. Es necesario mencionar que, en la clasificación de las EVA, no es posible identificar las áreas sembradas por variedad. Otra dificultad que se percibe es la relacionada con el número de ciclos productivos que se pueden tener en la misma área durante un año; si bien no es una práctica recomendada, la cifra final que se reporta es aquella relacionada con la superficie del terreno, mas no la concerniente al área de cultivo.

En la figura 2.6 se muestra el crecimiento del área de siembra del cultivo de batata para la región Caribe en el periodo 2017-2021.

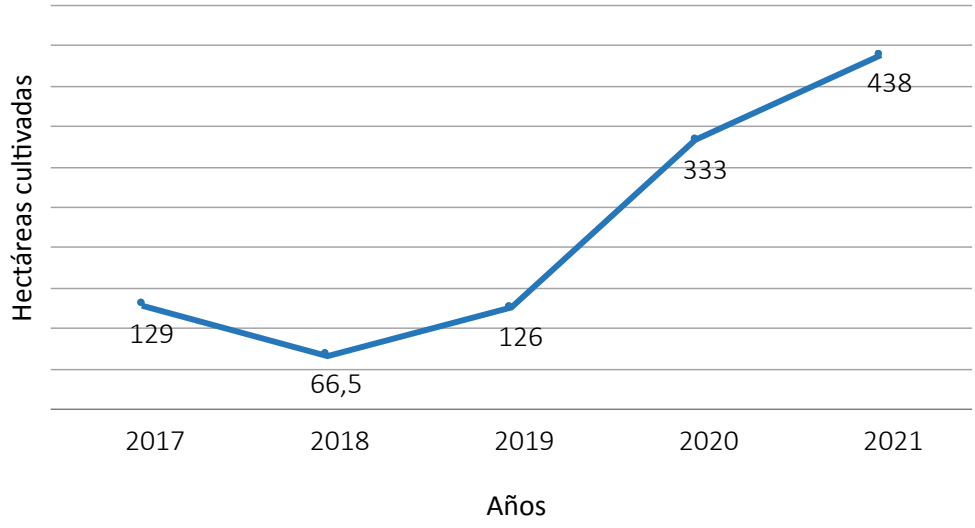


Figura 2.6.

Comportamiento del área de siembra del cultivo de batata Agrosavia Aurora en la región Caribe, incluyendo San Andrés y Providencia, 2017-2021.

Fuente: Elaboración propia

Se ha identificado que los productores que han establecido la variedad en su unidad productiva se caracterizan por tener tierras propias, con capacidad de inversión de capital e interés de diversificación agrícola.

Dinámicas del mercado de exportación

La variedad de batata Agrosavia Aurora se ha reconocido por su potencial de exportación. En 2022 se exportaron 305 kilos de esta variedad de batata. La procedencia de la producción es Antioquia y Bogotá; sin embargo, al analizar los lugares de origen del producto en los últimos cinco años, se evidencia que es frecuente que proceda del Atlántico y de Santander, y en menor medida de Sucre y Antioquia, tal como lo muestra la figura 2.7.

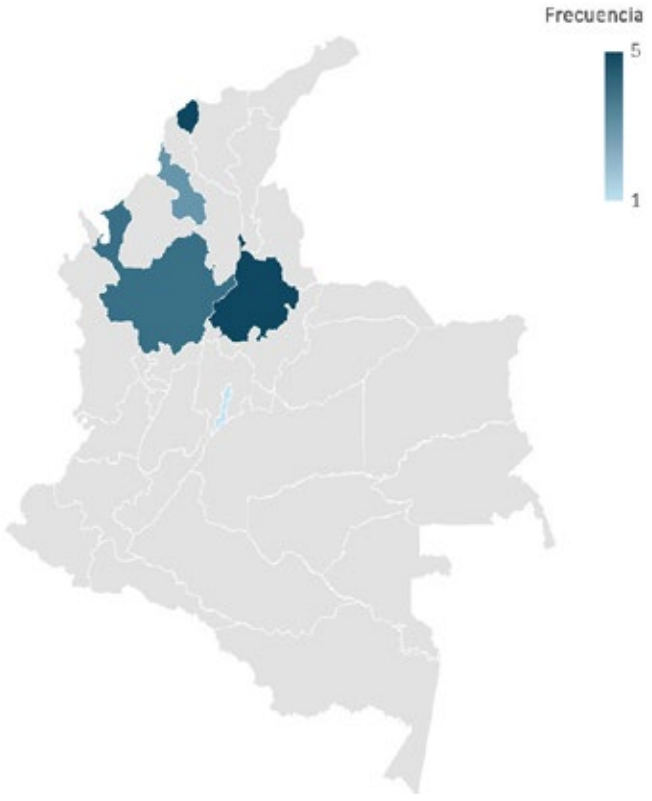


Figura 2.7.

Procedencia de la batata Agrosavia Aurora que se ha exportado entre 2017 y 2022.

Fuente: Elaboración propia a partir de Legiscomex (2024)

Los actores del eslabón de la comercialización tipo exportación mencionan que existen ciertas brechas para desarrollar esta labor; la limitación más recurrente es el incumplimiento de los acuerdos, la cual se considera la más crítica para poder desarrollar el ingreso al mercado internacional.

Así, las principales limitaciones para potenciar la comercialización internacional de batata desde Colombia son las siguientes:

1. Incumplimiento del contrato por parte de los productores que aceptan el relacionamiento comercial con aliados exportadores.
2. Bajos volúmenes en el momento de la entrega del producto.
3. Desconocimiento de la normatividad por parte de los productores para entregar un producto de calidad.
4. Falta de predios certificados por GLOBAL G. A. P. en las zonas cercanas a los puntos logísticos de exportación.
5. Deficiencias en la trazabilidad de la semilla de batata y vacíos en la normatividad vigente sobre la categoría de la semilla a escala comercial.
6. Falta de disponibilidad de semilla comercial: solo se encuentra de tipo fomento.

Tipos de actores de la demanda de batata

Los actores que se identificaron desde los diferentes eslabones que demandan las raíces comerciales de batata se muestran en la tabla 2.4, en la cual se describen sus características, su escala o cobertura geográfica y las condiciones de los acuerdos con los actores de la oferta (productores).

Tabla 2.4. Actores identificados en la cadena agroalimentaria de la batata

Actores de la demanda	Objetivo en el negocio	Tipo de mercado	Requerimiento de contrato
Acopiadores	Mayor volumen de batata de primera categoría; en menor medida, producto de segunda categoría	Regional y nacional	No
Emprendedores	Calidad en las raíces frescas de batata	Local	El suministro de raíces es propio, en gran medida
Empresas de *snacks* de tipo exportación	Calidad y cantidad	Regional	Contrato
Empresas de servicios de exportación	Conexión con clientes internacionales	Internacional	Contrato

Fuente: Elaboración propia

Frente a este panorama, aunque las condiciones agroclimáticas en Colombia son adecuadas para el cultivo comercial de batata, existen restricciones de base para impulsar un mayor mercado nacional e internacional que deben ser subsanadas desde los desarrollos tecnológicos y la gestión con instituciones responsables de la normativa en certificación de fincas productoras y esquemas de producción de semilla certificada.

Referencias

Bernal, R., Gradstein, S. R., & Celis, M. (Eds.). (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

Butler, R. A. (2020). Countries with the highest biodiversity. *World Rainforest*. https://rainforests.mongabay.com/03highest_biodiversity.htm

García López, V., Giraldo, O. F., Morales, H., Rosset, P. M., & Duarte, J. M. (2019). Seed sovereignty and agroecological scaling: Two cases of seed recovery, conservation, and defense in Colombia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *43*, 827-847. https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1578720

Garrido-Rubiano, M. F., Martínez-Medrano, J. C., Martínez-Bautista, H., Granados-Carvajal, R. E., & Rendón-Medel, R. (2016). Pequeños productores de maíz en el Caribe colombiano: estudio de sus atributos y prácticas agrícolas. *Revista*

Ciencia y Tecnología Agropecuaria, *18*(1), 7-23. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:556

Kah, M., Sabliov, C., Wang, Y., & White, J. C. (2023). Nanotechnology as a foundational tool to combat global food insecurity. *One Earth*, *6*(7), 772-775. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.06.011

Kass, J. M., Muscarella, R., Galante, P. J., Bohl, C. L., Pinilla-Buitrago, G. E., Boria, R. A., Soley-Guardia, M., & Anderson, R. P. (2021). ENMeval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, *12*(9), 1.602-1.608. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13628

Khoury, C. K., Heider, B., Castañeda-Álvarez, N. P., Achicanoy, H. A., Sosa, C. C., Miller, R. E., Scotland, R. W., Wood, J. R. I., Rossel, G., Eserman, L. A., Jarret, R. L., Yencho, G. C., Bernau, V., Juarez, H., Sotelo, S., De Haan, S., & Struik, P. C. (2015). Distributions, *ex situ* conservation priorities, and genetic resource potential of crop wild relatives of sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam., I. series batatas]. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 1-14. https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.00251

Legiscomex. (2024). Módulo de consulta: estadísticas de comercio exterior. Consulta detallada por código de partida 0714209000 - los demás camotes (batata boniatos) frescos, refrigerados, congelados o secos, incluso troceados o en pellets. https://www.legiscomex.com/

Rosero, A., Burgos-Paz, W., Araujo, H., Pastrana-Vargas, I. J., Martínez, R., Pérez, J.-L., & Espitia, L. (2023). Sweet potato varietal selection using combined methods of multi-trait index, genetic gain and stability from multi-environmental evaluations. *Horticulturae*, *9*(*9*), 974. https://doi.org/10.3390/horticulturae9090974

Rosero, A., Rodríguez, E., Aguilera-Arango, G., Rosero, M.-G., Granda, L., Pastrana, I., Martínez, R., Perez, J.-L., Espitia, L., Gomez, E., Rodríguez, T., & Sieber, S. (2022). Assessment of the current state of *in situ* conservation and use of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in Colombia. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, *44*(1), 76-89. https://doi.org/10.1111/CUAG.12293

Roullier, C., Benoit, L., McKey, D. B., & Lebot, V. (2013). Historical collections reveal patterns of diffusion of sweet potato in Oceania obscured by modern plant movements and recombination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(6), 2.205-2.210. https://doi.org/10.1073/pnas.1211049110

Shakoor, A., Albasher, G., & Farooq, T. H. (2023). Climate change on the brink: Time for urgent action. *Ecological Informatics*, *78*, artículo 102286. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102286

Tarache-Ricaurte, Y. (2023). *Importancia del cultivo de Batata* (Ipomoea batatas *(L). Lam.*) *en Colombia y sus prospectivas de producción y comercialización* [tesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

CAPÍTULO 3.

La batata y su importancia como producto de alto valor nutricional

JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS Y ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA

La batata es un producto potencial para prevenir la desnutrición y reducir la inseguridad alimentaria debido a su composición nutricional y sus características agronómicas, que le permiten establecerse en condiciones climáticas adversas. Sin embargo, el desconocimiento sobre las bondades nutricionales de la batata ha limitado su consumo. Reconocer la calidad nutricional de la batata y los beneficios de su consumo en la salud es necesario para comprender la importancia de incluir o incrementar su consumo en la dieta alimenticia.

Composición nutricional de las raíces tuberosas de batata

Las batatas, por su alto contenido en hidratos de carbono, son consideradas como un alimento con un alto aporte energético. El sabor de las batatas generalmente es dulce, característica atribuida al contenido de azúcares, que presenta variaciones dependiendo del genotipo. Teniendo en cuenta el contenido nutricional de la batata (tabla 3.1) (Moreiras et al., 2013), entre sus minerales se resaltan los altos contenidos de potasio y fósforo. En cuanto al contenido vitamínico, se destaca el aporte de vitamina A y carotenos, superior en genotipos con pulpa amarilla-naranja intenso. La batata también es una fuente de vitamina C, aunque una parte de este aporte puede perderse durante el proceso de cocción (Mohanraj & Sivasankar, 2014; Moreiras et al., 2013; Nguyen et al., 2021).

Tabla 3.1. Composición nutricional de la batata por 100 g de porción comestible

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Agua (g)	74,2	Fósforo (mg)	60	AGS (g)	0,23
Energía (Kcal)	91	Selenio (µg)	1	C14:0 – Mirístico (g)	0,003
Proteínas (g)	1,2	Tiamina (mg)	0,1	C16:0 – Palmítico (g)	0,168
Lípidos totales (g)	0,6	Riboflavina (mg)	0,06	C18:0 – Esteárico (g)	0,016
Hidratos de carbono (g)	21,5	Equivalentes de niacina (mg)	1,2	AGM (g)	0,04
Fibra (g)	2,5	Vitamina B6 (mg)	0,22	C16:0 – Palmitoleico (g)	0,007
Calcio (mg)	22	Ácido fólico (µg)	52	C18:0 - Oleico (ω9) (g)	0,032
Hierro (mg)	0,7	Vitamina B12 (µg)	0	AGP (g)	0,2
Yodo (µg)	2	Vitamina C (mg)	25	C18:2 - Linoleico (ω6) (g)	0,165
Magnesio (mg)	13	Vitamina A (µg)	667	C18:3 - Linolénico (ω3) (g)	0,033
Zinc (mg)	0,3	Vitamina D (µg)	0	Colesterol (mg)	0
Sodio (mg)	19	Vitamina E (mg)	4	Relación AGP/AGS	0,85
Potasio (mg)	320	Carotenos (µg)	4,002	(AGP+AGM)/AGS	1,02

AGS: ácidos grasos saturados; AGM: ácidos grasos monoinsaturados; AGP: ácidos grasos poliinsaturados.

Fuente: Moreiras et al. (2013)

Respecto al contenido de carotenoides en genotipos cultivados en Colombia, se ha podido observar, en estudios previos, que está relacionado con el color de la pulpa: el contenido incrementa cuando el color de la pulpa es más anaranjado (Tomlins et al., 2012; Tumwegamire et al., 2011). En general, se ha observado una gran diversidad en el color de la pulpa de las diferentes variedades, lo cual repercute directamente en la composición nutricional de la batata, que incluye compuestos adicionales a los propios pigmentos que le dan el color a la pulpa (figura 3.1). Esa interacción de los carotenos con cenizas y el contenido de proteína total ha sido evidenciada.

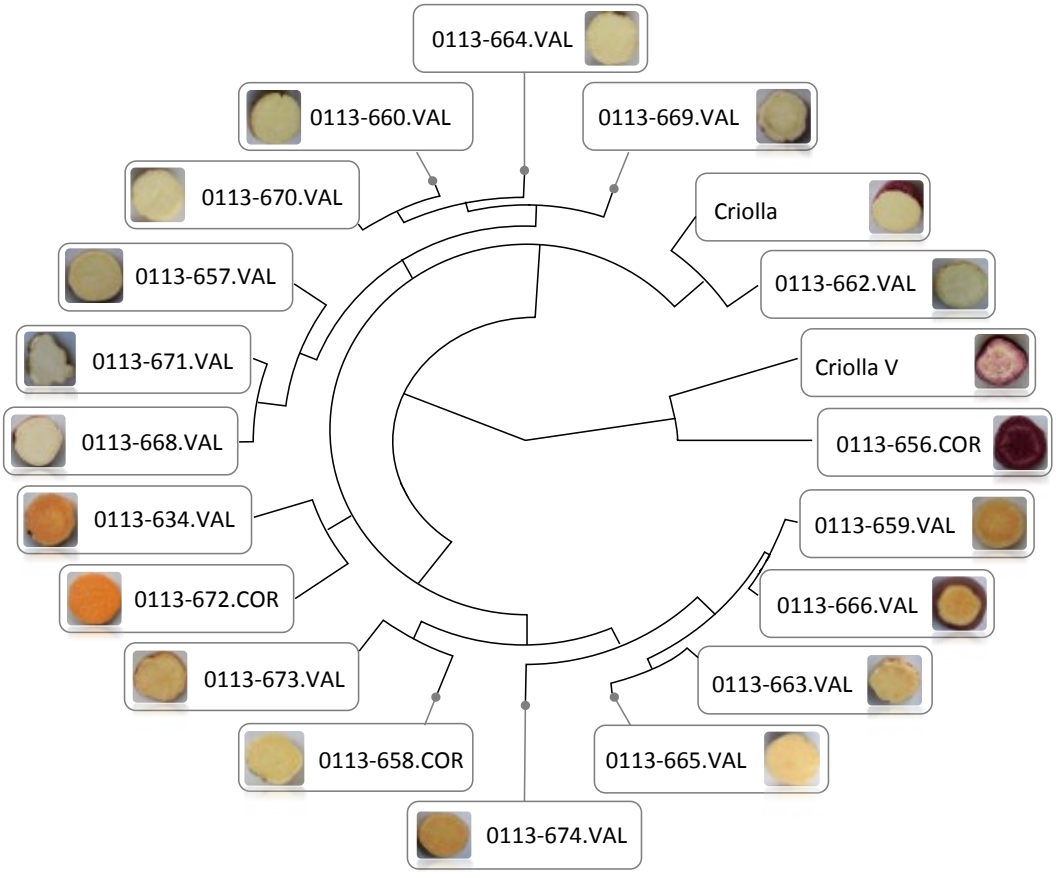


Figura 3.1.

Diversidad de colores en la pulpa de algunas variedades de batata cultivadas en Colombia.

Fuente: Rosero et al. (2020)

En los genotipos de pulpa naranja Agrosavia Ambarina y Agrosavia Aurora se logró observar un mayor contenido de carotenos en comparación con los otros genotipos de pulpa amarilla (tabla 3.2) (Rosero et al., 2022).

Tabla 3.2. Composición aproximada (basada en peso seco) y contenido de caroteno en genotipos seleccionados de batata provenientes de Colombia

Genotipo	Color de la pulpa	Proteínas (g/100 g de PS)	Fibra bruta (g/100 g de PS)	Sólidos solubles (°Bx)	Carotenoides totales (µg/g de PS)	Todo trans-ßcaroteno (µg/g de PS)
0113-659.VAL	Amarilla	7,16 ± 3,51	5,15 ± 1,23	9,54 ± 1,14	79,6 ± 49,1	46,3 ± 41,1
0113-663.VAL	Amarilla	7,78 ± 3,97	4,16 ± 0,68	9,32 ± 1,14	36,6 ± 16,9	22,3 ± 14,9
0113-665.VAL	Amarilla	8,87 ± 3,36	4,56 ± 1,05	10,11 ± 1,63	52,1 ± 28,2	23,9 ± 14,3
0113-673.VAL	Amarilla	6,95 ± 2,39	3,98 ± 0,48	8,79 ± 1,51	36,6 ± 16,9	22,3 ± 14,9
Agrosavia Ambarina	Naranja	8,33 ± 3,29	3,79 ± 0,42	10,94 ± 1,99	240,3 ± 77,9	203,1 ± 75,4
Agrosavia Aurora	Naranja	7,4 ± 2,39	4,88 ± 0,73	9,63 ± 1,73	286,2 ± 58,2	252 ± 51,4

PS: peso seco.

Fuente: Rosero et al. (2022)

En relación con el aporte de carotenos en el contenido de vitamina A para los genotipos Agrosavia Aurora (pulpa naranja) y criolla (pulpa crema), se estimó la cantidad de equivalentes de actividad del retinol (RAE), considerando una retención promedio después de la cocción del 80 % y utilizando las cantidades diarias recomendadas (RDA) de vitamina A (Institute of Medicine, 2001). Así, se demostró el potencial de las raíces de batata biofortificada, como Agrosavia Aurora, para proporcionar la dosis diaria recomendada en niños y mujeres embarazadas, no embarazadas y lactantes (tabla 3.3) (Rosero et al., 2022). Considerando lo anterior, se debe tener en cuenta que pueden ocurrir variaciones en la composición nutricional, lo cual puede deberse a diferentes factores, como el genotipo, la madurez, la cosecha, la geografía, entre otros (Alam, 2021).

Tabla 3.3. Equivalentes de actividad del retinol (RAE) calculados y contribución potencial a la cantidad diaria recomendada de vitamina A proporcionada en el consumo de batata

Equivalentes de actividad del retinol (RAE)		Contribución realizada por 125 g de batata hervida	
		Agrosavia Aurora (pulpa naranja)	Criolla (pulpa crema)
Contenido de todo trans-β-caroteno (µg/125 g)		5.985	244
RAE (µg/125 g)[a]		499	20
µg de RAE cuando se hierve[b]		399	16
Cantidad diaria recomendada (µg/día)[c]	Edad	Agrosavia Aurora (pulpa naranja)	Criolla (pulpa crema)
400	Niños: 4-8 años	100	4
700	Mujeres adultas: 19-50 años	57	2
770	Mujeres embarazadas (> 19 años)	52	2
1.300	Mujeres lactantes (> 19 años)	31	1

[a] RAE: equivalentes de actividad del retinol: 12 µg de todo trans-β-caroteno = 1 µg de retinol = 1 µg de RAE.

[b] El contenido de nutrientes en raíces hervidas fue calculado a partir del contenido fresco obtenido en el presente estudio, utilizando una retención de cocción promedio para la batata del 80 %.

[c] Cantidad diaria recomendada: nivel diario promedio de ingesta suficiente para satisfacer las necesidades de nutrientes de casi todos (97 %-98 %) los individuos sanos en una etapa particular de la vida.

Fuente: Rosero et al. (2022)

A pesar de la alta influencia del genotipo sobre las características de calidad nutricional, se ha encontrado que efectos ambientales o del ciclo fenológico influyen en la acumulación de pigmentos, así como también de otros compuestos nutricionales. En cuanto al ciclo fenológico, los contenidos de cenizas y sólidos solubles pueden verse incrementados, mientras que hay un descenso de proteína y fibra cruda (figura 3.2).

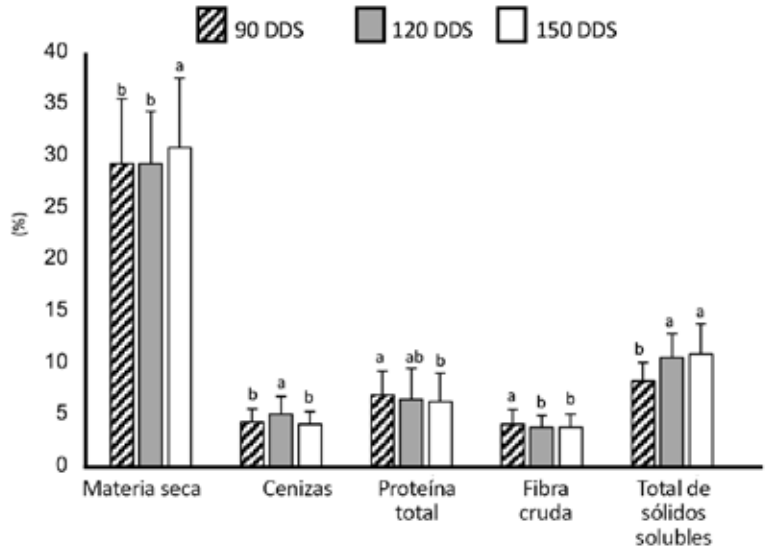


Figura 3.2.

Comparación del análisis de raíces de batata entre diferentes épocas de cosecha, 90, 120 y 150 días después de la siembra.

Fuente: Rosero et al. (2020)

Para el caso de los carotenos, se ha encontrado que el ambiente influye sobre la acumulación de pigmentos. En la figura 3.3 se muestra la respuesta de las variedades Agrosavia Aurora y Agrosavia Ambarina, sembradas en diferentes ambientes (figura 3.3).

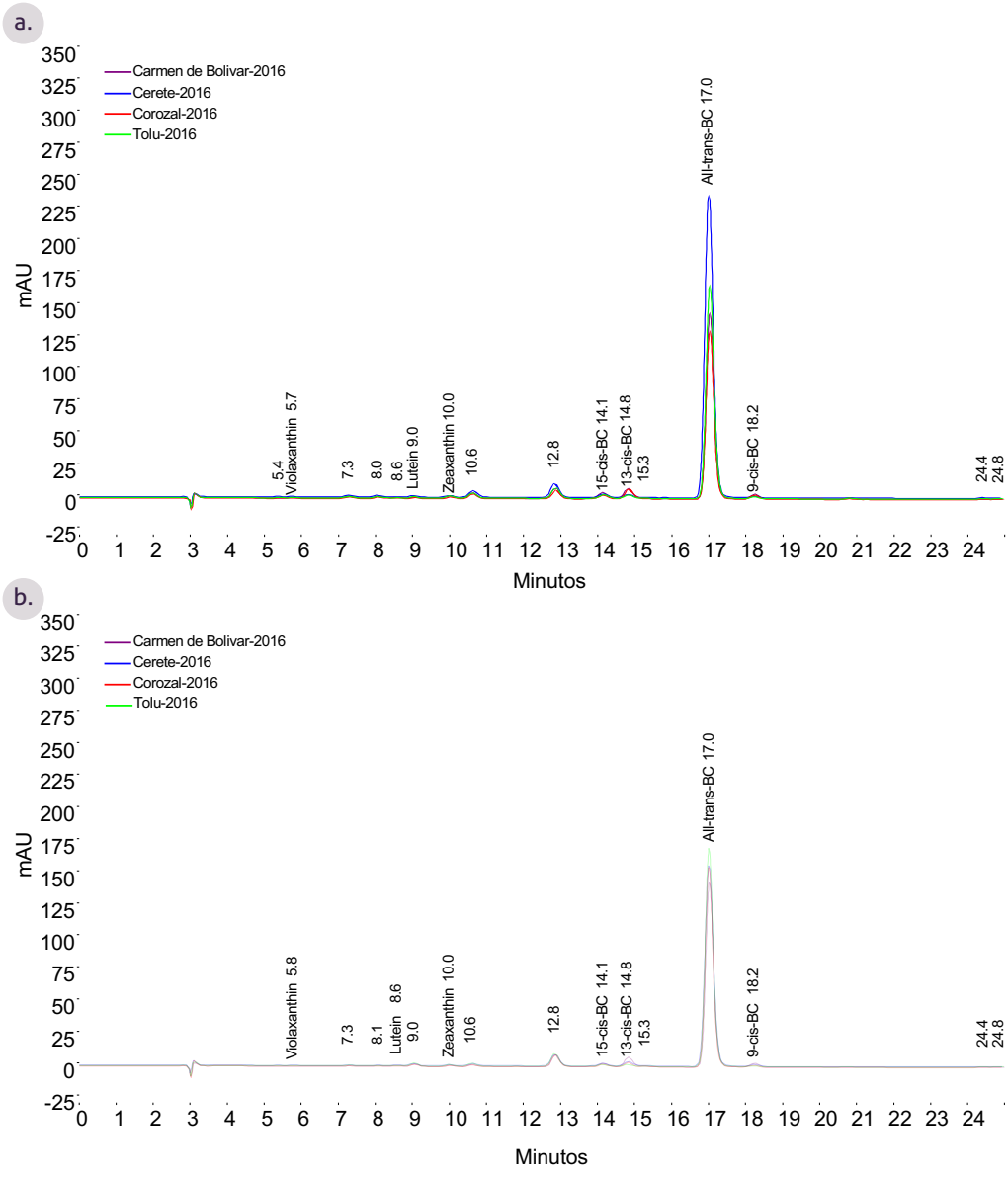


Figura 3.3.

Comportamiento de dos variedades de batata en la acumulación de trans-ß-carotenos en diferentes localidades de la costa Caribe colombiana. a. Variedad Agrosavia Aurora; b. Variedad Agrosavia Ambarina.

Fuente: Rosero et al. (2022)

Composición nutricional de las hojas de batata

Además de las raíces tuberosas que genera la batata, las hojas, por sus contenidos nutricionales de elementos esenciales y vitaminas, actualmente son consideradas en la alimentación humana (Nguyen et al., 2021; Salgado Chávez et al., 2022). Las hojas se consideran también un alimento funcional muy importante por su alto contenido de compuestos bioactivos, como polifenoles, flavonoides y carotenoides, destacándose el alto contenido de luteína y lisina en comparación con verduras como la col rizada, las espinacas, el brócoli y la lechuga (Nguyen et al., 2021; Salgado Chávez et al., 2022; Sasaki et al., 2015; Suárez et al., 2020).

Una aproximación al contenido de minerales en hojas de batata fue compilada por Nguyen et al. (2021) (tabla 3.4), quienes se basaron en los resultados obtenidos por H. Sun et al. (2014), quienes reportaron el contenido de macro- y micronutrientes en 40 cultivares de batata del Instituto de Investigación de la Batata de la Academia China de Ciencias Agrícolas (Xuzhou, China): Ximeng n.º 1, Jinyu n.º 1, Jishu, Shi n.º 5, Xushu n.º 55-2, Jishu n.º 22, Yanshu n.º 25, Xushu n.º 23, Sushu n.º 14, Wanshu n.º 5, Longshu n.º 9, Hongxinwang, Xushu n.º 053601, Nongda n.º 6-2, Miyuan n.º 6, Yuzi n.º 7, Beijing n.º 553, Xinong n.º 1, Jishu n.º 04150, Pushu n.º 53, Xushu n.º 22-1, Shangshu n.º 19 (*spring*), Shangshu n.º 19 (*summer*), Sushu n.º 16, Chuanshu n.º 294, Xinxiang n.º 1, Xushu n.º 038008, Yanzi n.º 337, Shanchuanzi, Pushu n.º 17, Jinong n.º 2694, Fushu n.º 2, Ningzi n.º 23-1, Langshu n.º 7-12, Jingshu n.º 6, Ningzi n.º 1, Yuzi n.º 263, Xushu n.º 26, Jishu n.º 65 y Xushu n.º 22 (*spring*). Por otro lado, la composición de vitaminas en hojas de batata fue determinada por Ishida et al. (2000) en dos variedades de batata, Koganesengan (KS) y Beniazuma (BA), cultivadas en la Universidad de Agricultura de Tokio (Japón).

Tabla 3.4. Composiciones minerales y vitamínicas de hojas de batata por cada 100 g de materia seca

Elemento[a]	Cantidad (mg/100 g)	Elemento[b]	Cantidad (mg/100 g)
Na	8,06-832,31	Vitamina B3	0,856-1,498
Mg	220,2-910,5	Vitamina B6	0,12-0,329
P	131,1-2.639,8	Vitamina B2	0,248-0,254
Ca	229,7-1.958,1	Vitamina B1	0,053-0,128
K	479,3-4.280,6	Vitamina C	0,0627-0,081
Cu	0,7-1,9	Vitamina E	0,00139-0,00284
Zn	1,2-3,2	Vitamina B5	0,32-0,66
Mn	1,7-10,9	β-caroteno	0,273-0,4
Fe	1,9-21,8	Biotina	0,003-0,008

[a] Información tomada de H. Sun et al. (2014).

[b] Información tomada de Ishida et al. (2000).

Fuente: Nguyen et al. (2021)

Beneficios de la batata en la salud humana

La batata, además de considerarse un alimento funcional por sus altos contenidos nutricionales, cuenta con propiedades medicinales, antioxidantes, antidiabéticas, anticancerígenas, cardioprotectoras y antiinflamatorias, propiedades atribuidas a fitoquímicos que varían según la variedad, los factores ambientales y el manejo del cultivo (Alam, 2021; Kobayashi et al., 2019; Salgado Chávez et al., 2022; Y. Sun et al., 2019). Las principales moléculas presentes en la batata con importancia en la salud son los triterpenos, los esteroides, los alcaloides, las antraquinonas, las cumarinas, los flavonoides, las saponinas, los taninos, los ácidos fenólicos, los carotenos y los terpenos, compuestos que, al ser consumidos, generan efectos positivos en la salud (Mohanraj & Sivasankar, 2014; Pochapski et al., 2011).

Actividad antioxidante

La propiedad antioxidante de las batatas está relacionada principalmente con la presencia de compuestos como los carotenos, las antocianinas, los ácidos fenólicos, los aminoácidos hidrófobos y los flavonoides (Abong

et al., 2021; Alam, 2021; Luo et al., 2021). Para el caso de las raíces tuberosas, se ha encontrado que tienen un potencial para la reducción de radicales libres y agentes reductores (Kim et al., 2019). Las variedades con pulpa morada tienen una alta capacidad antioxidante debido a su alto contenido en fenoles totales (Mohanraj & Sivasankar, 2014; Sun et al., 2019), mientras que las variedades de pulpa naranja y amarilla presentan una alta actividad antioxidante debido a los altos contenidos en carotenoides (Lebot et al., 2016). Se ha encontrado, asimismo, que la cáscara de la batata también es una fuente rica de fitoquímicos antioxidantes (Anastácio et al., 2016). Respecto a las hojas de batata, también se ha demostrado que presentan actividad antioxidante, capacidad que está asociada con el contenido de polifenoles y carbohidratos totales (Abong et al., 2021; Makori et al., 2020; Mohanraj & Sivasankar, 2014).

La propiedad antioxidante de la batata genera beneficios en los consumidores, pues se han demostrado efectos positivos en enfermedades degenerativas como el cáncer, el asma, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la inflamación, la demencia senil y las enfermedades oculares (Luo et al., 2021). Igualmente, se ha reportado una actividad antioxidante en líneas celulares del cáncer de mama humano, el cáncer de cuello uterino humano y el cáncer de colon humano (Alam, 2021; Mohanraj & Sivasankar, 2014; Nguyen et al., 2021; Salgado Chávez et al., 2022).

Actividad antidiabética

La batata se ha convertido en una alternativa como agente antidiabético de bajo costo por su contenido de flavonoides, ácidos fenólicos, antocianinas, saponinas, alcaloides, glucósidos y terpenos, compuestos que desempeñan una actividad antidiabética mediante diferentes formas, como la actividad imitadora de la insulina (al favorecer su producción), la inhibición de actividades enzimáticas y la alteración de la utilización de la glucosa; por lo tanto, puede utilizarse eficazmente como agente potencial para el tratamiento de la diabetes *mellitus* tipo 2 (Alam, 2021; Luo et al., 2021).

Respecto a las raíces de la batata, se han encontrado efectos positivos para regular la resistencia a la insulina (Alam, 2021): se ha demostrado que

extractos de batata de pulpa naranja generaron un efecto positivo sobre enzimas antioxidantes y genes asociados a células resistentes a la insulina (Ayeleso et al., 2018). Igualmente, las antocianinas presentes en el extracto de la batata de pulpa morada han reducido los niveles de glucosa en sangre en ratones en ayunas (Jang et al., 2019), mientras que el consumo de batata de pulpa blanca en personas mayores con diabetes generó una disminución de los niveles de hemoglobina glucosilada (Shih et al., 2020).

Por su parte, la propiedad antidiabética de la hoja de batata se ha atribuido a su contenido fitoquímico de ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas (Alam, 2021; Luo et al., 2021) y, particularmente, ácido clorogénico, que reduce la liberación de glucosa al torrente sanguíneo y, consiguientemente, el índice glucémico, beneficiando así a los pacientes diabéticos y reduciendo el riesgo de diabetes (Bassoli et al., 2008; Nguyen et al., 2021).

Actividad anticancerígena

Se ha documentado que la batata tiene propiedades anticancerígenas, según varios experimentos con diferentes formas de líneas celulares cancerosas, al inhibir la proliferación de células cancerosas e inducir la apoptosis (Alam, 2021; Wang et al., 2016). En batatas de pulpa amarilla, la presencia de una glicoproteína SPG-56 presentó efecto anticancerígeno en la línea celular de carcinoma de mama humano, favoreciendo la apoptosis de las células cancerígenas (Li et al., 2019). Por otro lado, la glicoproteína SPG-8700 presentó actividad contra el cáncer colorrectal, al promover la apoptosis en células HCT-116 de cáncer de colon humano (Tian et al., 2019).

El extracto de raíces rico en antocianinas de la batata morada manifestó actividad anticancerígena *in vivo* en ratones, con disminución del número de pólipos de adenoma en el intestino delgado, mostrando protección contra el cáncer colorrectal (Asadi et al., 2017). En el caso de las hojas de batata, se ha reportado que extractos metanólicos inhibieron la proliferación celular en todas las líneas celulares de cáncer de próstata humano (Karna et al., 2011). Asimismo, en hojas de batata se ha reportado la presencia de un péptido de dieciséis aminoácidos, llamado péptido anticancerígeno de *Ipomoea batatas* (IbACP), con efecto de inhibición sobre líneas celulares de cáncer de páncreas humano (Chang et al., 2013).

Las antocianinas, polifenoles, ácidos isoclorogénicos, el ácido cafeico, el éster de ácido clorogénico y derivados del ácido cafeoilquínico, presentes en las hojas de batata, son moléculas con actividad anticancerígena contra varias células cancerosas, incluido el cáncer de colon, el cáncer de mama, el cáncer colorrectal y el cáncer de pulmón (Nguyen et al., 2021).

Actividad cardioprotectora

Las raíces de batata contienen taninos, saponinas, flavonoides, terpenoides, alcaloides, antraquinonas, azúcares reductores y glucósidos cardiacos que generan una disminución de la actividad de la creatina sérica y la lactatodeshidrogenasa, relacionadas con enfermedades cardiacas (Shafe et al., 2016). Los inhibidores de tripsina de la batata, también conocidos como esporaminas, son las principales proteínas presentes en la raíz y reducen la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) *in vitro* (Lu et al., 2020). Los hidrolizados de proteína de batata, hidrolizados por pepsina, son potenciales inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ECA). En ratas Wistar alimentadas con batata morada se redujeron los niveles de colesterol total, triglicéridos y colesterol LDL (Jawi et al., 2020).

La abundante antocianina fitoquímica en la hoja de batata reduce el riesgo de enfermedad de las arterias coronarias (Alam, 2021; Alam et al., 2020; Wang et al., 2016). El contenido de vitamina B6 facilita la degradación de la homocisteína, que provoca el endurecimiento de los vasos sanguíneos y las arterias, mientras que el contenido de potasio reduce la presión arterial y preserva el equilibrio de líquidos (Mohanraj & Sivasankar, 2014). El ácido cafeoilquínico en la hoja de batata es un inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina que controla la hipertensión y la insuficiencia cardiaca congestiva (Nguyen et al., 2021).

En un estudio realizado en Japón, se alimentaron ratas hipertensas con batata de pulpa morada (400 mg de batata/kg) y, al cabo de dos horas, estas ratas registraron una menor presión sanguínea que ratas que no habían comido batata, hasta ocho horas después de la ingesta. El mismo efecto se observó a largo plazo en ratas alimentadas con batata (0,1 %-0,2 % de batata en la dieta durante ocho semanas). Cuando se suprimió la dieta con batata, la presión sanguínea de estas ratas volvió a subir. El efecto de la batata sobre la presión sanguínea se comprobó

en un estudio con doce seres humanos hipertensos, a la mitad de los cuales se le logró bajar la presión a valores no peligrosos luego de ingerir 120 mL de jugo de batata durante 44 días. El consumo de batata, por su alto contenido de potasio, es recomendado como parte de una dieta saludable para controlar la presión.

Actividad antiinflamatoria e inmunomoduladora

Se han evaluado las propiedades antiinflamatorias de las raíces de batata de pulpa morada, naranja y blanca mediante la evaluación de la actividad inhibidora de la 5-lipoxigenasa (Sendangratri et al., 2019). Polisacáridos solubles en agua aislados de batatas moradas presentaron efectos antiinflamatorios contra la inflamación intestinal, una disminución en la producción de citocinas proinflamatorias y un aumento en la secreción de citocinas antiinflamatorias, además de que favorecieron la producción de inmunoglobulinas en sangre (Sun et al., 2020; Luo et al., 2021; Makori et al., 2020). La capacidad antiinflamatoria de los extractos de hojas se atribuye a la presencia de ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides y contenidos de manganeso, fósforo, magnesio y vitaminas A y E, compuestos que también promueven un sistema inmunológico fuerte y son importantes antioxidantes para combatir las enfermedades (Alam, 2021; Mohanraj & Sivasankar, 2014; Nguyen et al., 2021).

Referencias

Abong, G. O., Muzhingi, T., Okoth, M. W., Ng'ang'a, F., Ochieng, P. E., Mbogo, D. M., Malavi, D., Akhwale, M., & Ghimire, S. (2021). Processing methods affect phytochemical contents in products prepared from orange-fleshed sweetpotato leaves and roots. *Food Science & Nutrition*, *9*(2), 1.070-1.078. https://doi.org/10.1002/FSN3.2081

Alam, M. K. (2021). A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, *115*, 512-529. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.07.001

Alam, M. K., Sams, S., Rana, Z. H., Akhtaruzzaman, M., & Islam, S. N. (2020). Minerals, vitamin C, and effect of thermal processing on carotenoids composition in nine varieties orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of*

Food Composition and Analysis, *92*, artículo 103582. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2020.103582

Anastácio, A., Silva, R., & Carvalho, I. S. (2016). Phenolics extraction from sweet potato peels: Modelling and optimization by response surface modelling and artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(12), 4.117-4.125. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2354-1

Asadi, K., Ferguson, L. R., Philpott, M., & Karunasinghe, N. (2017). Cancer-preventive properties of an anthocyanin-enriched sweet potato in the APC^{MIN} mouse model. *Journal of Cancer Prevention*, *22*(3), 135-146. https://doi.org/10.15430/JCP.2017.22.3.135

Ayeleso, T. B., Ramachela, K., & Mukwevho, E. (2018). Aqueous-methanol extracts of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*) ameliorate oxidative stress and modulate type 2 diabetes associated genes in insulin resistant C2C12 cells. *Molecules*, *23*(8). https://doi.org/10.3390/MOLECULES23082058

Bassoli, B. K., Cassolla, P., Borba-Murad, G. R., Constantin, R., Salgueiro-Pagadigorria, C. L., Bazotte, R. B., Dos Santos Ferreira da Silva, R. S., & De Souza, H. M. (2008). Chlorogenic acid reduces the plasma glucose peak in the oral glucose tolerance test: Effects on hepatic glucose release and glycaemia. *Cell Biochemistry & Function*, *26*(3), 320-328. https://doi.org/10.1002/CBF.1444

Chang, V. H.-S., Yang, D. H.-A., Lin, H.-H., Pearce, G., Ryan, C. A., & Chen, Y.-C. (2013). IbACP, a sixteen-amino-acid peptide isolated from *Ipomoea batatas* leaves, induces carcinoma cell apoptosis. *Peptides*, *47*, 148-156. https://doi.org/10.1016/J.PEPTIDES.2013.02.005

Institute of Medicine. (2001). *Dietary reference intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. National Academy Press. https://doi.org/10.17226/10026

Ishida, H., Suzuno, H., Sugiyama, N., Innami, S., Tadokoro, T., & Maekawa, A. (2000). Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas poir*). *Food Chemistry*, *68*(3), 359-367. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00206-X

Jang, H.-H., Kim, H.-W., Kim, S.-Y., Kim, S.-M., Kim, J.-B., & Lee, Y.-M. (2019). *In vitro* and *in vivo* hypoglycemic effects of cyanidin 3-caffeoyl-p-hydroxybenzoylsophoroside-5-glucoside, an anthocyanin isolated from purple-fleshed sweet potato. *Food Chemistry*, *272*, 688-693. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.08.010

Jawi, M., Yasa, W. P. S., Mahendra, A. N., & Sumardika, W. (2020). Effective dose and safety profile of purple sweet potato tablet preparation in rats with high cholesterol diet. *Biomedical and Pharmacology Journal*, *13*, 665-671. https://doi.org/10.13005/BPJ/1930

Karna, P., Gundala, S. R., Gupta, M. V., Shamsi, S. A., Pace, R. D., Yates, C., Narayan, S., & Aneja, R. (2011). Polyphenol-rich sweet potato greens extract inhibits

proliferation and induces apoptosis in prostate cancer cells *in vitro* and *in vivo*. *Carcinogenesis*, *32*(12), 1.872-1.880. https://doi.org/10.1093/CARCIN/BGR215

Kim, M. Y., Lee, B. W., Lee, H.-U., Lee, Y. Y., Kim, M. H., Lee, J. Y., Lee, B. K., Woo, K. S., & Kim, H.-J. (2019). Phenolic compounds and antioxidant activity in sweet potato after heat treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(15), 6.833-6.840. https://doi.org/10.1002/JSFA.9968

Kobayashi, T., Kurata, R., & Kai, Y. (2019). Seasonal variation in the yield and polyphenol content of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) foliage. *The Horticulture Journal*, *88*, 270-275. https://doi.org/10.2503/HORTJ.UTD-025

Lebot, V., Michalet, S., & Legendre, L. (2016). Identification and quantification of phenolic compounds responsible for the antioxidant activity of sweet potatoes with different flesh colours using high performance thin layer chromatography (HPTLC). *Journal of Food Composition and Analysis*, *49*, 94-101. https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2016.04.009

Li, Z., Yu, Y., Wang, M., Xu, H., Han, B., Jiang, P., Ma, H., Li, Y., Tian, C., Zhou, D., Li, X., & Ye, X. (2019). Anti-breast cancer activity of SPG-56 from sweet potato in MCF-7 bearing mice *in situ* through promoting apoptosis and inhibiting metastasis. *Scientific Reports*, *9*, artículo 146. https://doi.org/10.1038/s41598-018-29099-x

Lu, Y.-L., Lee, C.-J., Lin, S.-Y., & Hou, W.-C. (2020). Reductions of copper ion-mediated low-density lipoprotein (LDL) oxidations of trypsin inhibitors, the sweet potato root major proteins, and LDL binding capacities. *Botanical Studies*, *61*, artículo 26. https://doi.org/10.1186/S40529-020-00303-4/FIGURES/4

Luo, D., Mu, T., & Sun, H. (2021). Profiling of phenolic acids and flavonoids in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves and evaluation of their anti-oxidant and hypoglycemic activities. *Food Bioscience*, *39*, artículo 100801. https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100801

Makori, S. I., Mu, T.-H., & Sun H.-N. (2020). Total polyphenol content, antioxidant activity, and individual phenolic composition of different edible parts of 4 sweet potato cultivars. *Natural Product Communications*, *15*(7). https://doi.org/10.1177/1934578X20936931

Mohanraj, R., & Sivasankar, S. (2014). Sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam). A valuable medicinal food: A review. *Journal of Medicinal Food*, *17*(7), 733-741. https://doi.org/10.1089/JMF.2013.2818

Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tablas de composición de alimentos* (16.ª ed.). Editorial Pirámide.

Nguyen, H. C., Chen, C.-C., Lin, K.-H., Chao, P.-Y., Lin, H.-H., & Huang, M.-Y. (2021). Bioactive compounds, antioxidants, and health benefits of sweet potato leaves. *Molecules*, *26*(7). https://doi.org/10.3390/MOLECULES26071820

Pochapski, M. T., Fosquiera, E. C., Esmerino, L. A., Dos Santos, E. B., Farago, P. V., Santos, F. A., & Groppo, F. C. (2011). Phytochemical screening, antioxidant, and antimicrobial activities of the crude leaves' extract from *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Pharmacognosy Magazine*, *7*(26), 165-170. https://doi.org/10.4103/0973-1296.80682

Rosero, A., Sierra Naranjo, C. M., Vargas, I., Granda, L., Pérez, J.-L., Martínez, R., Morelo, J., Espitia, L., Araujo, H., & De Paula, C. D. (2020). Genotypic and environmental factors influence the proximate composition and quality attributes of sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). *Agriculture & Food Security*, *9*(1). https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-020-00268-4

Rosero, A., Pastrana, I., Martínez, R., Perez, J.-L., Espitia, L., Araujo, H., Belalcazar, J., Granda, L., Jaramillo, A., & Gallego-Castillo, S. (2022). Nutritional value and consumer perception of biofortified sweet potato varieties. *Annals of Agricultural Sciences*, *67*(1), 79-89. https://doi.org/10.1016/J.AOAS.2022.05.004

Salgado Chávez, J. A., Ramírez Aristizábal, L. S., & Mosquera Martínez, Ó. M. (2022). *Ipomoea batatas* (L.) Lam. (Convolvulaceae) as a source of polyphenols with antitumor activity and prospects for *in vitro* production using chemical elicitors - A review. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, *22*(2), 156-179. https://doi.org/10.37360/BLACPMA.23.22.2.12

Sasaki, K., Oki, T., Kai, Y., Nishiba, Y., & Okuno, S. (2015). Effect of repeated harvesting on the content of caffeic acid and seven species of caffeoylquinic acids in sweet potato leaves. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *79*(8), 1.308-1.314. https://doi.org/10.1080/09168451.2015.1025032

Sendangratri, Handayani, R., & Elya, B. (2019). Inhibitory effects of different varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers extracts on lipoxygenase activity. *Pharmacognosy Journal*, *11*(6), 1.195-1.198. https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.185

Shafe, M. O., Eze, E. D., Ubhenin, A. E., & Tende, J. A. (2016). Effects of aqueous tuber extract of *Ipomea batatas* on cardiac enzymes, lipid profile and organ weights in wistar rats. *Journal of Basic and Applied Research*, *2*(4), 414-417. https://jbarbiomed.com/index.php/home/article/download/107/104/102

Shih, C.-K., Chen, C.-M., Varga, V., Shih, L.-C., Chen, P.-R., Lo, S.-F., Shyur, L.-F., & Li, S.-C. (2020). White sweet potato ameliorates hyperglycemia and regenerates pancreatic islets in diabetic mice. *Food & Nutrition Research*, *64*. https://doi.org/10.29219/FNR.V64.3609

Suárez, S., Mu, T., Sun, H., & Añón, M. C. (2020). Antioxidant activity, nutritional, and phenolic composition of sweet potato leaves as affected by harvesting period. *International Journal of Food Properties*, *23*(1), 178-188. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1716796

Sun, H., Mu, T., Xi, L., Zhang, M., & Chen, J. (2014). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods. *Food Chemistry*, *156*, 380-389. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.01.079

Sun, J., Gou, Y., Liu, J., Chen, H., Kan, J., Qian, C., Zhang, N., Niu, F., & Jin, C. (2020). Anti-inflammatory activity of a water-soluble polysaccharide from the roots of purple sweet potato. RSC *Advances*, *65*(10). https://doi.org/10.1039/D0RA07551E

Sun, Y., Pan, Z., Yang, C., Jia, Z., & Guo, X. (2019). Comparative assessment of phenolic profiles, cellular antioxidant and antiproliferative activities in ten varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas*) storage roots. *Molecules*, *24*(24). https://doi.org/10.3390/MOLECULES24244476

Tian, C., Wang, M., Liu, S., Ma, H., He, K., & Zhou, D. (2019). A new glycoprotein SPG-8700 isolated from sweet potato with potential anti-cancer activity against colon cancer. *Natural Product Research*, *33*(16), 2.322-2.328. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1446007

Tomlins, K., Owori, C., Bechoff, A., Menya, G., & Westby, A. (2012). Relationship among the carotenoid content, dry matter content and sensory attributes of sweet potato. *Food Chemistry*, *131*(1), 14-21. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.07.072

Tumwegamire, S., Kapinga, R., Rubaihayo, P. R., LaBonte, D. R., Grüneberg, W. J., Burgos, G., Zum Felde, T., Carpio, R., Pawelzik, E., & Mwanga, R. O. M. (2011). Evaluation of dry matter, protein, starch, sucrose, β-carotene, iron, zinc, calcium, and magnesium in East African sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] germplasm. *HortScience*, *46*(3), 348-357. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.348

Wang, S., Nie, S., & Zhu, F. (2016). Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Research International*, *89*, 90-116. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2016.08.032

CAPÍTULO 4.

Diversidad genética de la batata en Colombia

JHON ALEXANDER BERDUGO-CELY, JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS Y ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA

El origen de la batata a nivel genético no es del todo claro (Roullier et al., 2013). Hasta la fecha, se considera que esta es una especie autopoliploide, con un posible origen en *I. trifida* como único pariente (Muñoz-Rodríguez et al., 2018). Sin embargo, otra hipótesis es que *I. batatas* es un aloautohexaploide ($2n = 6x = 90$) generado a partir de un posible cruce entre genotipos tetraploides y diploides, seguido de un evento de duplicación del genoma completo (Yang et al., 2017). Independientemente de su origen, el genoma de *I. batatas* es hexaploide y altamente heterocigoto, lo que le confiere una complejidad genética. En los últimos diez años, las bases genómicas con información para esta especie han ido en aumento, con la identificación de transcriptomas ensamblados *de novo* para *I. batatas* y especies relacionadas (Ponniah et al., 2017; Solis et al., 2014). También, se cuenta con recursos como marcadores moleculares tipo microsatélite, el fragmento amplificado de longitud específica (SLAF) y el fragmento amplificado de polimorfismo de longitud (AFLP), entre otros, que se han utilizado para caracterizar la diversidad genética de esta especie en varios países del mundo (Roullier et al., 2013; Su et al., 2017). Con los avances en las tecnologías de secuenciación, los genomas nucleares y de cloroplasto de referencia publicados para esta especie ya se encuentran disponibles (Muñoz-Rodríguez et al., 2018; Yang et al., 2017).

Realizar mejoramiento genético de la batata mediante el fitomejoramiento tradicional es difícil debido a su naturaleza poliploide, su complejidad genética, su alta variabilidad con respecto a la producción de flores y su incompatibilidad (Wadl et al., 2018). Generar recursos genómicos

adicionales y aprovechar los existentes ayudaría a identificar las bases moleculares de la variación fenotípica y avanzar en el diseño de estrategias de mejoramiento asistidas por marcadores eficientes y efectivos (Wadl et al., 2018). El mejoramiento asistido por marcadores permite la evaluación de plantas jóvenes en la etapa de plántula para detectar múltiples rasgos de interés, lo que reduce en gran medida los costos asociados con el crecimiento de las plantas hasta la madurez. Este enfoque es especialmente valioso en la batata, en la que el costo de la evaluación en campo a largo plazo es un factor limitante importante en los esfuerzos de mejoramiento, sumado a que no es factible realizar retrocruzamientos para introducir rasgos. Además, los datos genómicos podrían proporcionar una base para dilucidar las relaciones genéticas entre líneas parentales y potencialmente identificar nuevas fuentes de variación genética asociadas con la tolerancia ambiental, la resistencia a plagas y enfermedades, y otros rasgos de alto valor (Wadl et al., 2018).

Diversidad genética en Colombia

El Banco de Germoplasma Vegetal de Colombia (BGV), administrado por AGROSAVIA, posee una colección de aproximadamente ochenta genotipos de batata, los cuales han sido pobremente caracterizados y utilizados. Además, en los últimos diez años se han realizado nuevas colectas para esta especie en múltiples departamentos de las regiones Andina y Caribe de Colombia, con el fin de conocer la variabilidad genética de esta especie y potencializar su uso. Más de 450 genotipos, que ahora conforman una colección de trabajo (Rosero et al., 2022), han venido siendo caracterizados a nivel fenotípico en las condiciones del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA. A partir de este germoplasma, se logró liberar la primera variedad de batata registrada en Colombia: Agrosavia Aurora. Sin embargo, hasta la fecha no existían reportes del análisis del germoplasma de batata de Colombia a nivel genético usando herramientas moleculares.

Procedencia de las accesiones colectadas en Colombia

A nivel genético-molecular, se analizaron 438 genotipos de batata, de los cuales el 95 % (415) son de Colombia, mientras que el resto de los genotipos (23) son de origen desconocido (5 %). Este germoplasma se encuentra conservado en el C. I. Turipaná de AGROSAVIA, ubicado en el municipio de Cereté, departamento de Córdoba, en Colombia (8° 51' 2.158" N, 75° 49' 10.809" W). Por otro lado, del total de los genotipos analizados, el 14,3 % (63) pertenece al BGV, administrado por AGROSAVIA, y el 85,6 % (375) pertenece a una colección de trabajo generada a partir de una colecta de genotipos de batata realizada entre 2013 y 2016 en departamentos de las regiones Andina (Boyacá, Caldas, Norte de Santander, Santander, Tolima y las áreas andinas de los departamentos de Nariño y Valle del Cauca) y Caribe (Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre y el norte de Antioquia) (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Origen geográfico de las accesiones de batata analizadas en este estudio

País	Número y porcentaje de muestras por país	Región	Número y porcentaje de muestras por región	Departamento	Número y porcentaje de muestras por región
Colombia	415 (95 %)	Andina	120 (27 %)	Boyacá	6 (1 %)
				Caldas	1 (0,22 %)
				Norte de Santander	12 (3 %)
				Santander	22 (5 %)
				Tolima	37 (8 %)
				Nariño (área andina)	1 (0,22 %)
				Valle del Cauca (área andina)	41 (9 %)

País	Número y porcentaje de muestras por país	Región	Número y porcentaje de muestras por región	Departamento	Número y porcentaje de muestras por región
Colombia	415 (95 %)	Caribe	191 (44 %)	Antioquia (área Caribe)	61 (14 %)
				Atlántico	23 (5 %)
				Bolívar	24 (5 %)
				Cesar	29 (7 %)
				Córdoba	29 (7 %)
				La Guajira	15 (3 %)
				Magdalena	4 (1 %)
				Sucre	6 (1 %)
Desconocido	23 (5 %)	Desconocido	127 (29 %)	Desconocido	127 (29 %)
Total	438 (100 %)	—	—	—	438 (100 %)

Fuente: Elaboración propia

Caracterización genética con marcadores moleculares

Para el análisis genético-molecular, por cada genotipo se sembraron cinco plantas en condiciones de vivero en el C. I. Turipaná. Dos meses después del establecimiento de los materiales, se colectó tejido foliar de una sola planta, a partir del cual se obtuvo ADN. Todas las muestras de ADN fueron sometidas a una doble digestión química utilizando las enzimas de restricción CviAII (a 25 °C) y TseI (a 65 °C). A partir de cada muestra de ADN digerido, se construyeron bibliotecas genómicas, las cuales se agruparon en grupos de 96 muestras (*pool*), cada una marcada con una secuencia única de identificación. Cada *pool* fue secuenciado de manera independiente.

La identificación de variantes tipo SNP se realizó a través del programa Genome Analysis Toolkit (GATK), versión 4.2.6 (Khalfan, 2020), utilizando secuencias previamente alineadas al genoma de referencia del cultivar hexaploide Taizhong6 de *I. batatas* (Yang et al., 2017). El filtrado final de

los marcadores se realizó en el programa VCFtools (Danecek et al., 2011) utilizando los siguientes parámetros de filtrado: frecuencia mínima de alelos (MAF) del 2 %, porcentaje máximo de datos perdidos por marcador del 30 % y profundidad media de secuenciación (DS) de 2. Por otro lado, se excluyeron del análisis las muestras con datos perdidos superiores al 30 %, las variantes SNP multialélicas y los tipos InDels (inserciones y deleciones).

Con la matriz de datos obtenida, se implementaron diferentes análisis multivariados, como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conglomerados (AC), para determinar la estructura genética de esta colección. Una vez identificado el número de subpoblaciones, se estimó la diversidad y estructura genética de la población, utilizando estadísticas como la heterocigosidad (Ho) y un análisis de varianza molecular (AMOVA). En todos los casos, se buscó una posible asociación entre el número de subpoblaciones identificado y los datos de pasaporte disponibles. Finalmente, usando el programa CoreHunter3 (De Beukelaer et al., 2018), se propuso una colección núcleo del 23,5 %, seleccionando muestras que representaran el espectro de la diversidad genética presente en la totalidad de la población analizada.

Estructura poblacional de la colección de batata

Una vez realizado el análisis genético de las 438 muestras de batata, se identificaron un total de 26.152 variantes tipo SNP usando los parámetros de filtrado seleccionados. Del total de las muestras analizadas, 33 presentaron un porcentaje de datos perdidos superior al 30 % y fueron excluidas del análisis. Por lo anterior, en los resultados que se presentarán sobre la caracterización molecular, se incluyen 405 muestras con 37.014 SNP distribuidos en los 15 cromosomas del genoma de batata usado como referencia. La estructura genética de las 405 accesiones analizadas se indagó desde diferentes niveles, usando los dos primeros componentes principales del PCA, que explicaron el 20,3 % y el 9,4 % de la variabilidad genética, donde el 100 % de la variabilidad se explicó en 425

componentes. Los análisis sugieren la división de esta colección en seis posibles subpoblaciones, que distribuyeron las muestras en los siguientes grupos: Genetic_Cluster_K6_1 (35 muestras), Genetic_Cluster_K6_2 (36), Genetic_Cluster_K6_3 (32), Genetic_Cluster_K6_4 (19), Genetic_Cluster_K6_5 (73) y Genetic_Cluster_K6_6 (56). Por otro lado, 154 materiales fueron catalogados como híbridos o *admixtures* (figura 4.1). A nivel genético-poblacional, esta colección presentó una moderada estructura genética (Fi: 0,100; *p-value*: 0,001), que presentó una correlación significativa con el origen de la colección (banco o colección de trabajo); el origen de las muestras, referente al país y el departamento; la región, agrupada en Andina y Caribe, y la altitud y el tipo de cultivo.

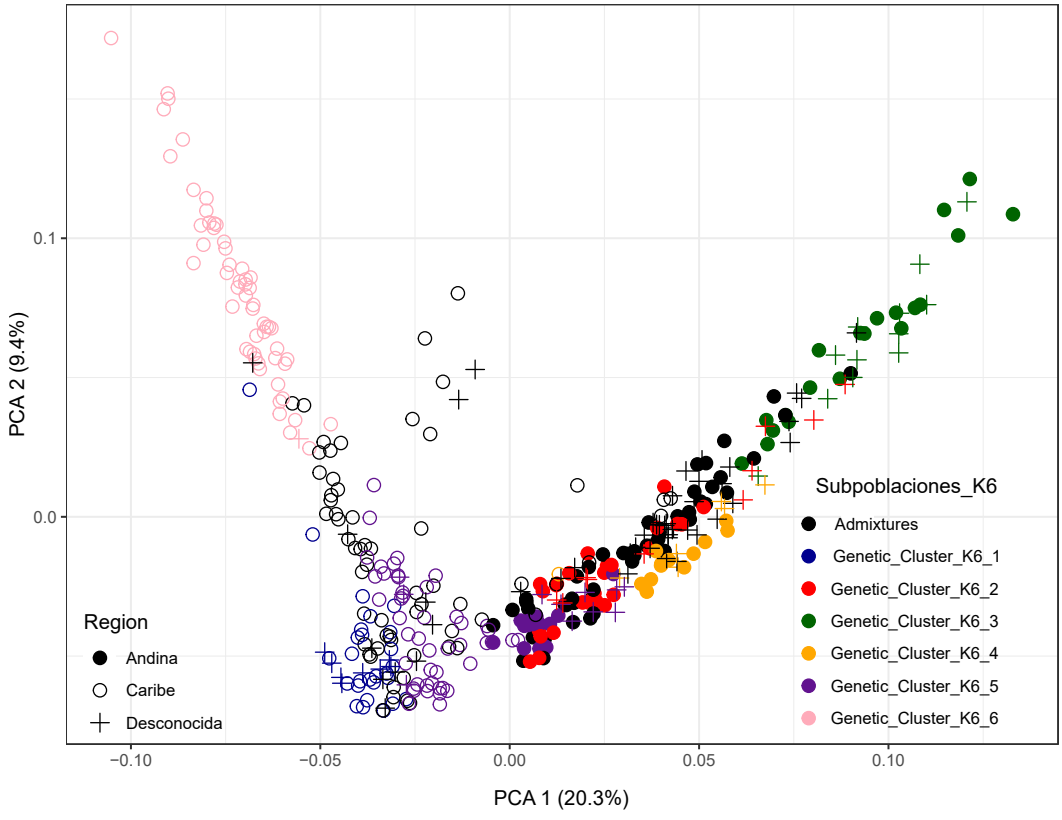


Figura 4.1.

Análisis de los componentes principales y su distribución en seis subpoblaciones de la colección de batata.

Fuente: Elaboración propia

Los seis grupos genéticos identificados con las variantes tipo SNP presentan características diferenciables asociadas con la estructura genética detectada. A continuación, se realiza una breve descripción de cada agrupamiento para las variables de pasaporte más contrastantes o con mayor representatividad.

Genetic_Cluster_K6_1: en este grupo se ubican 35 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,07 (±0,05) y altos valores de endogamia (Fi: 0,41±0,37) (tabla 4.2). Estos materiales son principalmente de la región Caribe (77%), de los cuales se resaltan los departamentos de Antioquia (zona Caribe) (49 %) y Córdoba (23%). A nivel geográfico, aquí se encuentran materiales colectados desde los 8 hasta los 155 m s. n. m., y en cuanto a tipo de cultivo, se ubicó el 34% de los materiales nativos, 23 % de materiales de agricultores y el 20% de materiales catalogados como malezas.

Tabla 4.2. Estadísticos de diversidad genética determinados para los seis agrupamientos detectados en la colección de batata

Agrupamiento	Número de muestras	Ho (DE)	Fi (DE)
Genetic_Cluster_K6_1	35	0,07 (±0,05)	0,41 (±0,37)
Genetic_Cluster_K6_2	36	0,06 (±0,02)	0,54 (±0,19)
Genetic_Cluster_K6_3	32	0,05 (±0,02)	0,63 (±0,15)
Genetic_Cluster_K6_4	19	0,04 (±0,02)	0,65 (±0,18)
Genetic_Cluster_K6_5	73	0,01 (±0,01)	0,89 (±0,06)
Genetic_Cluster_K6_6	56	0,05 (±0,02)	0,64 (±0,18)
Admixtures	154	0,04 (±0,02)	0,68 (±0,18)

Ho: heterocigosidad observada; Fi: coeficiente de endogamia.

Fuente: Elaboración propia

Genetic_Cluster_K6_2: en este grupo se ubican 36 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,06 (±0,02) y altos valores de endogamia (Fi: 0,54±0,19) (tabla 4.2). Estos materiales son principalmente de la región Andina (72%), de los departamentos de Tolima (42%) y Santander (22%). A nivel geográfico, aquí se ubican principalmente los materiales muestreados entre los 672 y los 2.209 m s. n. m., y en cuanto a tipo de cultivo, estos materiales fueron catalogados como silvestres (50%).

Genetic_Cluster_K6_3: en este grupo se ubican 32 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,05 (± 0,02) y altos valores de endogamia (Fi: 0,63 ± 0,15) (tabla 4.2). Estos materiales fueron colectados principalmente en la región Andina (63 %), en el departamento del Valle del Cauca (59 %); la mayoría de ellos fueron colectados entre los 1.000 y los 1.401 m s. n. m. En cuanto al tipo de cultivo, estos materiales son líneas de mejoramiento genético (66 %).

Genetic_Cluster_K6_4: en este grupo se ubican 19 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,04 (± 0,02) y altos valores de endogamia (Fi: 0,65 ± 0,18) (tabla 4.2). La mayoría de estos materiales provienen de la región Andina (63 %), con datos de pasaporte del departamento de Norte de Santander (58 %), y fueron colectados a altitudes entre 1.000 y 1.216 m s. n. m. Según el tipo de cultivo, estos materiales son en su mayoría nativos (68 %).

Genetic_Cluster_K6_5: en este grupo se ubican 73 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,01 (± 0,01) y altos valores de endogamia (Fi: 0,89 ± 0,06) (tabla 4.2). La mayoría de estos materiales provienen de la región Caribe (64 %), con datos de pasaporte de los departamentos de Antioquia (33 %) y Córdoba (16 %). También se identificaron algunas muestras de la región Andina (21 %), específicamente del departamento de Tolima (15 %). Los materiales de este agrupamiento fueron colectados entre los 6 y los 1.118 m s. n. m. en la región Caribe, y entre los 431 y los 1.647 m s. n. m. en la región Andina. En su mayoría, estos materiales están catalogados como silvestres (30 %) y nativos (30 %).

Genetic_Cluster_K6_6: en este grupo se ubican 56 accesiones, con un promedio de diversidad genética (Ho) de 0,05 (± 0,02) y altos valores de endogamia (Fi: 0,64 ± 0,18) (tabla 4.2). La mayoría de estos materiales provienen de la región Caribe (98 %), con datos de pasaporte de los departamentos de Atlántico (27 %), Bolívar (25 %) y La Guajira (16 %). Los materiales de este agrupamiento fueron colectados entre los 6 y los 526 m s. n. m., y en su mayoría están catalogados como materiales nativos (63 %).

Comparación entre las muestras conservadas en el banco de germoplasma y las de la colección de trabajo

A partir de los análisis de estructura genética obtenidos, se realizó una comparación entre las muestras conservadas en el banco de germoplasma y las de la colección de trabajo del C. I. Turipaná (figura 4.2). Según el número de muestras por cada grupo genético, se observa que la colección de batata del banco presenta, en su mayoría, representatividad de materiales de la región Andina (grupos genéticos 2 y 5). Sin embargo, el banco de germoplasma presenta vacíos para los grupos genéticos 1 y 6 identificados en este análisis; lo anterior sugiere que en la colección de trabajo hay materiales con diversidad genética que no se encuentra actualmente conservada en el banco de germoplasma. A partir de estos resultados, se incrementa la necesidad de obtener una colección núcleo que capture la diversidad genética de la colección aquí analizada, la cual puede ser postulada para su conservación en el banco de germoplasma (tabla 4.3).

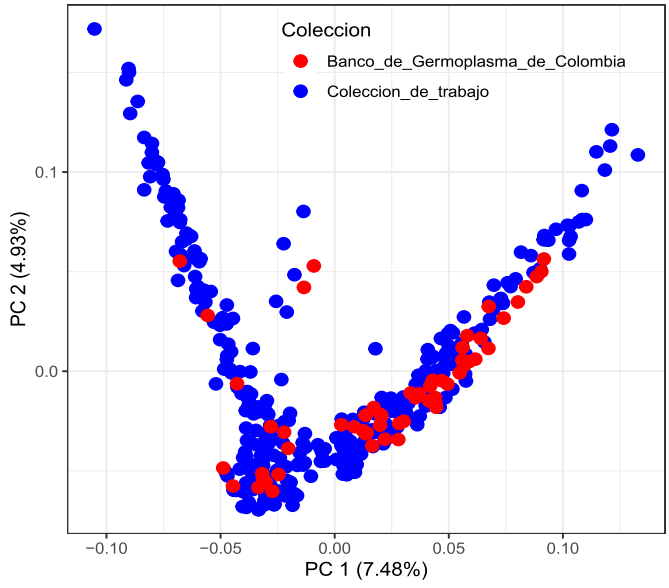


Figura 4.2.

PCA: distribución de las muestras de batata según el tipo de colección a la que pertenecen.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3. Representatividad de las muestras del banco de germoplasma y de la colección de trabajo en cada grupo genético detectado

Agrupamiento	Origen	Número de muestras	Banco de germoplasma	Colección de trabajo
Genetic_Cluster_K6_1	Región Caribe	35	4	31
Genetic_Cluster_K6_2	Región Andina	36	10	26
Genetic_Cluster_K6_3	Región Andina	32	3	29
Genetic_Cluster_K6_4	Región Andina	19	5	14
Genetic_Cluster_K6_5	Regiones Caribe y Andina	73	10	63
Genetic_Cluster_K6_6	Regiones Caribe	56	1	55
Admixtures	Regiones Caribe y Andina	154	25	129

Fuente: Elaboración propia

Colección núcleo de batata determinada a partir de variantes tipo SNP

Una vez establecidas la diversidad y la estructura genética de las 405 accesiones de batata, se buscó seleccionar 100 accesiones (que corresponden al 23,5 % del total de la colección analizada), pues este es el número mínimo de muestras aceptadas para la implementación de estudios de mapeo por asociación. Las accesiones postuladas para conformar la colección núcleo a través de esta estrategia se pueden visualizar en el PCA de la figura 4.3; estas accesiones representan la diversidad genética de la colección de batata, incluyendo accesiones representativas de los cinco grupos genéticos establecidos a través del análisis de estructura genética y el espectro de las variables de pasaporte asociadas con la estructura poblacional.

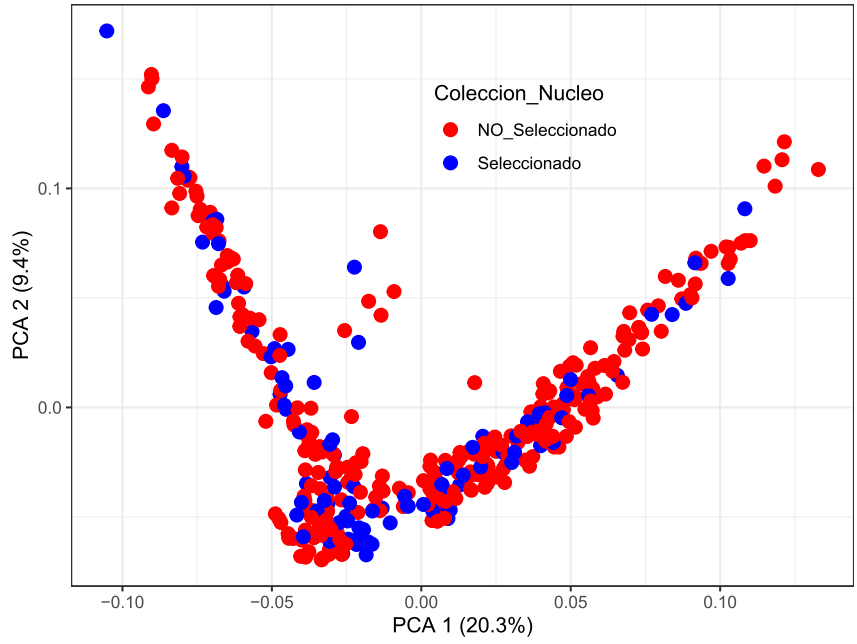


Figura 4.3.

PCA: distribución de la variabilidad genética de la colección de batata y de las muestras seleccionadas como colección núcleo.

Fuente: Elaboración propia

En general, la diversidad colectada y determinada mediante análisis genéticos demuestra la gran riqueza que tiene Colombia en cuanto a la batata, siendo este un insumo importante para generar progreso en el desarrollo de nuevas variedades, lo cual demuestra que la oferta ambiental en diferentes regiones favorece el cultivo de batata. Iniciativas relacionadas con el uso de esta gran diversidad deben ser emprendidas con el fin de aprovechar la riqueza genética de esta especie.

Los resultados aquí presentados forman parte del artículo *Genetic Diversity and Population Structure of Colombian Sweet Potato Genotypes Reveal Possible Adaptations to Specific Environmental Conditions*, publicado en la revista *Crop Science* en 2025, con el número e70091, por Berdugo-Cely et al. (2025).

Referencias

Berdugo-Cely, J. A., Pérez-Pazos, J. V., & Rosero, A. (2025). Genetic diversity and population structure of Colombian sweet potato genotypes reveal possible adaptations to specific environmental conditions. *Crop Science*, *65*, artículo e70091. https://doi.org/10.1002/csc2.70091

Danecek, P., Auton, A., Abecasis, G., Albers, C. A., Banks, E., DePristo, M. A., Handsaker, R. E., Lunter, G., Marth, G. T., Sherry, S. T., McVean, G., & Durbin, R. (2011). The variant call format and VCFtools. *Bioinformatics*, *27*(15), 2.156-2.158. https://doi.org/10.1093/BIOINFORMATICS/BTR330

De Beukelaer, H., Davenport, G. F., & Fack, V. (2018). Core Hunter 3: Flexible core subset selection. *BMC Bioinformatics*, *19*(1), artículo 203. https://doi.org/10.1186/s12859-018-2209-z

Khalfan, M. (2020). Variant Calling Pipeline using GATK4. *Genomics Core at NYU CGSB*. https://gencore.bio.nyu.edu/variant-calling-pipeline-gatk4/

Muñoz-Rodríguez, P., Carruthers, T., Wood, J. R. I., Williams, B. R. M., Weitemier, K., Kronmiller, B., Ellis, D., Anglin, N. L., Longway, L., Harris, S. A., Rausher, M. D., Kelly, S., Liston, A., & Scotland, R. W. (2018). Reconciling conflicting phylogenies in the origin of sweet potato and dispersal to Polynesia. *Current Biology*, *28*(8), 1.246-1.256. https://doi.org/10.1016/J.CUB.2018.03.020

Ponniah, S. K., Thimmapuram, J., Bhide, K., Kalavacharla, V., & Manoharan, M. (2017). Comparative analysis of the root transcriptomes of cultivated sweetpotato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) and its wild ancestor (*Ipomoea trifida* [Kunth] G. Don). *BMC Plant Biology*, *17*(1), artículo 9. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0950-x

Rosero, A., Rodríguez, E., Aguilera-Arango, G., Rosero, M.-G., Granda, L., Pastrana, I., Martínez, R., Perez, J.-L., Espitia, L., Gomez, E., Rodríguez, T., & Sieber, S. (2022). Assessment of the current state of *in situ* conservation and use of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in Colombia. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, *44*(1), 76-89. https://doi.org/10.1111/CUAG.12293

Roullier, C., Duputié, A., Wennekes, P., Benoit, L., Fernández Bringas, V. M., Rossel, G., Tay, D., McKey, D., & Lebot, V. (2013). Disentangling the origins of cultivated sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *PLOS ONE*, *8*(5), artículo e62707. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062707

Solis, J., Villordon, A., Baisakh, N., LaBonte, D., & Firon, N. (2014). Effect of drought on storage root development and gene expression profile of sweetpotato under greenhouse and field conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *139*(3), 317-324. https://doi.org/10.21273/JASHS.139.3.317

Su, W., Wang, L., Lei, J., Chai, S., Liu, Y., Yang, Y., Yang, X., & Jiao, C. (2017). Genome-wide assessment of population structure and genetic diversity and development

of a core germplasm set for sweet potato based on specific length amplified fragment (SLAF) sequencing. *PLOS ONE*, *12*(2), artículo e0172066-. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172066

Wadl, P. A., Olukolu, B. A., Branham, S. E., Jarret, R. L., Yencho, G. C., & Jackson, D. M. (2018). Genetic diversity and population structure of the USDA sweetpotato (*Ipomoea batatas*) germplasm collections using GBSpoly. *Frontiers in Plant Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01166

Yang, J., Moeinzadeh, M.-H., Kuhl, H., Helmuth, J., Xiao, P., Haas, S., Liu, G., Zheng, J., Sun, Z., Fan, W., Deng, G., Wang, H., Hu, F., Zhao, S., Fernie, A. R., Boerno, S., Timmermann, B., Zhang, P., & Vingron, M. (2017). Haplotype-resolved sweet potato genome traces back its hexaploidization history. *Nature Plants*, *3*(9), 696-703. https://doi.org/10.1038/s41477-017-0002-z

CAPÍTULO 5.

Variedad Agrosavia Aurora y perspectivas del proceso de mejoramiento genético de batata

ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA, HERNANDO ALBERTO ARAUJO VÁSQUEZ, JOSÉ LUIS PÉREZ GAMERO, EVELIN GÓMEZ DELGADO, REMBERTO RAFAEL MARTÍNEZ FIGUEROA, GERMÁN ANDRÉS AGUILERA ARANGO, LINA VANESSA GARAVITO MORALES Y EBERTO RODRÍGUEZ HENAO

Obtención de la variedad Agrosavia Aurora

Agrosavia Aurora es una variedad de pulpa anaranjada, la cual se encuentra registrada con código de pasaporte número 0113-672COR. Este genotipo fue el resultado de colectas en fincas de agricultores. Las evaluaciones realizadas en campos de observación durante el periodo 2010-2013 mostraron su adaptación a las condiciones del Caribe colombiano. Este genotipo fue seleccionado en pruebas preliminares durante los años 2013-2014, en pruebas avanzadas de rendimiento en 2014, en pruebas regionales ciclo I y II en 2015 y en pruebas de evaluación agronómica en 2016 (Rosero Alpala et al., 2019). Los resultados obtenidos mostraron la superioridad de este genotipo en términos de porcentaje de tuberización, rendimiento de raíces comerciales y totales, en comparación con los otros genotipos que fueron evaluados simultáneamente en diversas localidades del Caribe húmedo y seco (tabla 5.1).

Tabla 5.1. Comportamiento productivo genotipos de batata

Genotipo	Tuberización (%)	Rendimiento de raíces comerciales (t/ha)	Rendimiento de raíces totales (t/ha)
0113-672COR	89,58 ± 15,13	8,07 ± 7,23	18,38 ± 13,42
0113-664VAL	81,92 ± 15,8	5,87 ± 4,92	11,96 ± 7,37
0113-660VAL	76,77 ± 20,44	4,96 ± 4,45	11,92 ± 9,37
0113-668VAL	83,49 ± 16,01	5,73 ± 4,61	11,26 ± 8,23
0113-657VAL	84,59 ± 17,22	6,42 ± 5,96	9,73 ± 7,51
0113-634VAL	78,09 ± 17,81	3,91 ± 3,51	7,71 ± 4,67
0113-656COR	54,63 ± 28,06	3,1 ± 4,29	7,25 ± 8,98
0113-671VAL	64,47 ± 20,64	4,19 ± 3,44	7,11 ± 5,85
Criolla	67,66 ± 19,12	3,23 ± 2,94	7,79 ± 5,79
LSD	9,04	1,96	4,01

LSD: diferencia mínima significativa determinada mediante prueba de Tukey ($p < 0,01$).

Fuente: Rosero et al. (2023)

Características morfoagronómicas

Los tallos de la variedad Agrosavia Aurora presentan un hábito de crecimiento mayormente disperso, lo cual le confiere una alta eficiencia en la capacidad de cobertura del suelo (tabla 5.2). Esta variedad presenta tallos predominantemente de color verde, con nudos morados, siendo esta una característica importante para reconocer esta variedad. El diámetro y la corta longitud de los entrenudos le otorgan adecuadas cualidades como material de siembra, pues posee un adecuado vigor para tolerar altas temperaturas y evitar la deshidratación temprana (Rosero Alpala et al., 2019). Otras características se describen, a continuación, en la tabla 5.2 y la figura 5.1.

Tabla 5.2. Características morfoagronómicas de la variedad de batata Agrosavia Aurora

Característica	Descripción
Enroscamiento o habilidad del tallo para trepar un tutor adyacente	Ausente
Tipo de tallo o hábito de crecimiento y longitud de las guías principales	Disperso y extremadamente dispersa (150 o >250 cm)
Cobertura del suelo a los 35-40 días después de la siembra	>90 %
Longitud de los entrenudos del tallo	Corta (3-5 cm)
Diámetro de los entrenudos	Intermedio (7-9 mm)
Color predominante de los tallos	Verde
Color secundario de los tallos	Nudos morados
Pubescencia del ápice de los tallos	Moderado
Forma de la hoja	Triangular
Tipos de lóbulos de las hojas	Lóbulos superficiales
Forma del lóbulo central de las hojas	Dentado
Tamaño de la hoja madura	Medio (8-15 cm)
Pigmentación de las nervaduras del envés de la hoja	Todas las nervaduras son parcialmente moradas
Color de la hoja madura	Verde
Color de la hoja inmadura	Verde con borde morado
Longitud del peciolo	Corta (10-20 cm)
Pigmentación del peciolo	Verde
Forma de la raíz reservante	Oblonga
Grosor de la corteza de la raíz reservante	Gruesa (3-4 mm)
Color predominante de la piel	Rosado
Color predominante de la carne	Anaranjado oscuro
Habito de la floración	Moderado
Formación de la raíz reservante	Racimo disperso
Unión de la raíz reservante con el tallo	Intermedia (6-8 cm)
Numero de raíces reservantes por planta	4
Variabilidad de la forma de la raíz reservante	Ligeramente variable
Variabilidad del tamaño de la raíz reservante	Ligeramente variable
Producción de látex en las raíces reservantes	Poca
Oxidación en las raíces reservantes	Poca

Fuente: Rosero Alpala et al. (2019)



Figura 5.1.

Características morfológicas de los tallos de la variedad Agrosavia Aurora.
a y b. Segmento apical; c. Segmento subapical.

Fotos: Remberto Rafael Martínez Figueroa

La eficiencia de la cobertura es una de las principales características de esta variedad. Esto le permite demostrar un excelente desempeño agronómico. Las raíces tuberosas tienen forma de racimo disperso, cuya unión con el tallo está entre 6 y 8 cm, y se ha observado una ligera variabilidad en términos de forma y tamaño de las raíces. Las raíces tienen la piel color rosado, con forma oblonga, de corteza gruesa y de pulpa de color anaranjado oscuro (tabla 5.2 y figura 5.2).



Figura 5.2.

Características de la planta y de las raíces de la variedad Agrosavia Aurora. a. Planta de batata en desarrollo; b. Cobertura de batata 30 días después de la siembra; c. Raíces de batata completas y en corte transversal.

Fotos: José Luis Pérez Gamero

Potencial productivo

La variedad Agrosavia Aurora presenta un rendimiento superior a las 20 t/ha al usar una densidad de 25.000 plantas/ha; sin embargo, es posible incrementar la densidad a 30.000-40.000 plantas, lo que genera una mayor homogeneidad en el tamaño de las raíces y un menor agrietamiento. Más del 45 % de la producción corresponde a raíces de primera categoría, que pueden ser aptas para el mercado fresco internacional o nacional (Rosero Alpala et al., 2019). El alto rendimiento de follaje la postula, además, como una variedad con potencial para ser introducida en sistemas multipropósito de producción (tabla 5.3).

Tabla 5.3. Características productivas de la variedad de batata Agrosavia Aurora

Característica	Valor
Número de raíces por planta	4,43 ± 0,37
Rendimiento de raíces frescas (t/ha)	20,22 ± 1,38
Producción de raíces de primera categoría (%)	> 45
Peso de las raíces de primera categoría (g)	80-1.200
Contenido de materia seca (%)	23,6-30,73
Rendimiento de materia seca (t/ha)	4,77-6,21
Producción de follaje (t/ha)	15,11 ± 0,80

Fuente: Rosero Alpala et al. (2019)

Características de calidad

La variedad Agrosavia Aurora presenta un alto contenido de carotenos, especialmente de betacarotenos, lo cual se evidencia en el color naranja intenso de la pulpa. Adicionalmente, presenta un buen contenido de cenizas y proteínas (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Características de calidad de la variedad de batata Agrosavia-Aurora

Característica	Valor
Contenido de cenizas (%)	4,66 ± 0,17
Contenido de proteínas (%)	8,01 ± 0,39
Contenido de fibra cruda (%)	4,35 ± 0,19
Contenido de carotenos totales (µg/g)	246,04 ± 25,3
Betacarotenos (µg/g)	214,12 ± 21

Fuente: Rosero Alpala et al. (2019)

Mejoramiento genético de la batata

La batata (*Ipomoea batatas* L.) es una especie con algunos inconvenientes que dificultan los procesos de mejoramiento. Uno de los mayores obstáculos radica en la existencia de autoincompatibilidad, junto con otros aspectos que limitan la producción de semilla sexual. La polinización manual no produce más de cuatro semillas: eventualmente, se logra obtener una o dos, debido a los inconvenientes de autopolinización, promovidos por su naturaleza poliploide (Lebot, 2009). La autoincompatibilidad se ha determinado como de tipo esporofítica multialélica (dependiente del polen), lo que causa que el déficit en la producción de semilla se asocie a la deficiencia en la germinación de polen por las siguientes causas: 1) cruces incompatibles en los que todos los granos de polen fallan en la germinación; 2) cruces incompatibles en los que todos los granos de polen germinan; 3) en algunos cruces, algunos granos de polen germinan y otros no. Por tanto, la inhibición en la germinación del polen es la base fisiológica de la incompatibilidad de la batata (Lebot, 2009; Martin, 1988). No obstante la dificultad en la obtención de semilla sexual, inducida por la autoincompatibilidad, existen genotipos que florecen naturalmente en algunas condiciones tropicales sin necesidad de utilizar técnicas de inducción de floración como el uso de injertos, anillados o control de la luminosidad (Lebot, 2009; Gale Richard Ammerman, 1971). Algunas condiciones para tener en cuenta para la producción de semilla sexual son ambientes que cuenten con días cortos; temperaturas frescas, con rangos entre 20 y 25 °C, y que esta producción sea promovida también por la polinización entomófila, especialmente con abejas (Wang, 1982).

El contenido nutricional desempeña un papel importante para promover la seguridad alimentaria. Es de destacar que los múltiples estudios enfocados en la diversidad de esta especie en el mundo han contribuido a conservar, caracterizar e identificar genotipos adaptados a diferentes condiciones edafoclimáticas (Laurie et al., 2013), sean cultivados o silvestres. Este tipo de estudios, a su vez, contribuye a identificar parentales de interés para la obtención de nuevas poblaciones mejoradas (Zulu et al., 2013). Los híbridos encontrados en la investigación de Zulu et al. (2013), provenientes de los cruces Khano × 1999-5-1 y 1999-5-1 × W-119,

permitieron obtener líneas de gran interés, con alto contenido de materia seca y betacarotenos.

Un método de mejoramiento genético adecuado para la batata es la selección recurrente, la cual permite que características expresadas de genes menores y recesivos sean seleccionadas para aumentar la frecuencia de estos en la población, lo cual facilita la captura de efectos aditivos (Hwang et al., 2002). La selección recurrente ha sido utilizada para el mejoramiento de la batata, especialmente en características de resistencia a plagas (Cuthbert & Jones, 1972; Hahn, 1982). Sin embargo, este método ha sido complementado con otras técnicas de evaluación más eficientes, con el fin de ampliar el rango de mejoramiento de ciertos caracteres (Lebot, 2009; Martin, 1988), como la eficiencia fotosintética, para incrementar el rendimiento y la calidad; el contenido de almidón, con bajo contenido de azúcar; los colorantes naturales para la industria; el contenido de antocianinas (Lebot, 2009; Yamakawa, 1998; Yoshinaga, 1998), y los contenidos de carotenos (Kimura et al., 2007).

Para establecer estrategias de mejoramiento, es necesario conocer la heredabilidad de los caracteres que se quiere mejorar; en este sentido, diversos investigadores en el mundo ya han realizado avances en estudios de herencia de caracteres de interés para el cultivo de batata. Los caracteres cualitativos se distinguen fácilmente y son controlados por uno o pocos genes, por lo cual tienen una alta heredabilidad; entretanto, los caracteres cuantitativos (forma o rendimiento) presentan un distinto grado de variación e involucran muchos genes, lo que implica que su heredabilidad es baja (tabla 5.5).

Tabla 5.5. Heredabilidad en sentido estricto para caracteres de interés de la batata

Característica	Heredabilidad del carácter (%)
Peso de las raíces	25-44
Agrietamiento	37-51
Color de la pulpa	53-66
Oxidación de la pulpa	64
Materia seca	65

Característica	Heredabilidad del carácter (%)
Fibra	47
Color de la piel	81
Brotación	37-39
Longitud de las venas	60
Tipo de hoja	59
Flores/inflorescencia	50
Resistencia a la marchitez por *Fusarium*	50-89
Índice de masa de huevos por nematodo	57-75
Resistencia a complejo de insectos	45
Resistencia a escarabajo pulga	40
Resistencia a picudo (tetuán)	84

Fuente: Elaboración propia

En América, uno de los programas de mejoramiento genético más importantes es el desarrollado por el Centro Internacional de la Papa (CIP), donde se ha trabajado, además del rendimiento y sus componentes, en el mejoramiento de características importantes, como la tolerancia a factores adversos como la salinidad, la sequía, las altas temperaturas, el exceso de agua, la toxicidad por aluminio, entre otras (Mendoza et al., 1988); sin embargo, actualmente el programa del CIP se centra en el mejoramiento de la calidad nutricional de la batata, a través de características como altos niveles de carotenos, hierro y zinc, con el fin de hacer un cultivo mucho más nutritivo, y mejorando, igualmente, la resiliencia del cultivo ante las adversidades agroclimáticas actuales (CIP, 2018).

En el mundo existen cerca de 400 variedades comerciales de batata, con diferentes características en cuanto al color de la pulpa (morada, amarilla, blanca, anaranjada, entre otras). En la tabla 5.6 se muestran algunas de las variedades comerciales más sembradas en los principales países productores (Arnold, 2016; North Carolina State University [NCSU], 2018; University of Georgia [UGA], 2018).

Tabla 5.6. Principales variedades comerciales de batata sembradas en el mundo

Característica	Variedad	Lugar de origen	Instituto
Pulpa morada	Speckled Purple	Estados Unidos	—
Pulpa morada	Purple	—	—
Pulpa morada	Morada INTA	Argentina	INTA Argentina
Pulpa morada	Stokes Purple	—	—
Pulpa anaranjada	Envy	Estados Unidos	—
Pulpa anaranjada	Jewel	Estados Unidos	North Carolina State University
Pulpa anaranjada	Garnets	Estados Unidos	—
Pulpa anaranjada	Beauregard	Estados Unidos	Louisiana State University
Pulpa anaranjada	Creamsicle	Estados Unidos	—
Pulpa anaranjada	Willowleaf	Estados Unidos	—
Pulpa anaranjada	Covington's	Estados Unidos	North Carolina State University
Pulpa anaranjada	Carolina Bunch	—	US Vegetable Laboratory (USDA Agricultural Research Service); South Carolina
Pulpa anaranjada	Nugget	Estados Unidos	North Carolina AES
Pulpa anaranjada	Bunch Porto Rico	Estados Unidos	University of Georgia
Pulpa anaranjada	Evangeline	—	Louisiana State University
Pulpa anaranjada	Georgia Jet	—	—
Pulpa anaranjada	Heartogold o Heart of Gold	—	Louisiana State University
Pulpa anaranjada	Tainung-66	Taiwán	—
Pulpa blanca	Hannah Sweet	Estados Unidos	—
Pulpa blanca	Korean Purple	Asia	—
Pulpa blanca	Santafesina	Argentina	INTA Argentina
Pulpa crema	O'henry's	Estados Unidos	Henry Wayne Bailey (Vardaman, MS)
Pulpa magenta	Okinawa	—	—

Fuente: Elaboración propia con base en Arnold (2016), UGA (2018), NCSU (2018) y Flórez Martínez et al. (2016)

Perspectivas del mejoramiento en Colombia

La importancia de la batata en Colombia genera un gran interés en equipos de investigación, especialmente para el desarrollo de variedades comerciales con alta adaptación, que permitan exhibir un buen desempeño agronómico y responder al interés de los consumidores o mercado. Al respecto, en Colombia, el método de mejoramiento usado es la selección recurrente, que se ha iniciado a través de la identificación de parentales con alta adaptación a las condiciones del Caribe colombiano. Los parentales fueron seleccionados, principalmente, por su producción de raíces y por la presencia de pigmentos.

Las principales líneas de mejoramiento son: 1) variedades con pulpa naranja, 2) variedades con pulpa morada y 3) variedades con pulpa blanca o crema. En todos los casos se busca un alto contenido de materia seca (superior al 28 %), bajos contenidos de fibra, buena respuesta frente a afectaciones de plagas y enfermedades, bajo agrietamiento y mayor vida útil de las raíces frescas.

Producción de semilla sexual recombinante

La producción de semilla con recombinación genética a partir de policruzamientos se realiza en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, en las coordenadas geográficas 3° 30’ 51.14” N, 76° 18’ 49.20” W.

El C. I. Palmira se encuentra ubicado a una altura promedio de 1.001 m s. n. m., con una temperatura media anual de 23,4 °C y una precipitación anual de 1.050 mm. Los valores promedio de las principales variables climáticas presentadas en este C. I. durante las épocas de producción de semilla han sido, para la temperatura, una mínima de 19,3 °C, una media de 23,7 °C y una máxima de 29,7 °C, que favorecen la producción de semilla sexual o botánica de batata (Hammett, 1985), y para la humedad relativa, una mínima del 58,2 %, una media del 75,5 % y una máxima del 93 %.

Los materiales vegetales empleados como parentales para la recombinación genética provienen de la colección de trabajo de genotipos de esta especie custodiado por AGROSAVIA en el C. I. Turipaná (tabla 5.7).

Tabla 5.7. Genotipos de batata usado para la polinización cruzada natural en el C. I. Palmira de AGROSAVIA

Genotipo	Procedencia			Color de la pulpa
	Municipio y departamento	Latitud	Longitud	
0113-624VAL	Palmira, Valle del Cauca	3° 30’ 7”	76° 21’ 22”	Blanca
0615-070COR	Lorica, Córdoba	9° 18’ 20”	75° 55’ 19,9”	Blanca
0715-078CES	Valledupar, Cesar	10° 41’ 28”	73° 19’ 31,1”	Blanca
0715-084CES	Valledupar, Cesar	10° 42’ 22,9”	73° 17’ 47,7”	Blanca
0915-220ANT	Sin registro, Antioquia	7° 34’ 28,7”	76° 43’ 47,1”	Blanca
1215-222BOL	Arjona, Bolívar	10° 13’ 56,7”	75° 20’ 27,6”	Blanca
1215-234SUC	San Antonio de Palmito, Sucre	9° 17’ 27,3”	75° 33’ 11,7”	Blanca
0113-656COR	Montería, Córdoba	8° 45’ 35”	75° 53’ 8”	Morada
0416-317TOL	Chaparral, Tolima	3° 34’51”	75° 37’ 58”	Morada
0515-026GUA	Dibulla, La Guajira	11° 12’ 45,4”	73° 24’ 21,2”	Morada
0615-050BOL	El Carmen de Bolívar, Bolívar	09° 46’ 14,3”	75° 8’ 32,4”	Morada
1215-227BOL	San Pablo, Bolívar	10° 02’ 7,7”	75° 16’ 32,5”	Morada
0416-334TOL	Rioblanco, Tolima	3° 18’ 39”	75° 48’ 19”	Naranja
1115-191ATL	Suan, Atlántico	10° 17’ 24,9”	74° 55’ 36,7”	Naranja
120-2145	Gamarra, Cesar (banco de germoplasma)	8° 19’ 43,6”	73° 43’ 52,8”	Naranja
1215-233SUC	San Antonio de Palmito, Sucre	9° 17’ 55,28”	75° 33’ 23,9”	Naranja
0113-650VAL	Palmira, Valle del Cauca	3° 30’ 7”	76° 21’ 22”	Amarilla
0113-733VAL	Palmira, Valle del Cauca	3° 30’ 7”	76° 21’ 22”	Amarilla
0416-300-STR	Piedecuesta, Santander	6° 56’ 22,1”	73° 1’ 16,4”	Amarilla
0515-031CES	Valledupar, Cesar	10° 27’ 53,8”	73° 14’ 50,3”	Amarilla
1115-199BOL	Mahates, Bolívar	10° 12’ 47,3”	75° 6’ 28,9”	Amarilla
1115-201BOL	Mahates, Bolívar	10° 12’ 46,8”	75° 6’ 29,2”	Amarilla
1115-202BOL	Mahates, Bolívar	10° 12’ 46,6”	75° 6’ 29,6”	Amarilla

Genotipo	Procedencia			Color de la pulpa
	Municipio y departamento	Latitud	Longitud	
1115-204BOL	Mahates, Bolívar	10°12’ 47,2”	75° 6’ 29,6”	Amarilla
1115-205BOL	Mahates, Bolívar	10° 12’ 47,2”	75° 6’ 29,7”	Amarilla
1215-239CUB	Montería, Córdoba	8° 45’ 35”	75° 53’ 8”	Amarilla
Aurora	Montería, Córdoba	8° 45’ 35”	75° 53’ 8”	Amarilla

Fuente: Elaboración propia

Los materiales vegetales de batata para usar como parentales se establecieron en campo. El terreno fue preparado previamente con pase de subsolador, para ablandar el suelo, y posteriormente con pase de arado. Después de la preparación del suelo, este se levantó en camas o caballones de 50 cm de altura para facilitar el manejo de la planta de batata, principalmente para evitar el encharcamiento y la pudrición de las raíces tuberosas en época de abundantes lluvias.

Para la siembra se utilizó una distancia de 100 cm entre surcos o caballones y una de 30 cm entre plantas. La parcela de cada clon o genotipo está constituida por 24 plantas, con un arreglo en rectángulo con seis plantas por surco y cuatro surcos, para un total de 4,5 m^2 por parcela de cada clon, con una única parcela por genotipo (figura 5.3). Entre cada parcela se dejó una distancia de 3 m libres, para evitar la mezcla de los genotipos por el rápido crecimiento de las guías y por la facilidad que tienen estas para enraizar una vez que tocan el suelo (figura 5.4).



Figura 5.3.

Vista aérea del campo de cruzamiento de batata en el C. I. Palmira de AGROSAVIA.

Foto: Eberto Rodríguez Henao



Figura 5.4.

Campo de cruzamiento de batata en el C. I. Palmira de AGROSAVIA.

Foto: Eberto Rodríguez Henao

La siembra se realizó con esquejes apicales (trozos de tallo de 25 cm de longitud), enterrando dos tercios de estos a 45° sobre la parte más alta del caballón, con las yemas hacia arriba (conservando el tropismo de la yema) (figura 5.5) y teniendo cuidado de no dañar las yemas al quitarles las hojas (figura 5.6). Inmediatamente después de la siembra, se aplicó riego para evitar la deshidratación del esqueje y favorecer el enraizamiento o prendimiento de la nueva planta.



Figura 5.5.

Siembra del campo de cruzamiento de batata en el C. I. Palmira de AGROSAVIA (en caballones y con sistema de riego por goteo).

Foto: Eberto Rodríguez Henao



Figura 5.6.

Semilla vegetativa de batata para siembra del campo de cruzamiento.

Foto: Eberto Rodríguez Henao

El manejo posterior a la siembra del campo de policruzamiento de batata se enfocó principalmente en el control manual de malezas (figura 5.7) y la poda de ramas guía, que se extienden raídamente fuera de la parcela y que se pueden mezclar con los clones de las parcelas vecinas (figura 5.8). Durante épocas prolongadas de fuerte verano, se aplica agua mediante sistema de riego por goteo para favorecer el desarrollo de las estructuras reproductivas.



Figura 5.7.

Control manual de malezas en el campo de cruzamiento de batata.

Foto: Eberto Rodríguez Henao



Figura 5.8.

Poda de ramas guía para evitar la mezcla entre parcelas y la pérdida de la identidad genética de cada genotipo. a. Delimitación de parcelas al cuadro; b. Eliminación de ramas guía entre calles y entre parcelas.

Fotos: Eberto Rodríguez Henao

A partir del mes y medio o los dos meses después de la siembra, se inicia la floración (figura 5.9). Este tiempo depende en gran medida de cada genotipo, pues la floración no se presenta de la misma forma en todos estos. La floración puede mantenerse de manera continua durante uno o dos meses y repetirse cada cuatro.

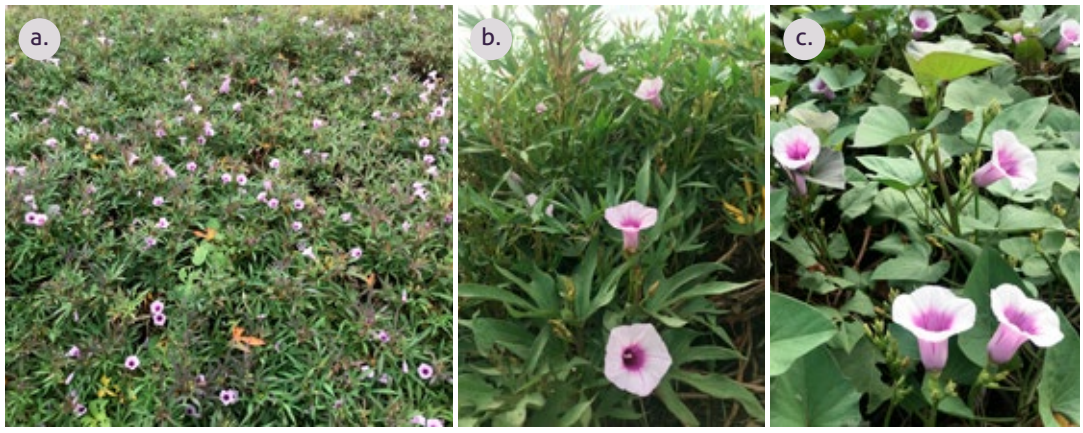


Figura 5.9.

Floración de los genotipos usados como parentales para la producción de semilla con recombinación genética. a. Floración abundante de genotipo de pulpa blanca; b. Floración escasa en genotipo de pulpa morada; c. Floración intermedia en genotipo de pulpa amarilla.

Fotos: Eberto Rodríguez Henao

El fruto de la planta de batata es una cápsula globosa pequeña (de tres a siete milímetros) que madura entre uno y dos meses después de la floración (el tiempo varía dependiendo del genotipo). La cápsula está lista para su cosecha cuando se seca, y ya que su desarrollo varía según el componente genético de cada clon, es necesario revisarla continuamente para evitar perder la semilla sexual, debido a que la cápsula se puede abrir por la fuerza del viento o por la fricción entre cápsulas o partes de la planta (figura 5.10). Una vez cosechadas las semillas (entre una y tres por cápsula), fueron enviadas al C. I. Turipaná para iniciar los procesos de germinación, evaluación y selección de los materiales con mejor desempeño agronómico, de acuerdo con los objetivos del programa de mejoramiento genético (figura 5.11).



Figura 5.10.

Frutos de batata. a. Frutos en proceso de maduración y frutos listos para la cosecha; b. Cosecha de frutos de batata para extracción de la semilla.

Fotos: Eberto Rodríguez Henao



Figura 5.11.

Semillas de batata. a. Cosecha de semillas en campo; b. Semillas identificadas por genotipo enviadas al C. I. Turipaná.

Fotos: Eberto Rodríguez Henao

Cada dos años, el campo de recombinación se renueva para evitar la pérdida de vigor de las plantas parentales y con ello favorecer la adecuada producción de semilla (figura 5.12).



Figura 5.12.

Cosecha de renovación del campo de cruzamiento de batata en el C. I. Palmira de AGROSAVIA. a. Corte de la cobertura vegetal; b. Proceso de arranque de las raíces tuberosas; c. Raíces tuberosas seleccionadas por cada parcela.

Fotos: Eberto Rodríguez Henao

Los resultados obtenidos en el campo de policruzamiento de batata en el C. I. Palmira de AGROSAVIA han permitido definir que todos los genotipos (27) usados como parentales presentan floración, fructificación y producción de semilla sexual mediante la recombinación genética por polinización cruzada, a partir de la cual se han generado poblaciones de hermanos medios que han sido evaluados en el C. I. Turipaná.

Se ha logrado obtener indicadores importantes que fortalecen las capacidades del C. I. Palmira como zona apta para generar materiales por recombinación genética (policruzas o cruzamientos dirigidos) gracias a la oferta agroambiental presentada en este lugar. Con el fin de parametrizar las capacidades de producir semilla con recombinación genética, se evaluó, en un periodo de cuatro meses, por metro cuadrado de cada genotipo, la capacidad de producir flores, frutos y semillas, después de lo cual se encontró que:

- Los genotipos utilizados para generar semilla con recombinación genética por policruzamiento presentaron una producción promedio de 130 flores, con un rango entre 248 y 37 por metro cuadrado, y el 90 % de los genotipos produjeron más de 100 flores por metro cuadrado.
- De las flores producidas, se formaron entre 216 y 17 frutos, con un promedio de 73,6 frutos por metro cuadrado, con un cuajamiento de frutos promedio del 53,1 % respecto a las flores emitidas; estos resultados son importantes ya que en algunas zonas productoras de batata en Colombia la oferta agroambiental reduce casi a cero (0 %) el cuajamiento de frutos (Chang La Rosa & Rodríguez Delfín, 2002). Resultados similares a los reportados para Colombia se presentaron en Indonesia, con porcentajes del 61 % en cuajamiento de frutos (Lestari et al., 2019).
- La cantidad de semilla producida fue de 65 unidades en promedio, con una variación entre 230 y 16 unidades por metro cuadrado.

Las variaciones que se presentan en la producción de estructuras reproductivas se deben principalmente a la condición genética y a la interacción genotipo-ambiente; sin embrago, todos los genotipos producen, aunque en diferentes cantidades, flores, frutos y semilla sexual con recombinación genética, favorecida principalmente por la polinización de insectos y por el viento.

Germinación y producción de plantas para evaluación

La producción de semilla sexual recombinante se ha realizado principalmente en lotes de policruzamiento, donde se colecta semilla sexual que posteriormente es establecida en condiciones de invernadero para ofrecer condiciones adecuadas de germinación (figura 5.13).



Figura 5.13.

Plántulas germinadas a partir de semilla sexual en bandejas.

Foto: José Luis Pérez Gamero

En general, el porcentaje de germinación de las semillas sexuales es bajo: hasta el momento se ha obtenido un valor promedio del 7 % al 10 %, por lo cual la cantidad de semilla por colectar debe ser alta, de manera que se garantice una progenie segregante abundante para la evaluación.

Ciclos de selección y características evaluadas

Entre las condiciones del esquema actual de mejoramiento de batata en AGROSAVIA, se cuenta con campos de policruzamiento para la obtención de poblaciones segregantes desde parentales previamente seleccionados. Las plantas producidas inician el proceso de selección individual y la evaluación en campos de observación (figura 5.14).



P: plantas; R: repeticiones; L: localidades.

Figura 5.14.

Proceso de producción de nuevos cultivares de batata en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, los genotipos seleccionados son sometidos a evaluaciones agronómicas en ensayos preliminares y avanzados de rendimiento. En esta fase, de acuerdo con la disponibilidad de plantas, se establecen parcelas de dos surcos de 5 m de largo. Los mejores genotipos son

seleccionados para establecer evaluaciones multilocales en pruebas regionales, usando como mínimo tres ambientes. En esta evaluación, las parcelas son de mayor tamaño: cinco surcos de 5 m por tres repeticiones. Todas las evaluaciones están basadas en las metodologías desarrolladas por el programa de mejoramiento del CIP (Gruneberg et al., 2019). Luego, los genotipos que muestran estabilidad y superioridad en su comportamiento son seleccionados para establecer pruebas de evaluación agronómica. En Colombia, esta fase es supervisada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el cual es responsable del Registro Nacional de Cultivares Comerciales (RNCC). Una vez que se presenta el informe técnico sobre esta prueba, que contiene la información requerida para justificar la selección del o los genotipos que serán nuevas variedades, el ICA revisa y aprueba el registro de la nueva variedad. En todo caso, es necesario realizar un seminario para explicar las evidencias técnicas de la selección. Finalmente, con la aprobación del registro, se establecen las pruebas semicomerciales, y con el informe técnico generado en esta fase se procede a realizar el registro. La información colectada en todas las fases es importante y se compila en la ficha técnica de la nueva variedad, la cual es parte integral del registro de la nueva variedad. La normativa vigente que rige todo este proceso es la Resolución ICA n.º 067516 del 11 de mayo de 2020.

Referencias

Arnold, T. (2016, 18 de julio). Sweet potato variety descriptions. *Louisiana State University*. http://www.lsuagcenter.com/portals/our_offices/research_stations/sweetpotato/features/varieties/sweet-potato-variety-descriptions

Centro Internacional de la Papa (CIP). (2018). *Resilient nutritious sweet potato*. https://cipotato.org/es/programs/resilient-nutritious-sweetpotato

Chang La Rosa, M., & Rodríguez Delfín, A. (2002). Inducción fotoperiódica para lograr floración en cinco genotipos de camote *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Ecología Aplicada*, *1*(1), 51-56. https://doi.org/10.21704/rea.v1i1-2.229

Cuthbert, F. P., & Jones, A. (1972). Resistance in sweetpotatoes to Coleoptera increased by recurrent selection. *Journal of Economic Entomology*, *65*(6), 1.655-1.658. https://doi.org/10.1093/jee/65.6.1655

Flórez Martínez, D. H., Contreras Pedraza, C. A., & Uribe Galvis, C. P. (2016). *Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Gale Richard Ammerman, J. B. E. (1971). *Sweet potatoes: Production, processing, marketing*. The AVI Publishing Company.

Gruneberg, W. J., Eyzaguirre, R., Diaz, F., De Boeck, B., Espinoza, J., Mwanga, R. O. M., Swanckaert, J., Dapaah, H., Andrade, M., Makunde, G., Tumwegamire, S., Agili, S., Ndingo-Chipungu, F. P., Attaluri, S., Kapinga, R., Nguyen, T., Kaiyung, X., Tjintokohadi, K., Ssali, R. T., … Low, J. (2019). *Procedures for the evaluation of sweetpotato trials*. International Potato Center (CIP).

Hahn, S. K. (1982). Research priorities, techniques, and accomplishments in sweet potato breeding at IITA. En *Root crops in Eastern Africa. Proceedings of a workshop held in Kigali, Rwanda, 23-27 November 1980*. International Development Research Centre.

Hammett, H. (1985). *Ipomoea batatas*. En A. H. Halevy (Ed.), *Handbook of flowering* (vol. 3). CRC Press.

Hwang, J. S., Tseng, Y. T., & Lo, H. F. (2002). Application of simple sequence repeats in determining the genetic relationships of cultivars used in sweet potato polycross breeding in Taiwan. *Scientia Horticulturae*, *93*(3-4), 215-224. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00343-0

Kimura, M., Kobori, C. N., Rodriguez-Amaya, D. B., & Nestel, P. (2007). Screening and HPLC methods for carotenoids in sweetpotato, cassava and maize for plant breeding trials. *Food Chemistry*, *100*(4), 1.734-1.746. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.020

Laurie, S. M., Calitz, F. J., Adebola, P. O., & Lezar, A. (2013). Characterization and evaluation of South African sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) land races. *South African Journal of Botany*, *85*, 10-16. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2012.11.004

Lebot, V. (2009). *Tropical root and tuber crops: Cassava, sweet potato, yams and aroids*. CABI.

Lestari, S. U., Hapsari, R. I., & Basuki, N. (2019). Crossing among sixteen sweet potato parents for establishing base populations breeding. AGRIVITA. *Journal of Agricultural Science*, *41*(2). http://doi.org/10.17503/*AGRIVITA*.v41i2.1485

Martin, F. W. (1988). Genetic and physiological basis for breeding and improving the sweet potato. En L. Degras (Ed.), *Proceedings of the VIIth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops* (pp. 749-762). INRA.

Mendoza, H. A., Espinoza, J. A., & Vallejo, R. L. (1988). Mejoramiento genético de la batata (camote o boniato) *Ipomoea batatas*, en el Centro Internacional de la Papa (CIP). En *Mejoramiento de la batata* (Ipomoea batatas) *en Latinoamérica: memorias del "Seminario sobre Mejoramiento de la Batata* (Ipomoea batatas) *en*

Latinoamérica", que tuvo lugar en el CIP, Lima, del 9 al 12 de junio de 1987 (pp. 203-210). CIP.

North Carolina State University (NCSU). (2018). Sweetpotato and potato breeding and genetics program. https://potatoes.ncsu.edu/SPReleases.html

Rosero, A., Burgos-Paz, W., Araujo, H., Pastrana-Vargas, I. J., Martínez, R., Pérez, J.-L., & Espitia, L. (2023). Sweet potato varietal selection using combined methods of multi-trait index, genetic gain and stability from multi-environmental evaluations. *Horticulturae*, *9*(9), artículo 974. https://doi.org/10.3390/horticulturae9090974

Rosero Alpala, E. A., Pastrana Vargas, I. J., García Peña, J. A., Espitia Montes, A. A., & Sierra Naranjo, C. M. (2019). *Agrosavia Aurora. Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

University of Georgia (UGA). (2018). Home garden sweet potatoes. http://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1014&title=Home%20Garden%20Sweet%20Potatoes#Varieties (19/06/2018)

Wang, H. (1982). The breeding of sweet potatoes for human consumption. En R. L. Villareal, & T. D. Griggs (Eds.), *Sweet potato. Proceedings of the First International Symposium* (pp. 297-311). AVRDC.

Yamakawa, O. (1998). Development of sweet potato cultivars for new processing use in Japan. *Tropical Agriculture*, *75*(2), 284-287. https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/1589

Yoshinaga, M. (1998). Breeding of purple-fleshed sweet potato. En D. R. La Bonte, M. Yamashita, & H. Mochida (Eds.), *Proceedings of International Workshop. Sweet Potato Production System Toward the 21st Century* (pp. 193-199). Kyushu National Agricultural Station.

Zulu, L., Adebola, P. O., Shegro, A., Laurie, S. M., & Pillay, M. (2013). Progeny evaluation of some sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] breeding lines in South Africa. *Acta Horticulturae*, *1007*. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1007.25

CAPÍTULO 6.

Morfología y fisiología del cultivo de batata

ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA Y JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS

Características morfológicas relevantes

A nivel morfológico, para batata se cuenta con una guía de descriptores desarrollada por Z. Huamán y publicada por el Centro Internacional de la Papa (CIP), el Centro Mundial de Vegetales (WorldVeg) —antes conocido como Centro Asiático de Investigación y Desarrollo de Vegetales (AVRDC)— y el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR). Esta guía permite caracterizar la morfología de las plantas de batata teniendo en cuenta los tallos, las hojas, las raíces y las flores (Huamán, 1991).

En general, la batata presenta tallos cilíndricos y algo aplanados, de color verde, violeta o morado, con epidermis glabra o ligeramente pubescente, según el cultivar (figura 6.1). La longitud del tallo varía de 1 a 5 m; el diámetro, de 3 a 10 mm, y los entrenudos, de 2 a 20 cm, dependiendo del estado de desarrollo y el genotipo. El crecimiento de las hojas a lo largo del tallo presenta una configuración en espiral de patrón pentámero o en filotaxis (Cartabiano-Leite et al., 2020).

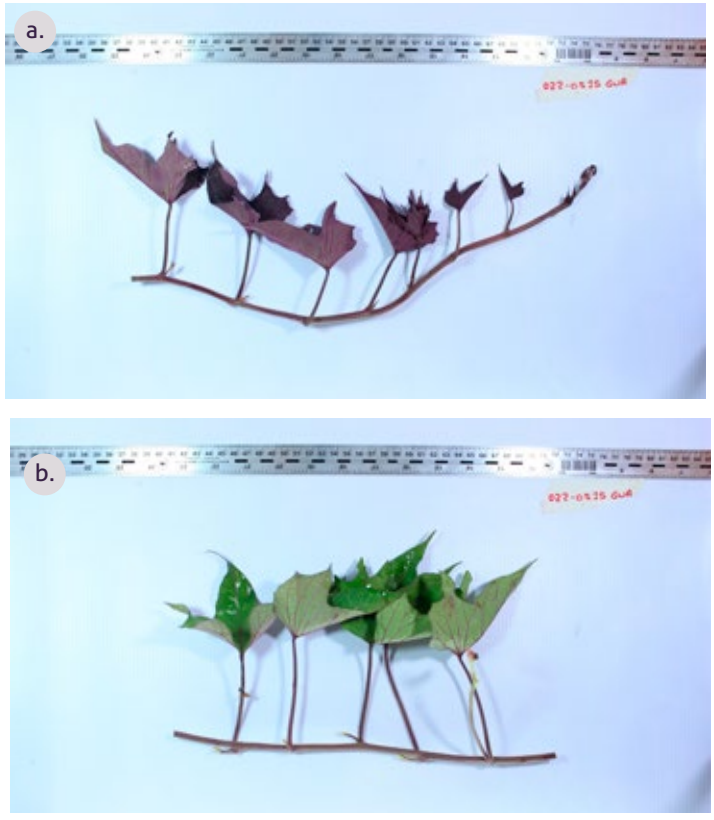


Figura 6.1.

Segmentos del tallo que muestran el color y la ubicación de las hojas. a. Segmento apical; b. Segmento preapical.

Fotos: Leiter Granda

Las hojas son simples, con estomas braquiparacíticos (Noraini et al., 2021). Las hojas, en cuanto a su forma, varían entre ovadas, orbiculares, sagitales, cordiformes y elípticas, siendo la base coronada su principal característica (figura 6.2). Los colores de las hojas, tanto en el haz como en el envés, pueden cambiar durante el desarrollo, con presencia de pigmentos en las hojas jóvenes en algunos genotipos. Una condición similar se observa en la nervadura y el peciolo de la hoja.

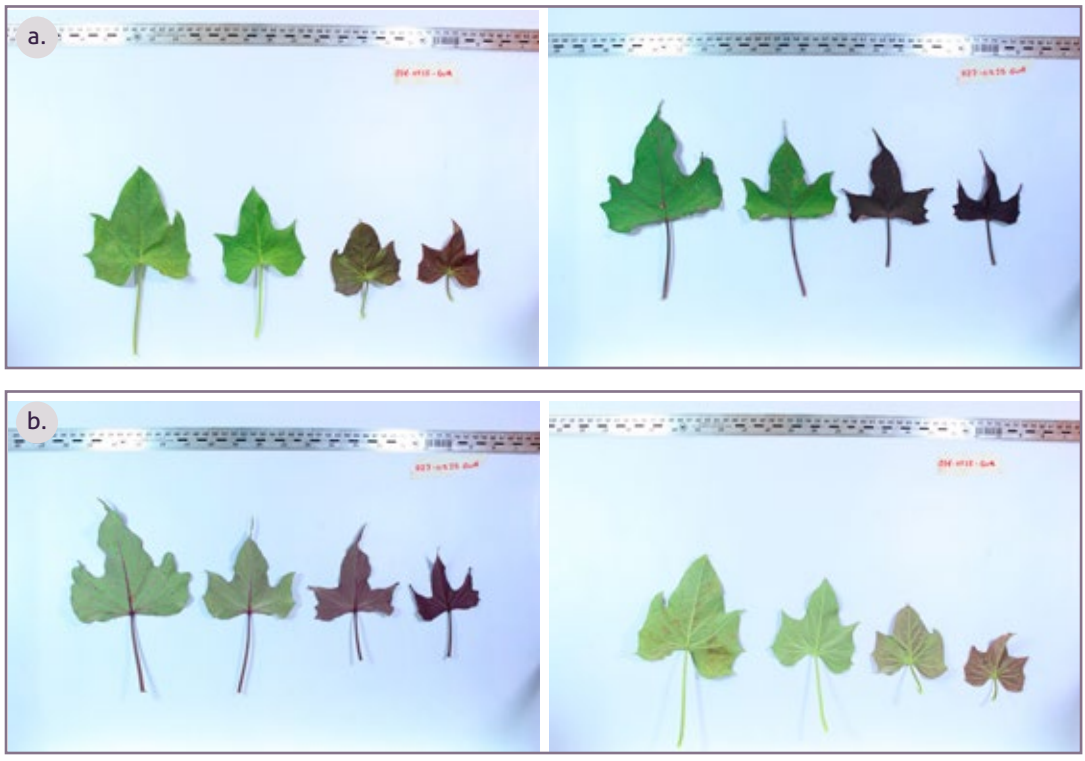


Figura 6.2.

Ejemplos de polimorfismos fenotípicos en hojas relacionados con el desarrollo y el genotipo.
a. El haz en dos genotipos; b. El envés en dos genotipos.

Fotos: Leiter Granda

En general, se detecta una amplia diversidad en polimorfismos fenotípicos. En la figura 6.3 se muestra la diversidad de hojas y raíces en una población de 71 genotipos (Rosero et al., 2019).

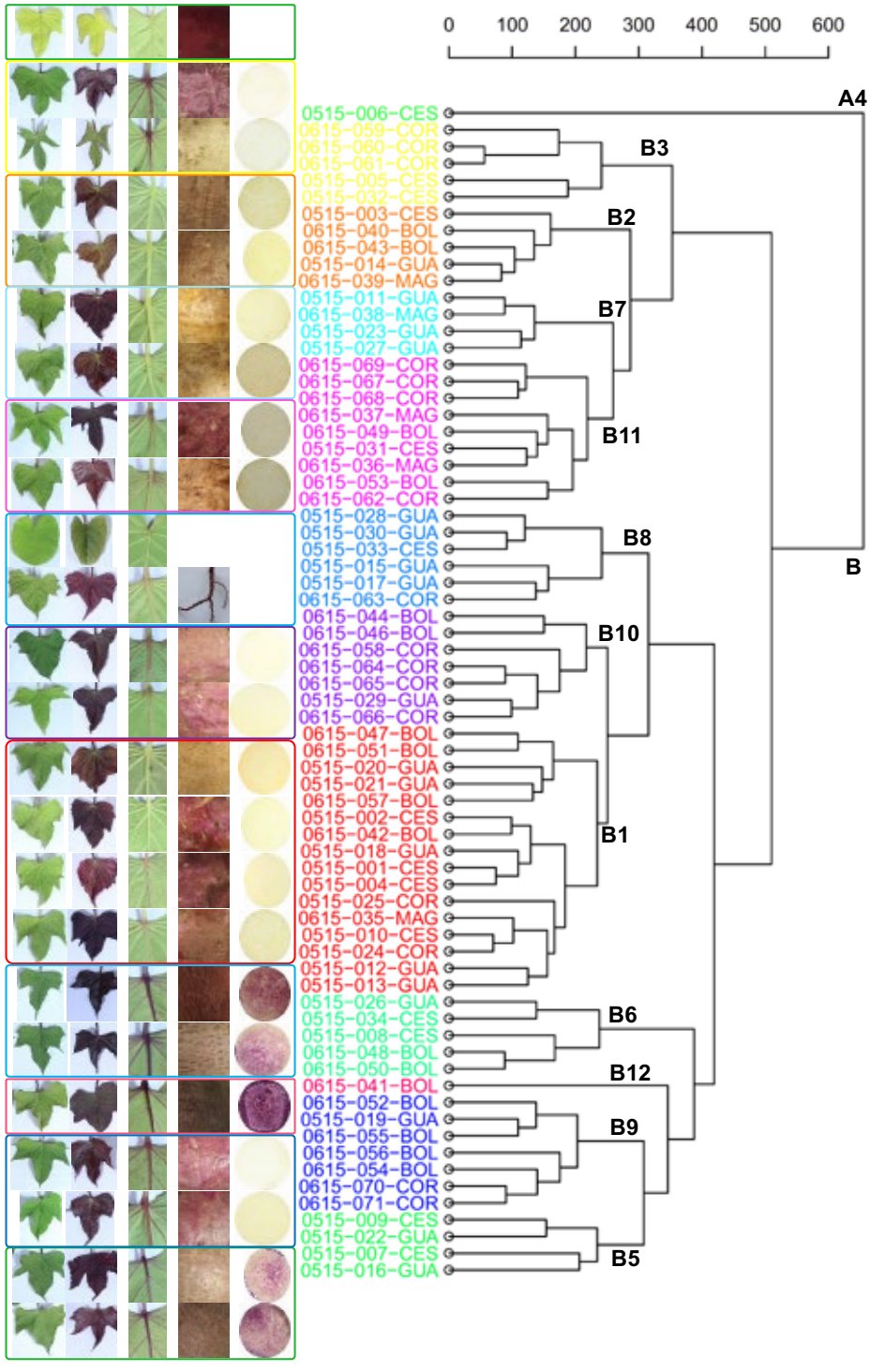


Figura 6.3.

Ejemplo de la diversidad fenotípica encontrada entre genotipos de batata.

Fuente: Rosero et al. (2019)

La flor es campanulada, bisexual y actinomorfa. El color de los pétalos varía entre el morado, el rojo, el rosado, el naranja-rojizo y el blanco (Noraini et al., 2021). La batata desarrolla un sistema radicular pivotante, ramificado y difuso, compuesto por la raíz axial, calificada como raíz tuberosa, que tiene forma alargada, redonda o fusiforme y de alto espesor; por las raíces absorbentes (tipo lápiz); y por raíces fibrosas (abundantes y ramificadas) (Cartabiano-Leite et al., 2020). La superficie de la corteza de la raíz tuberosa es generalmente lisa, pero puede presentar constricciones horizontales y verticales según el cultivar y el manejo del cultivo; la piel, en cuanto al color, puede ser morada, blanca, crema, amarilla, naranja, marrón e incluso rojiza, mientras que la pulpa puede ser blanca, crema, amarilla, naranja o violeta. Estas variaciones de color están relacionadas con la presencia y el contenido de compuestos bioactivos como las antocianinas, los carotenos y los fenoles, que tienen propiedades nutraceúticas, como se discutió previamente (Escobar-Puentes et al., 2022).

Parámetros fisiológicos del cultivo de batata

Respecto a la fisiología, la amplia versatilidad de la batata en diferentes condiciones ambientales está dada por la coevolución de la especie, expresada en sus características morfofisiológicas. Estudios realizados usando la diversidad en Colombia han permitido detectar algunas diferencias morfológicas, que incluyen el potencial de adaptación de la especie a los ambientes subhúmedos, especialmente del Caribe. El primer hallazgo permite definir algunas características que influyen sobre la sobrevivencia, la tuberización y el rendimiento total. Los mayores valores de estos parámetros productivos se encontraron en variedades con las siguientes características: tipo de planta semierecto y disperso, entrenudos cortos, color verde en las hojas maduras, hoja completa sin foliolos y forma cordada y triangular; la figura 6.4 muestra cómo otras categorías se asocian a parámetros de menor o mayor productividad.

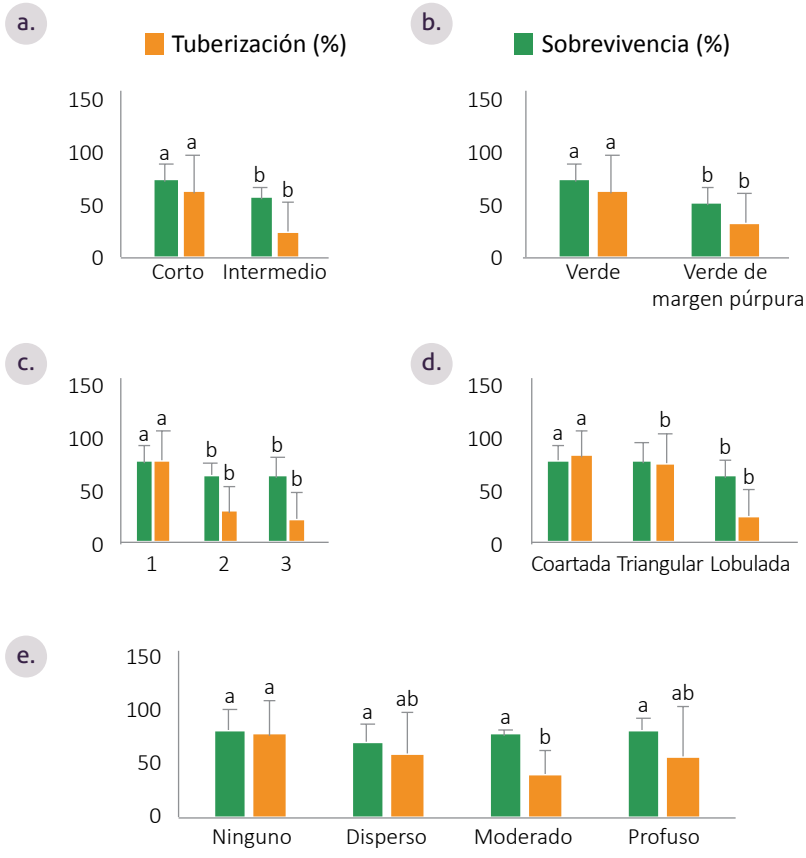


Figura 6.4.

Categorías en variables morfológicas asociadas a un mayor prendimiento (barras verdes) y tuberización (barras naranja). Las líneas corresponden al error estándar y las letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey con un 95 % de confiabilidad. a. Longitud de entrenudos; b. Color de hojas maduras; c. Número de lóbulos; d. Forma de la hoja; e. Hábito de floración.

Fuente: Pérez-Pazos et al. (2021)

Consistentemente, cuando se realizaron análisis multivariados, se diferenciaron dos grupos asociados con las características antes mencionadas; se encontró que estas características de tipo de planta semierecto y disperso, entrenudos cortos, color verde en las hojas maduras, hoja completa sin foliolos y forma cordada y triangular están relacionadas con una mayor área foliar en general, mayor longitud del peciolo y mayor área foliar por longitud de guías. Todas estas características se relacionaron luego con la eficiencia de la cobertura a los 75 días después de la siembra y con componentes de rendimiento asociados a una mayor productividad del cultivo (figura 6.5).

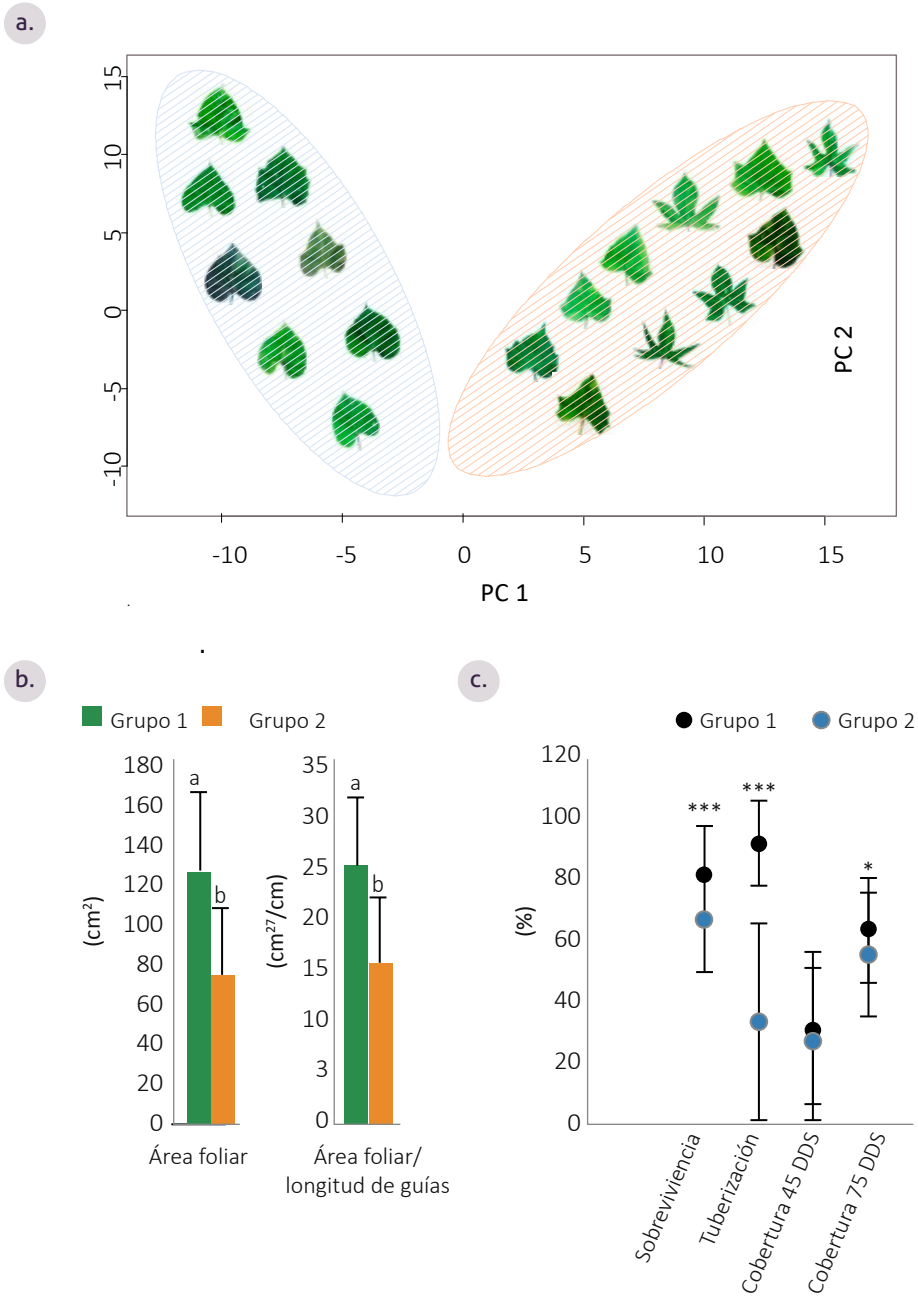


Figura 6.5.

Influencia de características morfológicas sobre componentes de rendimiento. a. Grupos discriminados por características de morfotipos de hoja; b. Área foliar y la relación área foliar/ longitud de guías en los morfotipos 1 y 2; c. Desempeño de los morfotipos 1 y 2 en términos de sobrevivencia, tuberización y cobertura a 45 y 75 días después de la siembra.

Fuente: Pérez-Pazos et al. (2021)

Estos hallazgos permiten comprender el impacto que tienen las características morfológicas sobre el desempeño productivo de la batata, especialmente asociado a la mayor eficiencia en cuanto al desarrollo de área foliar durante los primeros días, lo cual permite incrementar la eficiencia de cobertura del suelo y generar una mayor superficie de captación de luz solar, lo que permite un acelerado almacenamiento en raíces.

En cuanto a parámetros relacionados con el proceso fotosintético de la batata, varios genotipos fueron evaluados en condiciones del Caribe (104 m s. n. m., Codazzi-Cesar) (Burbano-Erazo et al., 2020), a través de la categorización por origen altitudinal. Los tres grupos presentaron un comportamiento diferencial: los genotipos de gran altitud (1.401-2.555 m s. n. m.) presentaron los menores valores en fotosíntesis, uso eficiente del agua e índice de eficiencia de carboxilación, pero los mayores en transpiración y déficit de presión de vapor, en comparación con los otros intervalos altitudinales. Estos valores para parámetros fisiológicos posiblemente estuvieron relacionados con una menor tolerancia a condiciones de baja altitud (tabla 6.1). Los genotipos de altitud intermedia (924-1.298 m s. n. m.) exhibieron valores intermedios para todas las variables. Finalmente, los genotipos de baja altitud (18-599 m s. n. m.) mostraron los mayores valores para fotosíntesis, uso eficiente del agua e índice de eficiencia de carboxilación, aunque tuvieron los valores más bajos para transpiración y déficit de presión de vapor, en comparación con los otros intervalos altitudinales. Los valores obtenidos en todas las variables fisiológicas se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Comparación de medias de parámetros fotosintéticos medidos en genotipos provenientes de diferentes altitudes evaluados en condiciones del Caribe

Genotipo	Pn	Gs	ICO_2	E	VPD	LT	WUE	CEI
Gran altitud (1.401-2.555 m s. n. m.)								
0216-243.NAR	25,45	1,39	304,05	13,44	1,42	34,96	1,89	0,0840
0816-610.BOY	25,17	1,63	310,06	12,84	1,25	30,54	1,96	0,0810
0316-286.STR	30,12	1,25	285,11	12,61	1,45	35,06	2,39	0,1053
0816-587A.BOY	27,34	1,91	308,55	12,91	1,14	32,08	2,12	0,0883
0816-600.BOY	28,03	1,27	293,00	12,58	1,43	34,74	2,23	0,0953
0516-491.CLD	22,74	1,30	307,27	14,09	1,64	33,35	1,61	0,0740
0516-515.CLD	25,20	1,67	311,26	13,35	1,28	30,91	1,90	0,0810

Genotipo	Pn	Gs	ICO_2	E	VPD	LT	WUE	CEI
Gran altitud (1.401-2.555 m s. n. m.)								
0316-299.STR	30,03	1,32	288,67	12,41	1,36	34,37	2,42	0,1040
0516-503.CLD	21,59	0,92	294,77	12,33	1,92	33,65	1,78	0,0737
0816-595.BOY	25,88	1,48	309,46	8,74	0,89	33,68	2,96	0,0840
0816-596.BOY	27,01	1,45	300,19	12,93	1,36	32,45	2,09	0,0900
0816-582.BOY	27,64	1,13	291,73	10,95	1,35	31,67	2,52	0,0950
0816-581.BOY	28,96	1,59	294,71	14,92	1,51	33,48	1,94	0,0980
0316-263.STR	25,02	1,54	306,88	14,83	1,49	33,29	1,69	0,0813
0316-251.STR	27,54	1,44	300,78	11,67	1,22	31,61	2,36	0,0917
0316-261.STR	25,56	1,25	301,19	12,14	1,40	32,18	2,11	0,0850
0316-283A.STR	30,83	1,18	281,88	12,04	1,42	35,08	2,56	0,1097
0816-615.STR	21,71	0,88	291,78	12,10	1,96	33,67	1,82	0,0743
0316-257.STR	30,98	1,08	271,01	11,29	1,52	34,18	2,77	0,1147
Media del grupo	26,77	1,35	297,49	12,53	1,42ª	33,20	2,16	2,16
Altitud intermedia (924-1.298 m s. n. m.)								
0516-357.QND	32,47	1,17	276,08	12,03	1,44	32,91	2,70	0,1175
0715-096.NS	26,72	1,71	307,03	13,37	1,25	33,21	2,00	0,0870
0715-099.NS	28,73	1,34	293,28	12,80	1,38	34,96	2,24	0,0980
0816-618.STR	27,88	1,20	288,94	12,43	1,44	33,74	2,45	0,0963
0715-086.CES	23,54	1,00	293,11	10,52	1,61	32,08	2,23	0,0800
0316-300.STR	30,81	1,06	276,97	11,45	1,46	34,69	2,69	0,1113
0113-660.VAL	28,67	1,57	304,08	9,45	0,89	32,84	3,04	0,0943
0113-668.VAL	29,61	1,59	301,74	9,48	0,89	32,82	3,12	0,0983
0316-256.STR	26,49	1,95	312,32	12,24	1,06	31,26	2,17	0,0850
Media del grupo	28,32	1,39	294,83	11,53	1,26	33,16	2,51	2,51
Baja altitud (18-599 m s. n. m.)								
0715-076.CES	33,04	1,34	279,65	12,50	1,35	35,27	2,65	0,1183
0516-352.HUI	29,56	1,69	299,22	12,82	1,20	33,24	2,31	0,0990
0816-620.STR	28,80	1,95	303,61	13,27	1,18	32,01	2,17	0,0950
0715-105.CES	28,53	1,17	286,38	12,39	1,51	34,30	2,31	0,0997
Ambarina	31,10	1,46	294,78	8,74	0,86	33,10	3,56	0,1057
Aurora	29,26	1,60	301,74	10,73	1,00	32,75	2,72	0,0970
Media del grupo	30,04	1,53	294,23	11,74	1,18	33,44	2,62	2,62

Pn: fotosíntesis; Gs: conductancia estomática; ICO_2: CO_2 interno; E: transpiración; VPD: déficit de presión de vapor; LT: temperatura interna de la hoja; WUE: uso eficiente del agua; CEI: índice de eficiencia de carboxilación. Cada valor representa el promedio.

Fuente: Burbano-Erazo et al. (2020, traducción propia)

Los resultados anteriores indican que los genotipos provenientes de condiciones de baja altitud presentaron una mejor respuesta fisiológica en las condiciones del Caribe, con respecto a los otros genotipos, provenientes de mayores altitudes. Los valores de fotosíntesis estuvieron asociados a una mayor capacidad de tuberización (figura 6.6); sin embargo, también se presentaron genotipos que, aunque provenientes de bajas altitudes, no tuberizaron, pues los valores de fotosíntesis fueron relativamente bajos en comparación con los que sí lo hicieron. En general, las características medidas a través de parámetros fisiológicos permiten predecir la eficiencia de ciertos genotipos en el almacenamiento de carbohidratos en las raíces.

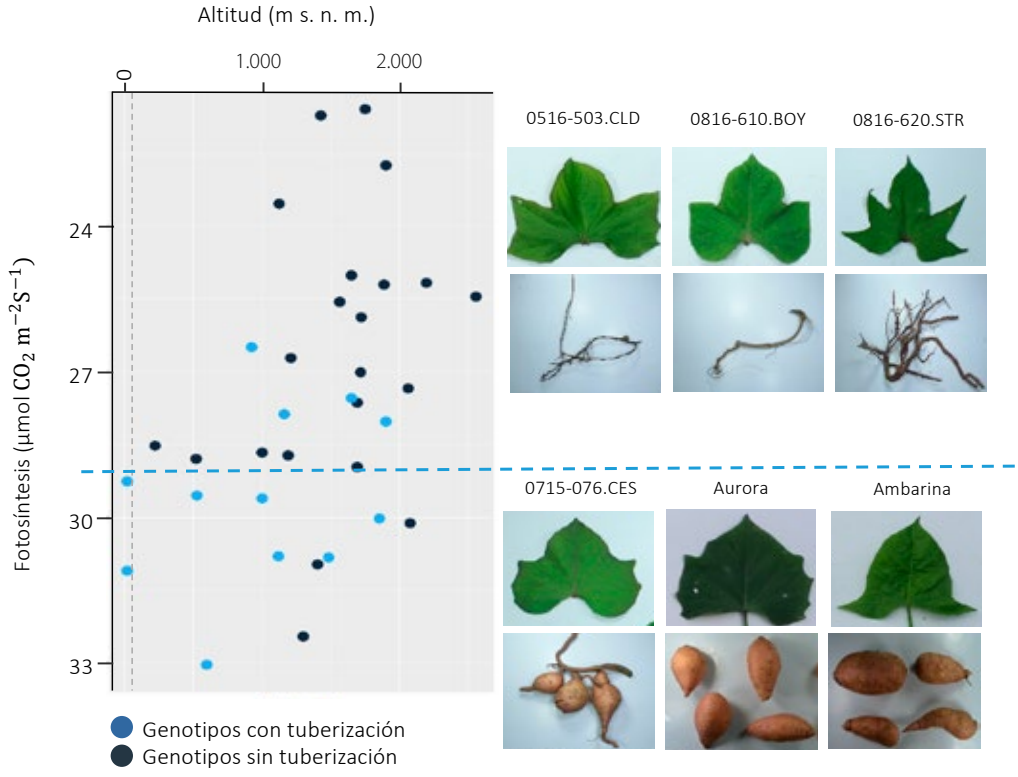


Figura 6.6.

Relación entre fotosíntesis y altitud (procedencia) en los genotipos evaluados en las condiciones del Caribe.

Fuente: Burbano-Erazo et al. (2020)

Comportamiento fenológico del cultivo de batata

En Colombia, la batata crece en diferentes altitudes, y este es uno de los principales determinantes de la duración del ciclo fenológico: a medida que la altitud es mayor, mayor es la duración del ciclo de cultivo. En las condiciones del Caribe colombiano, se han encontrado variedades con duración del ciclo de 100 a 150 días después de la siembra. La variedad más cultivada a nivel comercial es Agrosavia Aurora, que presenta un ciclo de 100-120 días después de siembra. Del ciclo fenológico de la batata se reconocen diez etapas de crecimiento primario, según la escala extendida del Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH), que incluyen la germinación (0), el desarrollo de hojas (1), el desarrollo de brotes principales (2), el desarrollo de brotes laterales (3), el desarrollo de tubérculos (4), la emergencia de inflorescencias (5), la floración (6), el desarrollo del fruto (7), la maduración del fruto (8) y la senescencia (9) (Pati et al., 2024).

En los estudios realizados usando tres variedades, incluyendo Agrosavia Aurora (Pérez-Pazos et al., 2021), se encontró que el llenado de raíces comienza a los 45 días después de siembra. La mayor tasa de acumulación de masa foliar se presenta en los primeros 30 días, seguidos por un descenso en los siguientes días, que coinciden con el inicio de la tuberización. El descenso en la acumulación de área foliar se refiere a la menor tasa de crecimiento en el área foliar, aunque el desarrollo de nuevas hojas continúa. Aunque las variedades tardías inician la tuberización después de los 45 días, su acelerado crecimiento les permite formar abundante masa radicular hasta los 150 días. Estos hallazgos permiten generar recomendaciones de manejo clave, como las siguientes: manejo oportuno de malezas hasta los 30 días después de la siembra, fertilización después de los 15 días de sembrado el cultivo, y manejo de plagas y enfermedades durante todo el ciclo, especialmente hasta los 90 días después de la siembra (figura 6.7).

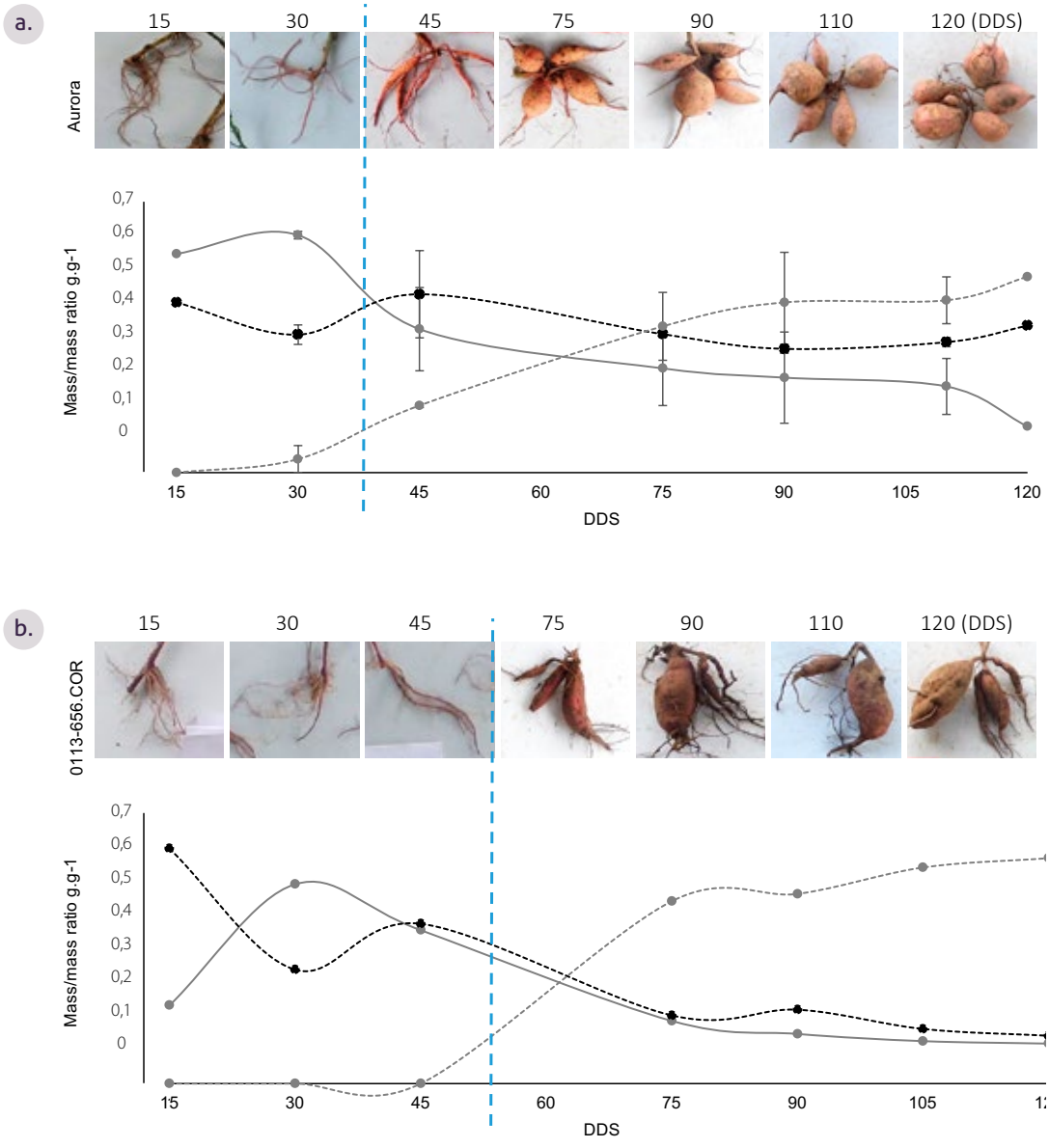


Figura 6.7.

Desarrollo radicular en dos variedades de batata. a. Proceso de tuberización en variedad Agrosavia Aurora y acumulación de biomasa en Agrosavia Aurora según ciclo fenológico; b. Proceso de tuberización en variedad tardía y acumulación de biomasa en variedad tardía.

Fuente: Pérez-Pazos et al. (2021)

Referencias

Burbano-Erazo, E., Cordero, C., Pastrana, I., Espitia, L., Gomez, E., Morales, A., Pérez, J., López, L., & Rosero, A. (2020). Interrelation of ecophysiological and morpho-agronomic parameters in low altitude evaluation of selected ecotypes of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.). *Horticulturae*, *6*(4), artículo 99. https://doi.org/10.3390/horticulturae6040099

Cartabiano-Leite, C. E., Porcu, O. M., & De Casas, A. F. (2020). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) nutritional potential and social relevance: A review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, *10*(6), 23-40. http://dx.doi.org/10.9790/9622-1006082340

Cusumano, C. O., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán, Argentina*. INTA.

Escobar-Puentes, A. A., Palomo, I., Rodríguez, L., Fuentes, E., Villegas-Ochoa, M. A., González-Aguilar, G. A., Olivas-Aguirre, F. J., & Wall-Medrano, A. (2022). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) phenotypes: From agroindustry to health effects. *Foods*, *11*(7). https://doi.org/10.3390/foods11071058

Firon, N., LaBonte, D., Villordon, A., Kfir, Y., Solis, J., Lapis, E., Schnitzer Perlman, T., Doron-Faigenboim, A., Hetzroni, A., Althan, L., & Nadir, L. A. (2013). Transcriptional profiling of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) roots indicates down-regulation of lignin biosynthesis and up-regulation of starch biosynthesis at an early stage of storage root formation. BMC *Genomics*, *14*, artículo 460. https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-460

Huamán, Z. (Ed.). (1991). *Descriptors for sweet potato*. International Board for Plant Genetic Resources.

Noraini, T., Amirul-Aiman, A. J., Ruzi, A. R., Bunawan, H., & Nurdiana, S. F. (2021). Adaptation and taxonomic value of leaf anatomical characteristics of selected *Ipomoea* L. species. *Journal of Environmental Biology*, *42*, 872-878. https://doi.org/10.22438/jeb42/3(SI)/JEB-20

Pati, K., Kaliyappan, R., Giri, A. K., Singh Chauhan, V. B., Gowda, H., Arutselvan, R., Nedunchezhiyan, M., & Laxminarayana, K. (2024). Phenological growth stages of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, *184*(3), 382-390. https://doi.org/10.1111/AAB.12894

Pérez-Pazos, J. V., Rosero, A., Martínez, R., Pérez, J., Morelo, J., Araujo, H., & Burbano-Erazo, E. (2021). Influence of morpho-physiological traits on root yield in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) genotypes and its adaptation in a sub-humid environment. *Scientia Horticulturae*, *275*, artículo 109703. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109703

Rosero, A., Granda, L., Pérez, J. L., Rosero, D., Burgos-Paz, W., Martínez, R., Morelo, J., Pastrana, I., Burbano, E., & Morales, A. (2019). Morphometric and colourimetric tools to dissect morphological diversity: An application in sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]. *Genetic Resources Crop Evolution*, *66*, 1.257-1.278. https://doi.org/10.1007/s10722-019-00781-x

CAPÍTULO 7.

Fisiología de las raíces tuberosas de batata

JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS, ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA
Y ROCÍO MARGARITA GÁMEZ CARRILLO

Las raíces tuberosas de batata (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.), también denominadas raíces de almacenamiento o reservantes, son importantes para la alimentación de millones de personas a nivel mundial. Esta estructura es una raíz verdadera (botánica), modificada como órgano de almacenamiento, que carece de nudos y tejido meristemático preformado asociado; no obstante, puede iniciar una actividad meristemática adventicia y producir brotes y raíces (Firon et al., 2009). Las raíces tuberosas están constituidas principalmente por carbohidratos como el almidón y enriquecidas en fibras dietéticas, minerales, antioxidantes, carotenoides y polifenoles (Agnes et al., 2017; Lee et al., 2021), por lo cual son una alternativa promisoria para la seguridad alimentaria, debido a que se usan como alimento básico en países tropicales y subtropicales. En el sector industrial también se destaca debido a que, en comparación con la yuca y el maíz, este cultivo es capaz de generar una mayor cantidad de carbohidratos (80 %), distribuidos en almidones (50 %) y sacarosa (30 %) (Ziska et al., 2009).

La formación de raíces tuberosas en batata está determinada por varios aspectos, como las condiciones del sustrato (tipo, composición y preparación del suelo) y los factores bióticos (microorganismos, plagas y malezas) y abióticos (disponibilidad de agua y condiciones ambientales), que están involucrados en el desarrollo de las plantas; sin embargo, las características genéticas determinarán su capacidad de generar una respuesta fisiológica que promueva o no la formación de raíces tuberosas cuando las condiciones de crecimiento son modificadas (Firon et al., 2009). En este contexto, la búsqueda y mejora genética de materiales de batata es

importante para desarrollar cultivares mejorados, que sean capaces de adaptarse a diferentes condiciones de crecimiento, considerando la dinámica actual de los cultivos y del medioambiente (Elameen et al., 2010).

Características morfológicas y anatómicas de las raíces de batata

Las plantas de batata se desarrollan a partir de la sección de tallo subterráneo del esqueje usado como material de siembra. A partir de este tejido, se desarrollan raíces adventicias (Kays, 1985; Togari, 1950), las cuales forman raíces fibrosas (< 5 mm de diámetro) o, en algunos casos, raíces tipo lápiz (5-15 mm de diámetro), y si las condiciones ambientales son adecuadas, se forman las raíces tuberosas (figura 7.1). A nivel histológico, las raíces de la batata se forman a partir de meristemas apicales agrandados y un cilindro vascular con estelas (patrón de haces vasculares) tetrarco, pentarco, hexarco o heptarco, de acuerdo con el número de cordones o polos de que disponga, sin elementos de metaxilema central.

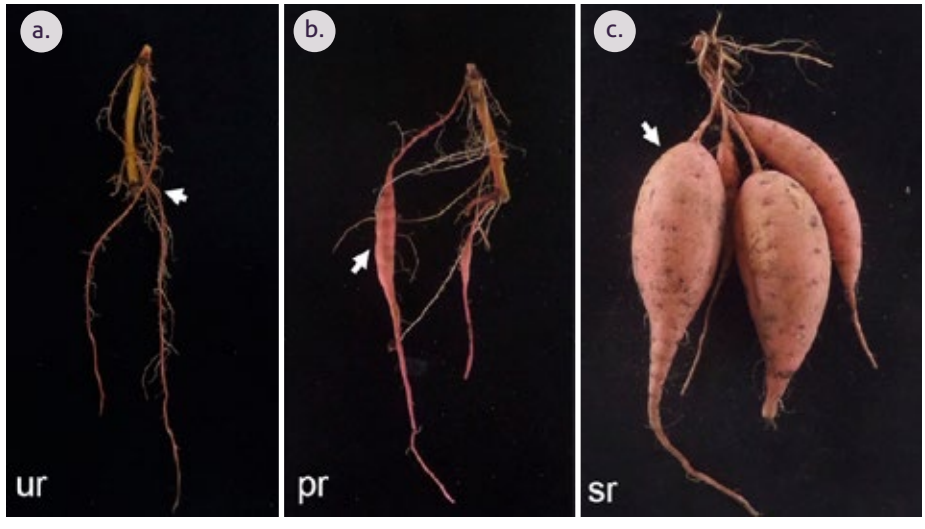


Figura **7.1.**

Sistema de raíces en batata. a. (ur) Raíces adventicias no engrosadas; b. (pr) Raíces tipo lápiz; c. (sr) raíces tuberosas.

Fotos: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Un cilindro vascular tetrarco (cuatro polos) solo formará raíces adventicias delgadas con un núcleo central de elementos metaxilema sin médula y un pequeño meristema apical (Belehu et al., 2004; Togari, 1950). La lignificación de las células presentes en el protoxilema y el metaxilema de raíces adventicias pentarcas o hexarcas inhibe el desarrollo de raíces tuberosas (Belehu et al., 2004; Togari, 1950; Wilson & Lowe, 1973), lo cual ha sido corroborado por Li et al. (2019), quienes encontraron genes asociados a la biosíntesis de lignina con expresión baja en raíces tuberosas.

El número de raíces adventicias emergentes está determinado por el número de primordios de raíces preformados (Belehu et al., 2004). Anatómicamente, estas raíces adventicias desarrollan primero el cámbium primario, suprimiendo la lignificación a partir del desarrollo del cámbium vascular en la zona parenquimatosa, entre el protofloema y el protoxilema. Luego se desarrollan cámbiums anómalos alrededor de la célula central y elementos primarios del xilema (cámbium primario), y cámbiums secundarios se forman alrededor de elementos secundarios del xilema derivados del cámbium vascular (Eguchi & Yoshida, 2008; Firon et al., 2009). La división celular y la expansión en estas regiones cambiantes conducen a un rápido engrosamiento de las raíces (Wilson & Lowe, 1973).

Las raíces tuberosas se forman a partir de raíces gruesas (Belehu et al., 2004; Firon et al., 2009; Kays, 1985), de configuración pentarca, hexarca o heptarca, donde las células presentes en el protoxilema y el metaxilema central no lignifican, o lignifica solo una pequeña porción (Belehu et al., 2004). El desarrollo de raíces tuberosas depende del aumento del número y tamaño de las células en la estela y del desarrollo de los gránulos de almidón en las células (Hahn & Hozyo, 1984), los cuales varían de tamaño dependiendo de si se ubican cerca del cámbium anómalo o en la capa externa (Chang et al., 2000; Firon et al., 2009). La acumulación de almidón se desencadena en las células cercanas al cámbium anómalo y posteriormente se diferencia en células de biosíntesis de almidón activo; por tanto, las células de cámbium anómalas alrededor de los vasos del xilema en raíces de batata pueden desempeñar un papel importante en el metabolismo del almidón y en el desarrollo adicional de raíces tuberosas.

Formación de raíces tuberosas en el género *Ipomoea* spp.

La formación de raíces inicia mediante el desarrollo de pequeñas protuberancias blancas en la base foliar del esqueje, independientemente de la edad del tejido. Dichas protuberancias sobresalen a través de la corteza y la epidermis del tallo, y se conectan al tejido vascular, originadas a partir del procámbium cercano al ápice del tallo o a ambos lados de la inserción de la hoja; estas provienen de primordios de raíz preformados, que permanecen latentes hasta que las condiciones de crecimiento sean adecuadas, pero estos pueden ser abortados si las condiciones no son favorables. Se puede inducir también el desarrollo de raíces adventicias mediante heridas causadas en diferentes tejidos de la planta, a partir de tejido calloso o directamente del cilindro vascular (Belehu et al., 2004). Por tanto, la formación de raíces adventicias requiere la rediferenciación de células predeterminadas, las cuales activan su vía morfogenética actuando como células madre que desarrollarán tejido meristemático y luego el primordio radical; posteriormente, se requieren altas concentraciones de auxinas para la fase de inducción de enraizamiento (De Klerk et al., 1999; Deng et al., 2012).

La formación de tejido de almacenamiento, que desencadena el crecimiento diametral de las raíces tuberosas, se produce por actividad del cámbium vascular, así como también se producen segmentos del cámbium primarios y secundarios anómalos (Belehu et al., 2004; Wilson, 1982). La actividad de todos los tipos de cámbium resulta en la formación de células del parénquima que almacenan almidón, pero la contribución de cada cámbium depende del genotipo (Belehu et al., 2004). Un genotipo de alto rendimiento tendría una mayor actividad del cámbium anómalo (Wilson & Lowe, 1973).

Algunas moléculas como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), a bajas concentraciones, median en el proceso de formación de raíces adventicias, así como en el gravitropismo radical y el desarrollo de raíces laterales (Dunand et al., 2007; Su et al., 2006), mediante la estimulación del alargamiento celular, lo que se traduce en alargamiento de raíces (Deng et al., 2012). Se ha reportado también la influencia por efecto de reguladores

de crecimiento endógenos, ya sea de forma inductora, como la bencilaminopurina (BAP), el cloruro de cloroetiltrimetilamonio (CCC), el ácido indol-3-acético (IAA), el ribósido de zeatina (ZR) y el ácido abscísico (ABA) (McDavid & Alamu, 1980; Nakatani et al., 2002), o causando retraso en el proceso, como el ácido giberélico (GA3), el ácido jasmónico y el ácido ascórbico (Deng et al., 2012; Kim et al., 2002; Nakatani et al., 2002). Son requeridas altas concentraciones de sacarosa endógena dado que, en presencia de esta, se genera translocación de la citocinina ZR (Eguchi & Yoshida, 2008), la cual es una de las hormonas que desempeñan un papel importante, ya que, al incrementarse alrededor del cámbium primario, desencadena la formación de raíces tuberosas (Eguchi & Yoshida, 2008; Firon et al., 2009; McDavid & Alamu, 1980; Nakatani, 1994); esto se da, posiblemente, porque influye en la división y el posterior alargamiento celular durante el desarrollo temprano de la raíz (Matsuo et al., 1988). El ABA se asocia con la actividad del cámbium secundario, después de la formación del cámbium primario (Nakatani et al., 2002).

Factores que influyen en la formación de raíces tuberosas de la batata

La batata es un cultivo principalmente de zonas tropicales, donde es posible su producción durante todo el año, y se adapta también a zonas templadas, donde solo se produce un ciclo anual. En países desarrollados, se cultiva comercialmente como una hortaliza de alto valor bajo sistemas de producción de manejo intensivo, pero la producción de raíces varía de planta a planta; algunas plantas tienen pocas o ninguna raíz de almacenamiento, mientras que otras tienen cuatro o más raíces comerciales (Firon et al., 2009).

La batata crece mejor en ambientes cálidos, con temperaturas medias entre 21 °C y 26 °C, y precipitaciones bien distribuidas entre 750 y 1.500 mm; posee cierta tolerancia a la sequía; no soporta encharcamientos prolongados, y es altamente dependiente de luz directa, por cuanto el exceso de lluvia y la baja luminosidad reducen el rendimiento de raíces tuberosas (Nedunchezhiyan et al., 2007; Nedunchezhiyan & Byju, 2005; Nedunchezhiyan & Ray, 2010).

La amplia variabilidad en el rendimiento de raíces tuberosas entre cultivares de batata, y aun en plantas individuales del mismo cultivar, se atribuye a aspectos genéticos, al material de propagación y a factores ambientales y del suelo (Firon et al., 2009; Lowe & Wilson, 1974; Togari, 1950), como sus características físicas y de fertilidad, además de la temperatura del aire y el suelo (Ravi & Indira, 1999; Eguchi et al., 1994), la hipoxia, las condiciones de oscuridad y las condiciones de suelos secos y compactos (Belehu et al., 2004; Chu & Kays, 1981; Eguchi & Yoshida, 2008; Sajjapongse & Roan, 1982). Igualmente, las temperaturas nocturnas podrían influenciar la traslocación de azúcares del tallo a las raíces (Du Plooy, 1989). Por tanto, el manejo agronómico del cultivo, así como las condiciones ambientales imperantes en la región cultivada, pueden afectar la producción de raíces tuberosas en plantas de batata.

Condiciones del suelo

Aunque la batata se adapta a diferentes tipos de suelo, son ideales los suelos franco-arenosos (con un subsuelo arcilloso), francos y franco-arcillosos; suelos "pesados", muy arcillosos, restringen el desarrollo de la raíz reservante debido a problemas de compactación, y suelos muy arenosos inducen la formación de raíces tipo lápiz. El pH del suelo ideal es de 5,5 a 6,5: pH muy altos posibilitan la aparición de algunas enfermedades, y pH bajos generan toxicidad por aluminio. Adicionalmente, la batata es sensible a las condiciones alcalinas y salinas (Dasgupta et al., 2006; Mukherjee et al., 2006; Nedunchezhiyan & Ray, 2010).

En Colombia, para la primera variedad de batata con pulpa anaranjada, Agrosavia Aurora, se encontró que sustratos arenosos favorecen la tuberización de la batata en todas las etapas de crecimiento; sin embargo, se obtuvieron mejores resultados de tuberización cuando se incorporaron sustratos orgánicos (figura 7.2). La adición de materia orgánica en el sustrato modifica la estructura fisicoquímica al mejorar sus propiedades, como la estabilidad de agregados, la densidad aparente, la capacidad de retención de agua, la compactación, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes (Murphy, 2015), condiciones que favorecen el inicio de la tuberización y el llenado de las raíces tuberosas.

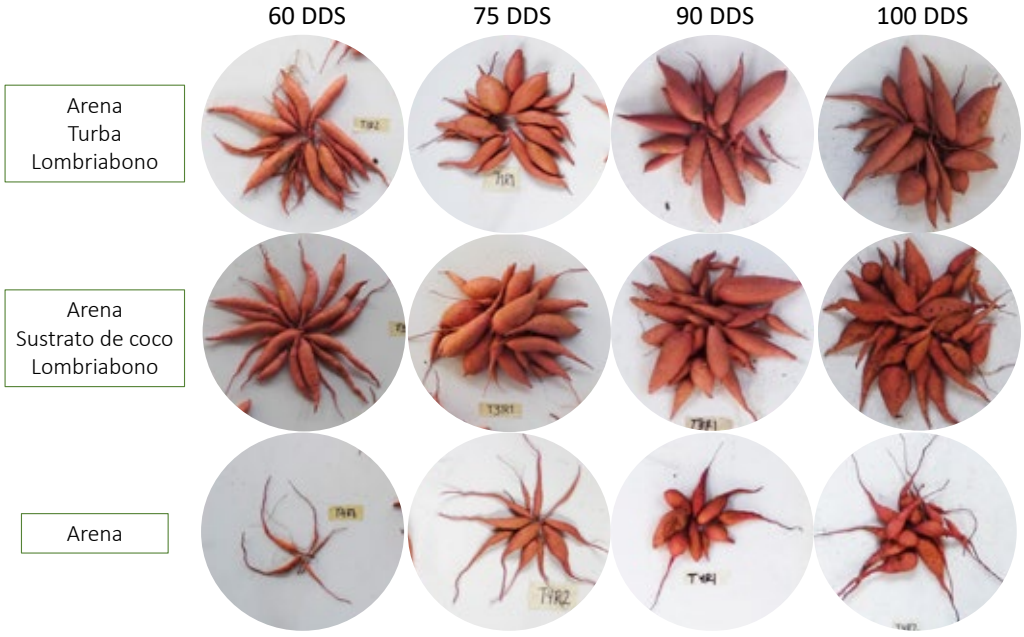


Figura 7.2.

Efecto de la incorporación de sustratos orgánicos en la tuberización de batata de la variedad Agrosavia Aurora. DDS: días después de la siembra.

Fotos: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Condiciones hídricas

La batata requiere 600-700 mm de agua de riego bien distribuida, aunque no se considera exigente en agua, dado que se adapta bien a ambientes estresantes, así como a diferentes niveles de fertilidad, y tolera medianamente la salinidad (Ekanayake & Collins, 2004; Torres & Collantes, 2015; Van Heerden & Laurie, 2008). La disponibilidad de agua es fundamental en el momento del trasplante de esquejes y el llenado de raíces tuberosas, mientras que el exceso de agua en época de tuberización es crítico debido a que puede causar pudrición, por lo que debe suspenderse el riego al alcanzar la madurez fisiológica (Torres & Collantes, 2015).

Se reportan reducciones del 80 % al 90 % en el rendimiento por estrés hídrico al inicio del proceso de formación de las raíces tuberosas, es decir, durante el primer y segundo mes después de la siembra (fase 2 de crecimiento) (Cusumano & Zamudio, 2013). La materia seca de la raíz reservante, los azúcares totales y los contenidos de proteínas en las raíces

son algunos de los rasgos de calidad afectados por las condiciones de estrés hídrico, por lo cual pueden mejorarse mediante regímenes de riego apropiados. La aplicación de materia orgánica es una estrategia útil para mantener la humedad en el suelo (Ghuman & Lal, 1983); sin embargo, el mismo cultivo, después de que se cubra todo el suelo (> 30 días después de la siembra), puede mantener la humedad durante un tiempo prolongado. Van Heerden y Laurie (2008) evaluaron los efectos de diferentes niveles de humedad sobre dos variedades de batata y concluyeron que la disminución del contenido de humedad causa una reducción en el crecimiento, representado por una menor longitud del tallo y un menor peso seco y fresco de raíces. Por su parte, Ekanayake y Collins (2004) encontraron que la disminución en el contenido de humedad en el suelo causa una disminución de rendimiento de raíces y de contenido de nitrógeno proteico, pero no causa mayores alteraciones en los contenidos de materia seca, azúcares totales, azúcares reductores y almidón en la raíz.

Condiciones nutricionales

Considerando la importancia del potasio, se ha encontrado un efecto favorable de la fertilización inorgánica con este elemento sobre la acumulación de materia seca y, por tanto, en el rendimiento, siendo una dosis óptima entre 150 y 225 kg/ha (Wang et al., 2020); sin embargo, esto dependerá de las condiciones fisicoquímicas del suelo. Este nutrimento es esencial en el crecimiento, el metabolismo y el desarrollo de los cultivos (Wang et al., 2017). Su participación se ha asociado a la activación enzimática para la generación de energía, la síntesis proteica, la traslocación de solutos (Mengel & Kirby, 2001), la neutralización de carga negativa y la osmorregulación (Römheld & Kirkby, 2010), además de que ejerce influencia en los mecanismos fisiológicos de respuesta para el intercambio gaseoso, como la asimilación de CO_2 (Nicholaides III et al., 1985; Zhao et al., 2001). Se ha reportado que, para producir 1.000 kg de materia seca de batata, se requieren aproximadamente 10 kg de potasio (George et al., 2002).

Por otro lado, se han encontrado respuestas diferenciales entre genotipos sometidos a diversos niveles de fertilización con este elemento, lo que indica que pueden existir individuos con mayor capacidad de aprovechamiento de potasio, como se ha evidenciado en los genotipos Xu28

y Wan5 respecto a Ji22, que fue menos eficiente (Wang et al., 2015). Esta condición se puede considerar de interés para la selección de genotipos, dentro de un programa de mejoramiento, para la búsqueda de individuos con la capacidad de usar eficientemente este elemento.

La capacidad de los genotipos para el uso eficiente del potasio se relaciona directamente con su capacidad para producir biomasa radicular, ya que así se incrementan los rendimientos de las raíces tuberosas (Rengel & Damon, 2008); además, se han realizado caracterizaciones en donde se han identificado genotipos de batata promisorios con capacidad de alto uso eficiente de potasio (Wang et al., 2017). Por otra parte, se han buscado alternativas que permitan evitar los efectos negativos de la deficiencia de potasio sobre la batata, generen menor huella ambiental y requieran menor costo de inversión; la biofertilización es una estrategia de gran importancia, ya que promueve la utilización de bacterias solubilizadoras de potasio, tal como *Bacillus circulans*, con resultados de gran interés para la reducción de costos de producción influenciados por la aplicación de fuentes nutricionales a base de potasio (Shams & Fekry, 2014). Los niveles de potasio pueden influir en una mayor absorción de otros nutrientes de gran importancia, como el nitrógeno, así como en la acumulación de materia seca (Wang et al., 2020).

Adicionalmente al potasio, el nitrógeno es un elemento de gran importancia en las plantas, debido a su intervención en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, siendo asimilado como NH_4^+ o NO^-_3 (Pushpalatha et al., 2018). El nitrógeno influye en múltiples procesos, como la síntesis de aminoácidos, la producción celular y la fotosíntesis (Ankumah et al., 2003; Guertal & Kemble, 1997); la deficiencia de este elemento puede repercutir negativamente sobre el rendimiento, debido a su importante influencia sobre el área foliar, la acumulación de materia seca y la formación de estructuras de almacenamiento (Shen et al., 2012). Se ha encontrado un incremento en cuanto a rendimiento realizando aplicaciones de nitrógeno (Ankumah et al., 2003); sin embargo, su exceso puede reducir el rendimiento al incrementar la formación de ápices y hojas, estimular la formación de raíces fibrosas y afectar la translocación de fotoasimilados a las raíces tuberosas (Lebot, 2009; Phillips et al., 2005). Otra alternativa con menor impacto ambiental respecto a la fertilización inorgánica ha sido la utilización de bacterias solubilizadoras de este elemento;

para batata se han evaluado e identificado PGPR (*plant growth-promoting rizobacteria*) como una alternativa de gran interés para la fijación de nitrógeno, obteniéndose un mayor rendimiento de raíces tuberosas en tratamientos inoculados (Marques et al., 2019; Yasmin et al., 2007). En condiciones del Caribe colombiano, se encontró que con la inoculación de *Azotobacter chroococcum* se puede reducir hasta un 25 % la fertilización nitrogenada, aunque también existe una respuesta de interés con *Azospirillum lipoferum* (Sánchez-López et al., 2019). También se han encontrado resultados promisorios con el uso de abonos verdes, mediante la incorporación de leguminosas, llegando a reducir los requerimientos de nitrógeno hasta un 35,7 % en batata (Fernandes et al., 2018).

Otro de los elementos que también tiene participación en el crecimiento y desarrollo de la planta de batata, pero en menor proporción, es el fósforo; este elemento hace parte de los ácidos nucleicos, lípidos de las membranas e intermediarios fosforilados del metabolismo energético, y participa en la formación de enlaces, la división celular y la formación radicular (Shen et al., 2011; Van Wazer, 1961). El fósforo presenta una baja disponibilidad debido a la reducida capacidad de difusión y la alta fijación a los suelos; su absorción por medio de las raíces se da en las formas $H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-}, aunque, cuando se presenta deficiencia de este elemento, las plantas pueden mostrar respuestas adaptativas para facilitar la asimilación de las reservas de fósforo, reciclando y reduciendo el uso e incluso translocándolo desde tejidos maduros a jóvenes (Shen et al., 2011). Además, la batata se caracteriza por ser eficiente en la absorción de fósforo (Da Costa Cruz et al., 2016). Se han encontrado resultados favorables utilizando dosis intermedias de este elemento (El Sayed et al., 2011): en una evaluación con 0, 30 y 60 kg/ha de una fuente de fósforo, se encontró que la mejor respuesta fue con 30 kg/ha (Akinrinde, 2006); de igual manera, una dosis intermedia, de 104 kg de P_2O5/ha, resultó ser la cantidad óptima para la producción a nivel comercial (Da Costa Cruz et al., 2016); sin embargo, estas dosis se ven influenciadas por las condiciones de evaluación.

En cuanto a otras alternativas de fertilización para incrementar la disponibilidad y mejorar la asimilación del fósforo, se destaca el uso de micorrizas (Shen et al., 2011); en evaluaciones de inoculación, se ha reportado no solo un aumento en el rendimiento, sino también un incremento en la

cantidad de B-carotenos en batata (Tong et al., 2013), por lo que su uso podría representar un componente muy importante en la biofortificación, como estrategia para el mejoramiento de la seguridad alimentaria. Por otro lado, bacterias solubilizadoras de fósforo y otros nutrientes, aisladas de batata, tal como *Bacillus cereus* y *Achromobacter xylosoxidans*, pueden considerarse como biofertilizantes promisorios (Dawwam et al., 2013). En condiciones del Caribe colombiano, se han identificado PGPR promisorias, aisladas de batata, como *Azotobacter vinelandii*, *A. chroococcum*, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas denitrificans*, que pueden tener un efecto favorable sobre algunos parámetros de crecimiento en este cultivo, al favorecer la solubilización del fósforo (Pérez-Pazos y Sánchez-López, 2017).

Referencias

Agnes, A. C., Felix, E. C., & Ugochukwu, N. T. (2017). Morphology, rheology and functional properties of starch from cassava, sweet potato and cocoyam. *Asian Journal of Biology*, *3*(3), 1-13. https://doi.org/10.9734/AJOB/2017/34587

Akinrinde, E. A. (2006). Phosphorus fertilization effect on dry matter production and biomass partitioning in sweet potato (*Ipomoea batatas*) grown on an acidic loamy-sand Alfisol. *Journal of Food Agriculture and Environment*, *4*(3/4), 99-104.

Ankumah, R. O., Khan, V., Mwamba, K., & Kpomblekou-A, K. (2003). The influence of source and timing of nitrogen fertilizers on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *100*(2-3), 201-207. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00196-8

Belehu, T., Hammes, P. S., & Robbertse, P. J. (2004). The origin and structure of adventitious roots in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Australian Journal of Botany*, *52*(4), 551-558. https://doi.org/10.1071/BT03152

Chang, S.-C., Lin, P.-C., Chen, H.-M., Wu, J.-S., & Juang, R.-H. (2000). The isolation and characterization of chaperonin 60 from sweet potato roots — Involvement of the chaperonins in starch. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *41*, 105-111. https://ejournal.sinica.edu.tw/bbas/content/2000/2/bot12-04.html

Chu, L. K., & Kays, S. J. (1981). Effect of soil oxygen concentration on sweet potato storage root induction and/or development. *HortScience*, *16*(1), 71-73. https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI.16.1.71

Cusumano, C. O., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán, Argentina*. INTA.

Da Costa Cruz, S. M., Cecílio Filho, A. B., Sousa Nascimento, A., & Forlan Vargas, P. (2016). Mineral nutrition and yield of sweet potato according to phosphorus doses. *Comunicata Scientiae*, *7*(2), 183-191. https://doi.org/10.14295/cs.v7i2.958

Dasgupta, M., Kole, P. C., Sahoo, M. R., & Mukherjee, A. (2006). Screening of sweet potato genotypes for salinity stress. En *14th Triennial Symposium of the Society for Tropical Root Crops* (pp. 166-167).

Dawwam, G. E., Elbeltagy, A., Emara, H. M., Abbas, I. H., & Hassan, M. M. (2013). Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant. *Annals of Agricultural Sciences*, *58*(2), 195-201. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.07.007

De Klerk, G.-J., Van der Krieken, W., & De Jong, J. C. (1999). Review the formation of adventitious roots: New concepts, new possibilities. En D. D. Songstad, & S. Debnath (Eds.), *In vitro cellular & developmental biology - Plant in vitro* (vol. 35, pp. 189-199). Springer.

Deng, X.-P., Cheng, Y.-J., Wu, X.-B., Kwak, S.-S., Chen, W., & Eneji, A. E. (2012). Exogenous hydrogen peroxide positively influences root growth and exogenous hydrogen peroxide positively influences root growth and metabolism in leaves of sweet potato seedlings. *Australian Journal of Crop Science*, *6*(11), 1.572-1.578. https://www.bashanfoundation.org/contributions/Kwak-S/kwakperoxide.pdf

Du Plooy, C. P. (1989). *Stoorwortelmorfogenese by die patat* Ipomoea batatas *(L.) Lam* [tesis de doctorado, University of Pretoria].

Dunand, C., Crèvecoeur, M., & Penel, C. (2007). Distribution of superoxide and hydrogen peroxide in Arabidopsis root and their influence on root development: Possible interaction with peroxidases. *The New Phytologist*, *174*(2), 332-341. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01995.x

Eguchi, T., Kitano, M., & Eguchi, H. (1994). Effect of root temperature on sink strength of tuberous root in sweet potato plants (*Ipomoea batatas* Lam.). *Biotronics*, *23*, 75-80. https://api.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/8197/KJ00004506831pdf

Eguchi, T., & Yoshida, S. (2008). Effects of application of sucrose and cytokinin to roots on the formation of tuberous roots in sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Plant Root*, *2*, 7-13. https://doi.org/10.3117/plantroot.2.7

Ekanayake, I. J., & Collins, W. (2004). Effect of irrigation on sweet potato root carbohydrates and nitrogenous compounds. *Food, Agriculture & Environment*, *2*(1), 243-248. https://www.researchgate.net/profile/Indira-Ekanayake/publication/266010010_Effect_of_irrigation_on_sweet_potato_root_carbohydrates_and_nitrogenous_compounds/links/565deacb08aeafc2aac8b816/Effect-of-irrigation-on-sweet-potato-root-carbohydrates-and-nitrogenous-compounds.pdf

El Sayed, H. E. A., Saif El Dean, A., Ezzat, S., & El Morsy, A. H. A. (2011). Responses of productivity and quality of sweet potato to phosphorus fertilizer rates and application methods of the humic acid. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, *1*(9), 383-393. https://www.interesjournals.org/articles/responses-of-productivity-and-quality-of-sweet-potato-to-phosphorus-fertilizer-rates-and-application-methods-of-the-humi.pdf

Elameen, A., Larsen, A., Klemsdal, S. S., Fjellheim, S., Sundheim, L., Msolla, S., Masumba, E., & Rognli, O. A. (2010). Phenotypic diversity of plant morphological and root descriptor traits within a sweet potato, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., germplasm collection from Tanzania. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *58*(3), 397-407. https://doi.org/10.1007/S10722-010-9585-1

Fernandes, A. M., Campos, L. G., Senna, M. S., Da Silva, C. L., & Assunção, N. S. (2018). Yield and nitrogen use efficiency of sweet potato in response to cover crop and nitrogen management. *Agronomy Journal*, *110*(5), 2.004-2.015. https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0721

Firon, N., LaBonte, D., Villordon, A., McGregor, C., Kfir, Y., & Pressman, E. (2009). Botany and physiology: Storage root formation and development. En G. Loebenstein, & G. Thottappilly (Eds.), *The sweetpotato*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9475-0_3

George, M. S., Lu, G., & Zhou, W. (2002). Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Field Crops Research*, *77*(1), 7-15. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00043-6

Ghuman, B. S., & Lal, R. (1983). Mulch and irrigation effects on plant-water relations and performance of cassava and sweet potato. *Field Crops Research*, *7*, 13-29.

Guertal, E. A., & Kemble, J. A. (1997). Nitrogen rate and within-row plant spacing effects on sweet potato yield and grade. *Journal of Plant Nutrition*, *20*(2-3), 355-360.

Hahn, S. K., & Hozyo, Y. (1984). Sweetpotato. En P. R. Goldsworthy, & N. M. Fisher (Eds.), *The physiology of tropical field crops* (pp. 551-567). Wiley.

Kays, S. J. (1985). The physiology of yield in the sweet potato. En J. C. Bouwkamp (Ed.), *Sweet potato products: A natural resource for the tropics* (pp. 79-132). CRC Press.

Kim, S. H., Mizuno, K., Sawada, S., & Fujimura, T. (2002). Regulation of tuber formation and ADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase) in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) by nitrate. *Plant Growth Regulation*, *37*, 207-213. https://doi.org/10.1023/A:1020844418776

Lebot, V. (2009). *Tropical root and tuber crops: Cassava, sweet potato, yams and aroids*. CABI.

Lee, C.-J., Kim, S.-E., Park, S.-U., Lim, Y.-H., Choi, H.-Y., Kim, W.-G., Ji, C. Y., Kim, H. S., & Kwak, S.-S. (2021). Tuberous roots of transgenic sweetpotato overexpressing

IbCAD1 have enhanced low-temperature storage phenotypes. *Plant Physiology and Biochemistry*, *166*, 549-557. https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2021.06.024

Li, M., Yang, S., Xu, W., Pu, Z., Feng, J., Wang, Z., Zhang, C., Peng, M., Du, C., Lin, F., Wei, C., Qiao, S., Zou, H., Zhang, L., Li, Y., Yang, H., Liao, A., Song, W., Zhang, Z., … Tan, W. (2019). The wild sweetpotato (*Ipomoea trifida*) genome provides insights into storage root development. BMC *Plant Biology*, *19*, artículo 119. https://doi.org/10.1186/s12870-019-1708-z

Lowe, S. B., & Wilson, L. A. (1974). Comparative analysis of tuber development in six sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivars: 1. Tuber initiation, tuber growth and partition of assimilate. *Annals of Botany*, *38*(2), 307-317. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084814

Marques, J. M., Mateus, J. R., Da Silva, T. F., Couto, C. R. de A., Blank, A. F., & Seldin, L. (2019). Nitrogen fixing and phosphate mineralizing bacterial communities in sweet potato rhizosphere show a genotype-dependent distribution. *Diversity*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/d11120231

Matsuo, T., Mitsuzono, H., Okada, R., & Itoo, S. (1988). Variations in the levels of major free cytokinins and free abscisic acid during tuber development of sweet potato. *Journal of Plant Growth Regulation*, *7*, 249-258. https://doi.org/10.1007/BF02025267

McDavid, C. R., & Alamu, S. (1980). Effect of daylength on the growth and development of whole plants and rooted leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Tropical Agriculture*, *57*(2), 113-119. https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/2879

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.

Mukherjee, A., Naskar, S. K., Edison, S., & Dasgupta, M. (2006). Response of orange flesh sweet potato genotypes to salinity stress. En *14th Triennial Symposium of the Society for Tropical Root Crops* (pp. 151-152).

Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, *53*(6), 605-635. https://doi.org/10.1071/SR14246.

Nakatani, M. (1994). *In vitro* formation of tuberous roots in sweet potato. *Japanese Journal of Crop Science*, *63*(1), 158-159. https://doi.org/10.1626/jcs.63.158

Nakatani, M., Tanaka, M., & Yoshinaga, M. (2002). Physiological and anatomical characterization of a late-storage root-forming mutant of sweetpotato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *127*(2), 178-183. https://doi.org/10.21273/JASHS.127.2.178

Nedunchezhiyan, M., & Byju, G. (2005). Effect of planting season on growth and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties. *Journal of Root Crops*, *31*(2), 111-114.

Nedunchezhiyan, M., Byju, G., & Naskar, S. K. (2007). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as an intercrop in a coconut garden: Growth, yield and quality. *Journal of Root Crops*, *33*(1), 26-29.

Nedunchezhiyan, M., & Ray, R. C. (2010). Sweet potato growth, development, production and utilization: Overview. En R. C. Ray, & K. I. Tomlins (Eds.), *Sweet potato: Post harvest aspects in food, feed and industry* (pp. 1-26). Nova.

Nicholaides III, J. J., Chancy, H. F., Mascagni, Jr., H. J., Wilson, L. G., & Eaddy, D. W. (1985). Sweet potato response to K and P fertilization. *Agronomy Journal*, *77*(3), 466-470. https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700030024x

Pérez-Pazos, J. V., & Sánchez-López, D. B. (2017). Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a *Ipomoea batatas* del Caribe colombiano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *19*(2), 35-46. http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v19n2/0123-3475-biote-19-02-00035.pdf

Phillips, S. B., Warren, J. G., & Mullins, G. L. (2005). Nitrogen rate and application timing affect 'beauregard' sweetpotato yield and quality. *HortScience*, *40*(1), 214-217.

Pushpalatha, M., Vaidya, P. H., Sunil, B. H., & PB, A. (2018). Influence of graded levels of nitrogen and potassium on root rhizosphere soil properties and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas*. L.) in vertisols of Maharashtra. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *7*(3), 2.883-2.886. https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue3/PartAM/7-3-293-253.pdf

Ravi, V., & Indira, P. (1999). Crop physiology of sweetpotato. *Horticultural Reviews*, *23*, 227-316. http://dx.doi.org/10.1002/9780470650752.ch6

Rengel, Z., & Damon, P. M. (2008). Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiologia Plantarum*, *133*(4), 624-636. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01079.x

Römheld, V., & Kirkby, E. A. (2010). Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant and Soil*, *335*(1-2), 155-180. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-010-0520-1

Sajjapongse, A., & Roan, Y. C. (1982). Physical factors affecting root yields of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). En R. L. Villareal, & T. D. Griggs (Eds.), *Sweet potato: Proceedings of the 1st International Symposium* (pp. 203-208). Asian Vegetable Research and Development Center.

Sánchez-López, D. B., Pérez-Pazos, J. V., Luna-Castellanos, L. L., García-Peña, J. A., & Espitia-Montes, A. A. (2019). *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum* como bioestimulantes en cultivo de *Ipomoea batatas* Lam. *Agronomía Mesoamericana*, *30*(2), 563-576. https://www.scielo.sa.cr/scielo.

php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212019000200563&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Shams, A. S., & Fekry, W. A. (2014). Efficiency of applied K-feldspar with potassium sulphate and silicate dissolving bacteria on sweet potato plants. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, *41*(3), 467-477.

Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., & Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology*, *156*(3), 997-1.005. https://doi.org/10.1104/pp.111.175232

Su, G.-X., Zhang, W.-H., & Liu, Y.-L. (2006). Involvement of hydrogen peroxide generated by polyamine oxidative degradation in the development of lateral roots in soybean. *Journal of Integrative Plant Biology*, *48*(4), 426-432. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00236.x

Togari, Y. (1950). A study of tuberous root formation in sweet potato. *Bulletin of Natural and Agricultural Experimental Station*, *68*, 1-96.

Tong, Y., Gabriel-Neumann, E., Ngwene, B., Krumbein, A., Baldermann, S., Schreiner, M., & George, E. (2013). Effects of single and mixed inoculation with two arbuscular mycorrhizal fungi in two different levels of phosphorus supply on β-carotene concentrations in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers. *Plant and Soil*, *372*(1-2), 361-374. https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1708-y

Torres, P., & Collantes, M. (2015). *Efecto de dos niveles de fertilización NPK en el rendimiento del cultivo de camote* (Ipomoea batata *Lam*). *en condiciones de Chanchamayo* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/895/1/T026_46539661_44079775T.pdf

Van Heerden, P. D. R., & Laurie, R. (2008). Effects of prolonged restriction in water supply on photosynthesis, shoot development and storage root yield in sweet potato. *Physiologia Plantarum*, *134*(1), 99-109. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01111.x

Van Wazer, J. R. (Ed.). (1961). *Phosphorus and its compounds* (vol. 2, pp. 1.298-1.313). Interscience Publishers.

Wang, J. D., Hou, P., Zhu, G. P., Dong, Y., Hui, Z., Ma, H., Xu, X. J., Nin, Y., Ai, Y., & Zhang, Y. (2017). Potassium partitioning and redistribution as a function of K-use efficiency under K deficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Field Crops Research*, *211*, 147-154. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.021

Wang, J. D., Wang, H., Zhang, Y., Zhou, J., & Chen, X. (2015). Intraspecific variation in potassium uptake and utilization among sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes. *Field Crops Research*, *170*, 76-82. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.007

Wang, S., Li, H., Liu, Q., Hu, S., & Shi, Y. (2020). Nitrogen uptake, growth and yield response of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) to potassium supply.

Communications in Soil Science and Plant Analysis, *51*(2), 175-185. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1695821

Wilson, L. A. (1982). Tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). En R. L. Villareal, & T. D. Griggs (Eds.), *Sweet potato. Proceedings of the First International Symposium* (pp. 79-93). AVRDC.

Wilson, L. A., & Lowe, S. B. (1973). The anatomy of the root system in West Indian sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) cultivars. *Annals of Botany*, *37*(3), 634-643. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084729

Yasmin, F., Othman, R., Saad, M. S., & Sijam, K. (2007). Screening for beneficial properties of rhizobacteria isolated from sweetpotato rhizosphere. *Biotechnology*, *6*(1), 49-52. http://dx.doi.org/10.3923/biotech.2007.49.52

Zhao, D., Oosterhuis, D., & Bednarz, C. (2001). Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, *39*, 103-109. https://doi.org/10.1023/A:1012404204910

Ziska, L. H., Runion, G. B., Tomecek, M., Prior, S. A., Torbet, H. A., & Sicher, R. (2009). An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass and Bioenergy*, *33*(11), 1.503-1.508. https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2009.07.014

CAPÍTULO 8.

Esquema de producción de semilla de batata de calidad

JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS, ROCÍO MARGARITA GÁMEZ CARRILLO Y AMPARO ROSERO

La batata (*Ipomoea batatas* Lam.) es una especie vegetal con una demanda creciente en los mercados mundiales por sus características nutricionales, especialmente las variedades que producen sus raíces tuberosas con alto contenido de carotenos, como las de pulpa anaranjada (Amagloh et al., 2021; Grace et al., 2015; Salawu et al., 2015). Específicamente, el método de producción de semilla para la siembra de batata se realiza por lo general mediante propagación vegetativa de esquejes (Kim et al., 2015; Qiao et al., 2019; Rajendran et al., 2017; Ssamula et al., 2020), pero esta práctica genera un riesgo fitosanitario debido a la propagación de virus y enfermedades (Kim et al., 2017; Wanjala et al., 2020).

Una alternativa a esta problemática consiste en producir semilla vegetativa limpia con materiales iniciales indexados generados por técnicas de micropropagación *in vitro,* lo cual permite obtener materiales de siembra de calidad. Los principales beneficios del uso de semilla de calidad son: el incremento en la productividad sobre variedades comerciales, la disminución de costos de producción y la reducción de los impactos ambientales gracias a la disminución en el uso de agroquímicos (Bhatia, 2015; Singh, 2015).

La implementación de las técnicas de micropropagación o producción *in vitro* para producir semilla de calidad tiene las siguientes ventajas:

- Permite erradicar patógenos (hongos filamentosos, bacterias, micoplasmas, virus y viroides), ya que se utilizan los meristemos como una estrategia complementaria a la termoterapia, que no logra limpiar el 100 % de algunos patógenos.

- Alta pureza varietal del material de siembra, de manera que es posible certificar que pertenece a la especie y cultivar deseados.
- Propagación clonal masiva de plantas libres de enfermedades en corto tiempo: este método permite obtener entre 500 y 1.000 plántulas iniciales de cada meristemo de acuerdo con la variedad.
- Producción de material vegetal en cualquier época del año conservando su potencial genético y calidad sanitaria, ya que no se depende de condiciones climáticas externas, como ocurre con los sistemas de producción de semilla convencional.
- Producción efectiva de plántulas o semilla, ya que en una superficie pequeña se pueden obtener altos volúmenes de producción de material. El empleo de contenedores (vidrio o polipropileno de alta densidad) y al menos cinco plantas por recipiente en esquemas de multiplicación permiten el uso eficiente de las áreas.
- Mayor uniformidad en los lotes de producción, considerando que se obtienen con los mismos parámetros de crecimiento, condiciones ambientales, reguladores de crecimiento y especificaciones de macro y micronutrientes.

Producción de semilla de calidad a través de técnicas de micropropagación *in vitro*

El proceso de producción de material de batata de calidad consiste en tres fases (Bhatia 2015; Singh, 2015):

1. Micropropagación *in vitro* en el laboratorio de cultivo de tejidos, en donde se obtiene como producto final plántulas *in vitro* de calidad fitosanitaria (libre de patógenos).
2. Aclimatación de las plantas *in vitro* en condiciones de invernadero para obtener plántulas de categoría superélite.
3. Producción de semilla élite, que se obtiene a partir de la siembra en condiciones de vivero de la semilla élite. Como producto de esta última fase se obtienen los esquejes y minirraíces tuberosas como material de siembra de calidad.

En los siguientes apartados se describe en detalle cada una de estas etapas.

Fase I. Producción de plántulas *in vitro* a través de micropropagación

La primera fase consiste en nueve procesos, los cuales incluyen la selección de las plantas madres, la evaluación de la sanidad, la preparación de los medios de cultivo, la obtención, inducción y multiplicación de los explantes, y la entrega del material a invernadero. Con el fin de resumir esta primera etapa de producción de material de calidad y sanitariamente limpio, en la figura 8.1 se presenta un diagrama con los puntos clave del proceso.

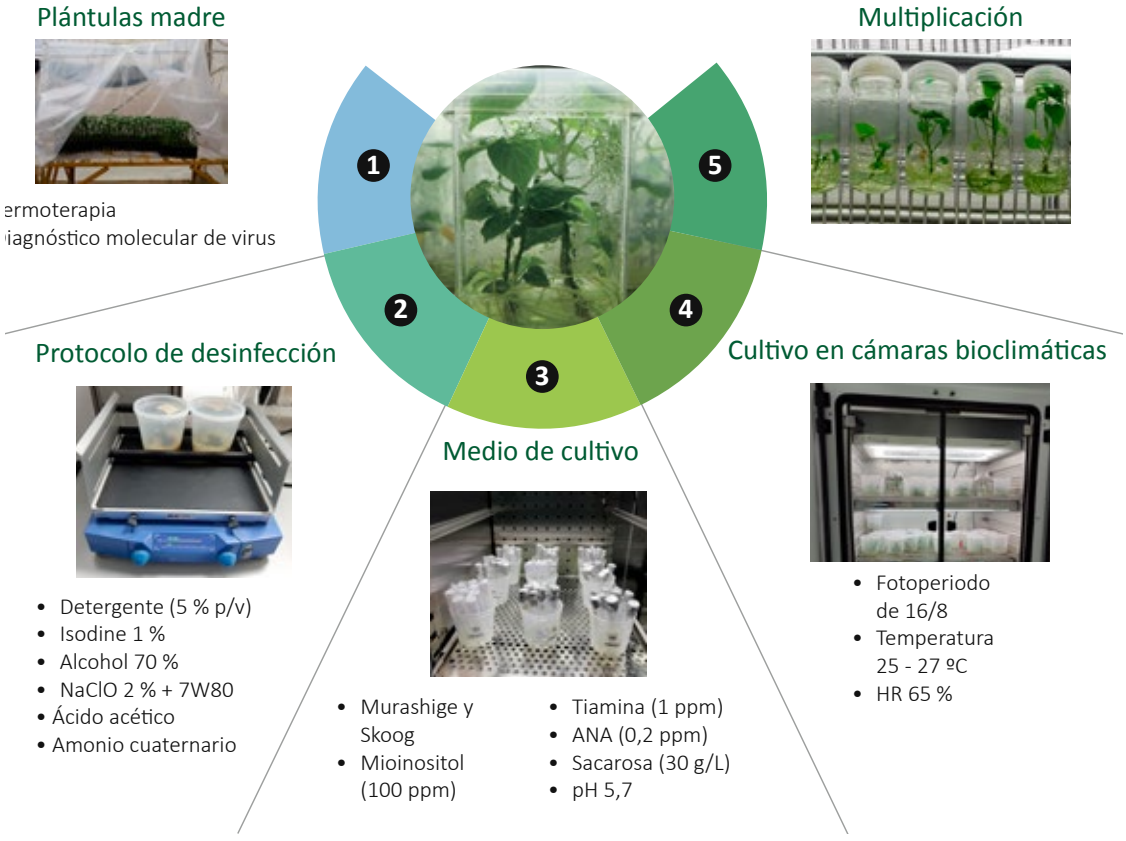


Figura 8.1.

Resumen de la fase de laboratorio para la producción de plántulas *in vitro* (Fase I).

Fuente: Elaboración propia **Fotos:** Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

1. Selección de plantas madre

La selección de las plantas madre consiste en obtener esquejes en campo y sembrarlos en bandejas de germinación con un sustrato que contiene una mezcla de turba: lombriabono: cascarilla de arroz (6 : 2 : 2). El sustrato debe ser esterilizado por solarización durante ocho días y desinfectado con poloxámero yodado 2 cm^3 L-1. Las plantas se cultivan en las bandejas durante una semana en invernadero a una temperatura de 29 ± 4 °C, humedad relativa de 75 ± 10 % y luminosidad de 300-600 µmol m^{-2} s^{-1}, con fotoperiodos luz/oscuridad de doce horas (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023).

2. Proceso de termoterapia en invernadero

Los procesos de limpieza sanitaria se realizan mediante termoterapia para eliminar un gran porcentaje de patógenos. En esta etapa, las plantas se someten a altas temperaturas (superiores o iguales a 50 °C) para inactivar los virus y eliminar bacterias, hongos y plagas. Otros tratamientos para apoyar la limpieza sanitaria pueden ser realizados con agua, aire caliente, vapor y radiaciones.

Para hacer el tratamiento de termoterapia en las mesas del invernadero, se utiliza una cámara recubierta de plástico con dimensiones de 2 m de largo, 1 m de ancho y 1,5 m de alto. En este ambiente, entre las 11:30 a.m. y las 12:30 p. m., se debe procurar que la temperatura y la humedad relativa se mantengan en 50 ± 4 °C y 73 ± 5 %, respectivamente. La luminosidad se mantiene en el rango de los 300-600 µmol m^{-2} s^{-1}, con regímenes de luz/oscuridad de 12/12 horas.

Cuando el material vegetal completa una semana de crecimiento, se debe someterlo a termoterapia durante tres semanas. En este período, se debe suministrar riego de forma manual dos veces al día, garantizando un volumen de 30 a 40 cm^3 por planta. El proceso de termoterapia también puede ser realizado en cámaras bioclimáticas cuando el material de batata ya se ha introducido *in vitro* (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023).

3. Diagnóstico de virus y enfermedades

Después del proceso de termoterapia se realiza un diagnóstico fitosanitario del material vegetal para detectar la presencia de virus. El análisis de virus se hace en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), para lo cual se colectan muestras de tres hojas superiores, las más jóvenes, y se envuelven en toallas limpiadoras desechables de baja pelusa o toallas absorbentes para protegerlas de cualquier daño mecánico durante el transporte. Las hojas se almacenan en bolsas plásticas de cierre hermético de 10 × 10 cm con gel de sílice fresco y se envían para analizar dos tipos de virus: *Sweet potato feathery mottle virus* (SPFMV, género Potyvirus, familia Potyviridae) y *Sweet potato chlorotic stunt virus* (SPCSV, género Crinivirus, familia Closteroviridae), siguiendo las metodologías descritas por Li et al. (2012) y Kwak et al. (2014), respectivamente.

Sin embargo, se debe señalar que en el 2021 se estableció una importante alianza con la Universidad de Carolina del Norte en Estados Unidos que permitió el entrenamiento en la detección de seis virus de interés: *Sweet potato feathery mottle virus* (SPFMV; Gen. Potyvirus), *Sweet potato chlorotic stunt virus* (SPCSV; Gen. Crinivirus), *Sweet potato virus G* (SPVG*), Sweet potato virus C* (SPVC), *Sweet potato virus 2* (SPV2) y *Sweet potato Leaf curl virus* (SPLCV; Gen Begomovirus). Gracias a esto, ahora es posible tener certeza de que el material producido en el C. I. Turipaná está completamente libre de seis virus (4 Potyvirus, 1 Crinivirus y 1 Begomovirus). Las plantas que presentan buenas características después de la termoterapia y resultan negativas a la presencia de virus son seleccionadas como plantas madre para hacer la micropropagación.

4. Obtención de explantes y desinfección

Los explantes se obtienen de las plantas madre y consisten en esquejes de 3-5 cm con mínimo tres yemas axilares. Una vez seleccionados, se deben eliminar las hojas, disponerlos en contenedores estériles y transportarlos inmediatamente al laboratorio de producción vegetal.

En esta etapa es clave realizar los protocolos de desinfección, de manera que se pueda iniciar el proceso de introducción evitando la presencia de contaminantes en el medio. Para batata fueron reportados contaminantes

de tipo fúngico y bacteriano (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023), lo que afecta el proceso de micropropagación *in vitro*. Estos microorganismos fueron identificados a nivel molecular y, en hongos, se encontró la prevalencia de las especies *Sarocladium subulatum* (figura 8.2a), *Fusarium* sp. - Complejo *F. fujikuroi* (figura 8.2b), *Cladosporium* sp. - Complejo *C. cladosporioides* (figura 8.2c) y *Aspergillus* sp. - Sección Nigri (figura 8.2d); también se reportaron las levaduras *Moesziomyces parantarcticus* (figura 8.2e) y *Pseudozyma hubeiensis* (figura 8.2g), y para el caso de bacterias se encontró *Curtobacterium* sp. (figura 8.2f).

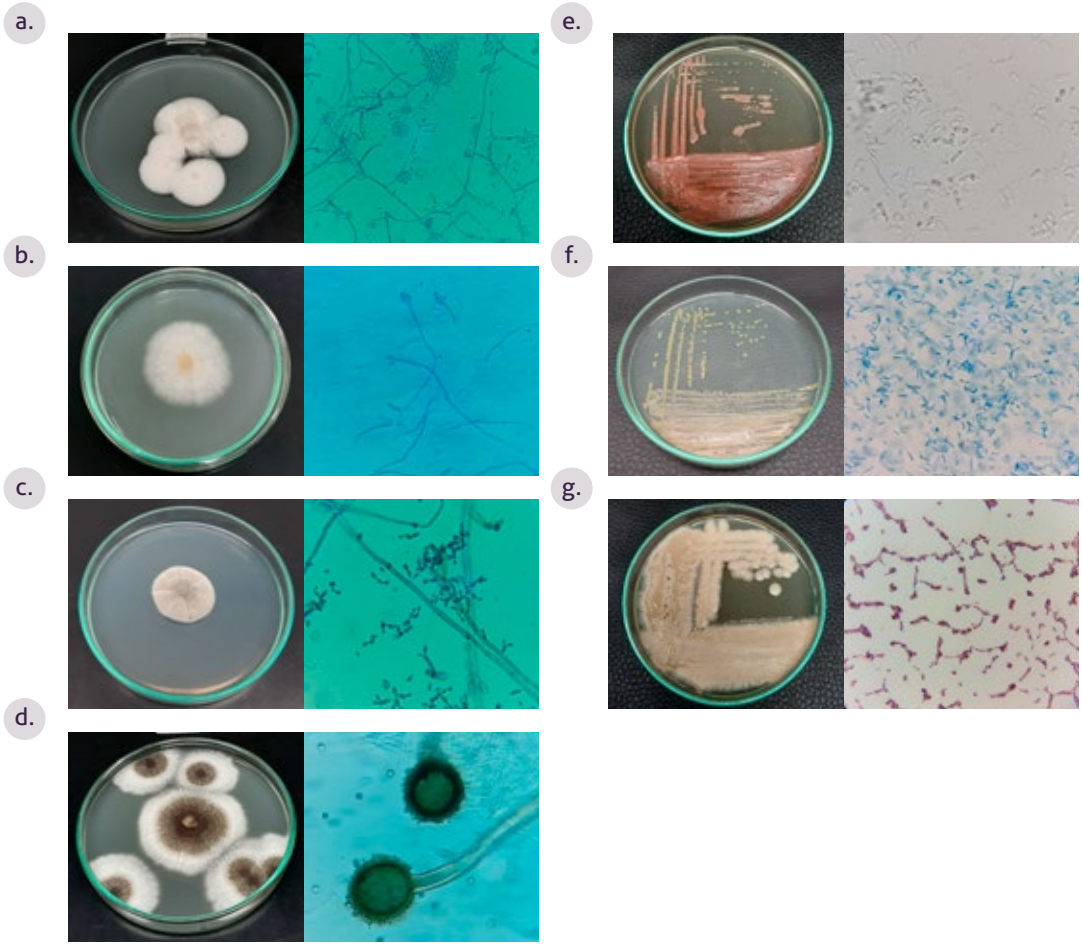


Figura 8.2.

Hongos y bacterias que causan contaminación en los procesos de introducción de batata. a. *Sarocladium subulatum*; b. *Fusarium* sp. - Complejo *F. fujikuroi*; c. *Cladosporium* sp. - Complejo *C. cladosporioides*; d. *Aspergillus* sp. - Sección Nigri; e. *Moesziomyces parantarcticus*; f. *Curtobacterium* sp.; g. *Pseudozyma hubeiensis*.

Fuente: Elaboración propia. **Fotos:** Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Para determinar cuál estrategia es más eficiente para desinfectar los explantes, se evaluaron en laboratorio cinco protocolos (P1, P2, P3, P4 y P5) (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023). Específicamente, en los protocolos P1, P2 y P3 se usó solamente detergente para lavar los explantes, mientras que en los protocolos P4 y P5, además del detergente, se incluyó yodopovidona (20 min) y un paso de desinfección con 2 % de hipoclorito de sodio (NaOCl) y polisorbato 80 (10 min) (tabla 8.1).

Tabla 8.1.

Protocolos de desinfección evaluados antes de hacer la introducción *in vitro* de los explantes de batata (*Ipomoea batatas*)

Protocolo	Lavado*	Tiempo de lavado (minutos)	Tipo de desinfectante	Tiempo de desinfección (minutos)	Referencia
P1	Detergente (5 % p/v)	5	Hipoclorito de sodio (NaOCl) 2 %	7	Alula et al. (2018)
P2	Detergente (5 % p/v)	30	NaOCl 0,5 % y polisorbato 80 (T80) (2 gotas/100 cm^3)	3	Delgado-Paredes et al. (2016)
P3	Detergente (5 % p/v)	5	NaOCl 1 % y polisorbato 80 (4 gotas/100 cm^3)	12	Hammond et al. (2014)
P4	Detergente (5 % p/v) Povidona yodada 1 %	20	NaOCl 2 % y polisorbato 80 (4 gotas/100 cm^3)	10	Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al. (2023).
			Ácido acético 5 %	1	
			Amonio cuaternario (15 cm^3/L)	1	
P5	Detergente (5 % p/v) Povidona yodada 1 %	20	NaOCl 2 % y polisorbato 80 (4 gotas/100 cm^3)	10	Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al. (2023).

* Después del lavado, los explantes fueron enjuagados con agua destilada y sumergidos en una solución de etanol al 70 % por un minuto en todos los protocolos.

Fuente: Elaboración propia

Con base en este análisis, se encontró que el uso del protocolo de desinfección P4 reduce, a los 10 días después del cultivo *in vitro*, hasta el 80 % de la contaminación de explantes de batata (figura 8.3a). Además,

después de cuatro semanas de cultivo, este protocolo permite obtener más del 90 % del material vegetal libre de contaminantes (figura 8.3b).

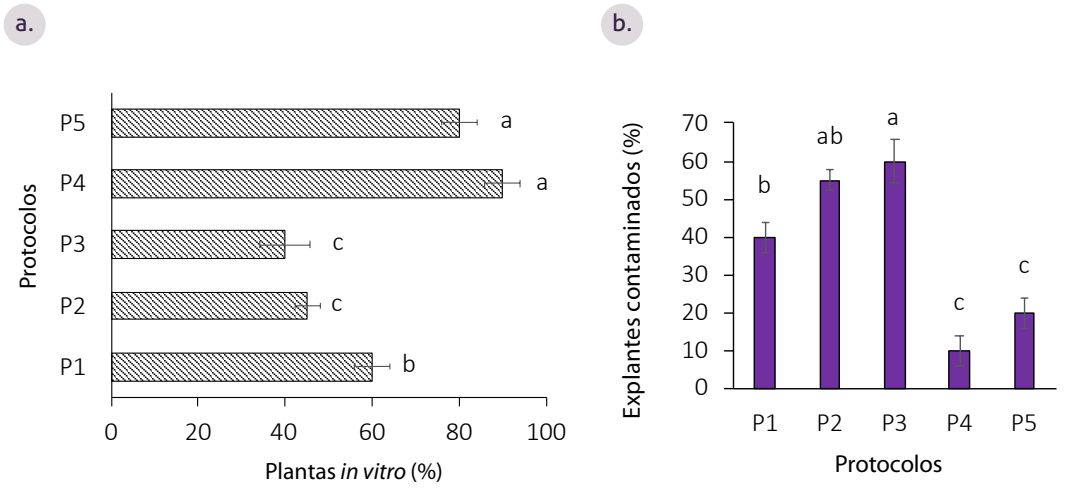


Figura 8.3.

Efectos de usar diferentes protocolos en la desinfección de los explantes. Las barras de error indican el error estándar, y diferentes letras representan diferencias significativas según prueba de Tukey con un 95 % de confiabilidad. a. Porcentaje de explantes contaminados observados hasta los 10 días después del cultivo *in vitro*; b. Porcentaje de plantas *in vitro* sin contaminación obtenidas después de cuatro semanas de cultivo *in vitro*.

Fuente: Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al. (2023)

El proceso de desinfección se basa en el siguiente procedimiento (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023):

1. Sumergir los explantes en una solución de detergente en polvo 5 % p/v y yodopovidona 1 % y disponerlos en un agitador orbital a 150 rpm durante 20 min.
2. Una vez se cumpla el ciclo de agitación, lavarlos con abundante agua destilada hasta retirar el exceso de detergente.
3. Posteriormente, en una cabina de flujo laminar, sumergir los explantes en un nuevo recipiente estéril con solución de etanol al 70 % por un minuto y después trasladarlos a un nuevo recipiente estéril con una solución de hipoclorito de sodio al 2 % y polisorbato 80 (4 gotas/100 mL) durante 10 min.

4. Luego de descartar la solución de hipoclorito, lavar los explantes tres veces con agua destilada estéril, eliminando el agua en cada ciclo de lavado.
5. Después del último lavado, sumergir los explantes en una solución de ácido acético 5 % por un minuto y, seguidamente, lavar con agua destilada estéril.
6. Finalmente, sumergir los explantes en una solución de amonio cuaternario durante un minuto y lavarlos con agua destilada estéril.

5. Preparación de medios de cultivo

El medio de cultivo utilizado para hacer la micropropagación de diversas especies vegetales es el Murashige y Skoog (MS) (Murashige & Skoog, 1962), el cual está compuesto por macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Específicamente, para el cultivo de batata se sugiere suplementar el medio MS con vitaminas (tiamina y mioinositol), así como incorporar el regulador de crecimiento tipo auxina Ácido 1-naftalenacetico, pues Pérez-Pazos, Gámez et al. (2022) encontraron que esta fitohormona favoreció significativamente varios de los parámetros de crecimiento y biomasa de material vegetal de batata. Otro componente necesario es la sacarosa (azúcar blanca refinada) como fuente de energía y, finalmente, si se requiere que el medio sea semisólido, se puede agregar gelificante.

Para realizar los procesos de introducción se recomienda usar en el establecimiento inicial tubos de ensayo o tubos de vidrio de 250 mL, mientras que para procesos de multiplicación se sugiere usar frascos de vidrio de 500 mL o preferiblemente contenedores plásticos de 750 mL. Una vez el medio se ha dispuesto en los recipientes respectivos, se deben llevar a esterilización en autoclave hasta alcanzar una temperatura de 121 °C y 15 psi durante 20 min.

Una vez los medios estén estériles, es necesario realizar un control de calidad para verificar que no presenten ningún tipo de contaminación. Al menos el 2 % del total del lote preparado se incuba a una temperatura de 28 °C durante al menos tres días. Si en este período no se observa crecimiento de microorganismos, esto evidencia que los medios están en condiciones óptimas para ser utilizados.

6. Introducción y multiplicación de los explantes

Luego de desinfectarlos, los explantes se deben llevar a la cabina de flujo laminar, en donde, usando cuchillas y material estéril, se les retira los extremos basales con el fin de eliminar el tejido que no sea óptimo. Además, en caso de ser necesario, se individualizan con el propósito de obtener un explante de entre 1 cm y 1,5 cm con al menos una yema, el cual se introduce con una pinza estéril en el medio de cultivo y se ubica en la parte central del recipiente (tubo de ensayo o frasco de 250 mL) (figura 8.4). Es importante señalar que para evitar la contaminación cruzada en caso de que la desinfección no haya sido exitosa, en cada recipiente solo se debe disponer un único explante (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023).



Figura 8.4.

Explantes de batata creciendo exitosamente luego de su introducción.

Foto: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Para hacer la multiplicación *in vitro*, se debe extraer una plántula *in vitro* y retirar las raíces y hojas. Posteriormente, realizar el corte del tallo para obtener explantes de entre 1 cm y 1,5 cm con al menos una yema. Si las yemas están muy cerca, se pueden dejar por explante dos yemas (figura 8.5).

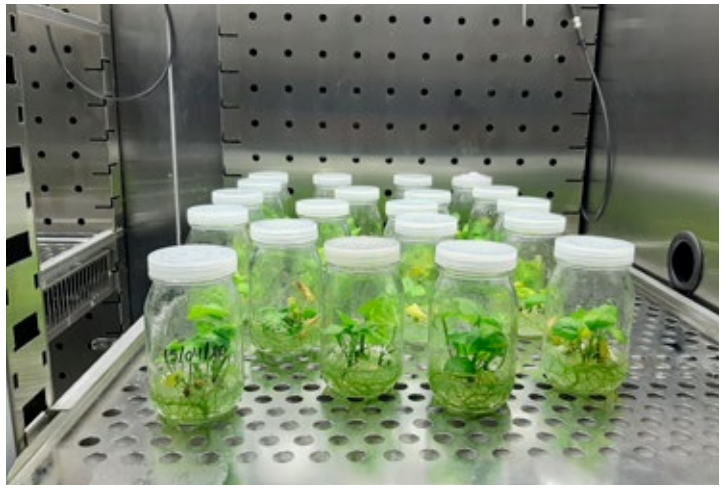


Figura 8.5.

Proceso de multiplicación de batata en condiciones *in vitro.*

Foto: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos.

Posteriormente, los explantes se disponen en los recipientes de multiplicación de la siguiente manera:

- En frascos de 500 mL se ubican cinco explantes por recipiente.
- En contenedores de 750 mL se disponen diez explantes por contenedor (figura 8.6).



Figura 8.6.

Plántulas *in vitro* de batata en contenedores plásticos. a. Vista aérea de las plántulas *in vitro*; b. Detalle de las hojas de las plántulas *in vitro* de batata.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Una vez los explantes han sido ubicados en el medio de cultivo, se debe sellar el recipiente y disponerlo en cuartos de crecimiento o cámaras bioclimáticas, manteniendo una intensidad de luz de 500 µmol $s^{-1}m^{-2}$ a un fotoperiodo de 16/8 h luz/oscuridad. Además, es necesario fijar la temperatura en 27 °C en el ciclo de luz y 25 °C en el ciclo de oscuridad, y mantener la humedad relativa en 65 ± 10 % (Pérez-Pazos, Rosero, Cardinale et al., 2023). Los explantes se cultivan en estas condiciones durante cuatro semanas (figura 8.7). Si durante el tiempo de incubación se observa contaminación o cualquier característica que no esté conforme con la calidad de los materiales, el contenedor se debe ubicar en el sitio asignado para su disposición y realizar el tratamiento respectivo.



Figura 8.7.

Secuencia del crecimiento y desarrollo de las plántulas *in vitro* de batata en las condiciones requeridas en cámaras bioclimáticas.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

7. Salida de plántulas *in vitro*

Una vez se alcancen las cantidades solicitadas para entregar al invernadero, se seleccionan contenedores con plántulas bien desarrolladas (entre 5 cm y 10 cm de altura, buen desarrollo de la parte aérea y adecuado sistema radicular) y se trasladan al área de lavado para preparar el material vegetal (figura 8.8). Las plántulas se deben sacar de los contenedores cuidadosamente y lavarlas con agua limpia para eliminar los residuos del medio de cultivo semisólido.



Figura 8.8.

Plántulas de batata listas para establecerlas en condiciones de invernadero.

Foto: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

8. Entrega de material a invernadero núcleo

Las plántulas se deben separar por tamaños, disponer en toallas de papel humedecidas y entregarlas sin demora al invernadero núcleo para que sean sembradas. Se recomienda que la siembra se realice de manera inmediata con el fin de evitar la deshidratación del material vegetal.

9. Envío de material a otros destinos

Si se van a trasladar las plántulas, es necesario separarlas por tamaños, disponerlas en toallas humedecidas y ubicarlas horizontalmente en neveras de icopor, garantizando una película de agua delgada que permita mantener el material vegetal fresco. El material se sella, se rotula y se envía al lugar de destino.

Fase II. Producción de semilla superélite mediante aclimatación en invernadero

La producción de semilla superélite consta de cuatro pasos realizados en condiciones de invernadero, los cuales están relacionados con el tipo de material vegetal usado, la siembra en un sustrato determinado, las condiciones del proceso de aclimatación y, por último, el manejo y la multiplicación del material (figura 8.9). A continuación, se describen en detalle los pasos de esta fase.

1. Material vegetal

El material vegetal utilizado en esta fase de producción de semilla son plántulas *in vitro* provenientes de laboratorio. Estas son sometidas a un proceso de desinfección en solución de oxicloruro de cobre para eliminar residuos de gelificante y evitar la proliferación de microorganismos. Estas plantas *in vitro* son entregadas a raíz desnuda en toallas de papel húmedas.



Figura 8.9.

Síntesis de las principales consideraciones en la fase de invernadero: producción de plántulas superélite (Fase II).

Fuente: Elaboración propia.
Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo, Jazmín Vanessa Pérez-Pazos y Liseth Cárdenas

2. Preparación del sustrato para siembra en condiciones de invernadero

Para identificar cuál es el proceso idóneo para climatizar las plantas en invernadero, se realizó una evaluación con cuatro mezclas (M) de sustrato (Pérez-Pazos, Rosero, Vergara et al., 2023):

1. M1: turba 60 %, lombriabono 20 % y cascarilla de arroz 20 %
2. M2: turba 60 % y lombriabono 40 %
3. M3: turba 60 %, lombriabono 20 % y sustrato de coco 20 %
4. M4 (control), turba 100 %

Los resultados del estudio evidenciaron que el sustrato de la primera mezcla (M1) permite obtener condiciones de crecimiento y desarrollo adecuadas para las plantas de batata: buen desarrollo de la parte aérea y radicular (figura 8.10). Esto sucede debido a que respecto a los otros sustratos, tiene altas cantidades de potasio, nitrógeno, fósforo y cenizas, así como una buena capacidad de retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico, densidad y pH (Pérez-Pazos, Rosero, Vergara et al., 2023), lo cual garantiza un mejor desarrollo de las plántulas y hace más eficiente el proceso de multiplicación en invernadero. Cabe señalar que después de preparar el sustrato se recomienda someterlo a solarización.



Figura 8.10.

Influencia de la composición del sustrato sobre el crecimiento de las plántulas.

Fuente: Pérez-Pazos, Rosero, Vergara et al. (2023)
Fotos: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

3. Proceso de aclimatación

Las plántulas *in vitro* deben ingresar al invernadero debidamente codificadas. Asimismo, es necesario aplicar las medidas de sanidad vegetal al material y abrirle una hoja de vida (figura 8.11a). Las plántulas se establecen en bandejas con el sustrato definido (figura 8.11b) y, una vez han

sido sembradas, se les debe colocar una cubierta plástica para garantizar el prendimiento de la semilla (figura 8.11c) y conservarla por lo menos durante una semana. A partir de este momento y mientras están en el invernadero, es importante regar las plántulas por lo menos dos veces al día durante cinco minutos mediante un sistema de nebulización. Además, se deben monitorear las plagas y enfermedades durante todo el ciclo de crecimiento (figura 8.11d), que corresponde a treinta días, después de los cuales se obtienen plántulas de categoría superélite (figura 8.11e).



Figura 8.11.

Siembra y aclimatación de las plántulas de batata procedentes de laboratorio en condiciones de invernadero núcleo. a. Plántulas *in vitro* de batata que ingresan al invernadero; b. Establecimiento en bandejas con el sustrato M1; c. Cubierta plástica para garantizar el prendimiento de la semilla; d. Ciclo de crecimiento de las plántulas; e. Plántulas de batata de categoría superélite.

Fuente: (Pérez-Pazos, Rosero, Vergara et al., 2023) **Fotos:** Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

4. Fase de multiplicación

Transcurridos 30 días después de la siembra (DDS) (figura 8.12a), se hace la primera multiplicación o primer repique. El corte del esqueje se debe realizar hacia la base de la plántula, dejando como mínimo un nudo activo en la base para que continúe con el crecimiento (figura 8.12b). Posteriormente, se le cortan las hojas (figura 8.12c) y al esqueje individualizado (figura 8.12d) se le cortan los nudos (figura 8.12e), los cuales son sembrados nuevamente para continuar con el proceso de multiplicación. A los 60 DDS es necesario hacer una segunda multiplicación o repique. Una vez transcurridas las dos primeras semanas, las nuevas plantas multiplicadas se ubican durante 30 DDS en las mesas para que se endurezcan. De esta manera, después de 90 DDS en la fase de invernadero, las plantas pasan a vivero.



Figura 8.12.

Multiplicación de semilla superélite de batata (SSE). a. Plántulas de 30 DDS; b. Corte del esqueje para multiplicación; c. Corte de hojas del explante. d. Individualización del explante; e. Corte de nudos para la multiplicación de la SSE.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

5. Preparación del material para envío a vivero o localidades

Para cumplir con las solicitudes del vivero, una vez que el material ha cumplido los 90 DDS se debe trasladar al vivero para que sea sembrado en las respectivas camas. En caso de que haya solicitudes para enviar las plántulas de categoría superélite a localidades, estas se retiran de

las bandejas de germinación y se preparan neveras de icopor con papel periódico, donde se ubicarán las plántulas debidamente rotuladas y registradas en el formato de entrega y recibido.

Fase III. Producción de semilla élite tipo esqueje y minirraíz tuberosa en condiciones de vivero

En este apartado se describen los procesos necesarios para producir semilla élite tipo esqueje y minirraíz tuberosa en condiciones de vivero (figura 8.13). Dichos procesos incluyen, entre otros, la selección del material vegetal, las condiciones para la siembra, el corte de esquejes y la cosecha de minirraíz tuberosa, tal como se desarrollan a continuación.

1. Preparación del material vegetal

La siembra en vivero se realiza con plántulas superélite producidas en la fase de invernadero. El material vegetal tipo planta se tiene que seleccionar en el área de invernadero con el más riguroso manejo fitosanitario y con 75 DDS. El corte se debe realizar en la parte inferior del tallo del material superélite con una tijera desinfectada. Posteriormente, se desinfecta la semilla sumergiéndola en oxicloruro, con una dosis de 10 g del producto en 1 L de agua durante un minuto.

2. Establecimiento en vivero

En esta fase en vivero, se sugiere establecer el material en camas de 1 m x 10 m x 0,2 m, las cuales se deben llenar con un sustrato adecuado para la óptima producción y desarrollo de las plántulas de batata. De acuerdo con Pérez-Pazos, Rodríguez et al. (2022), este corresponde a 70 % de arena, 20 % de sustrato de coco y 10 % de lombriabono, elementos que se deben mezclar uniformemente en el área de preparación.

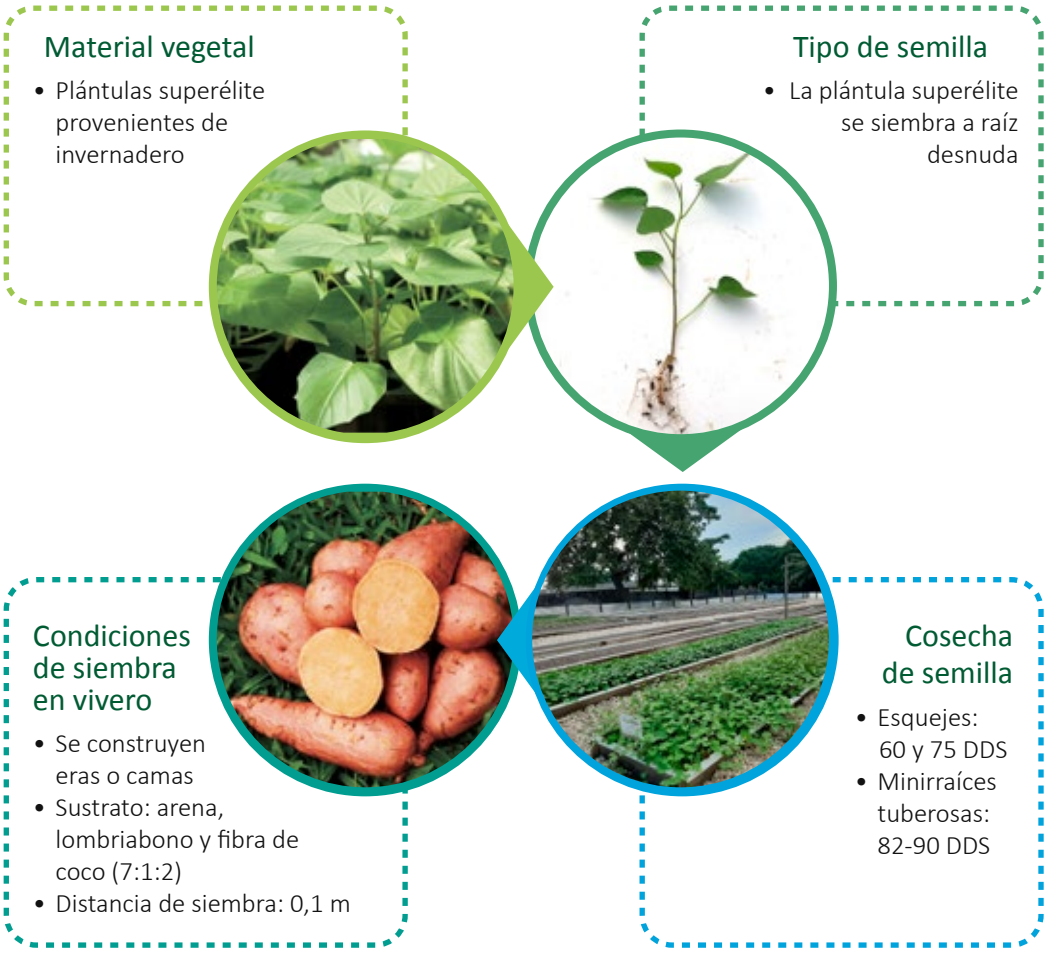


Figura 8.13.

Síntesis de las principales consideraciones en la fase de vivero para producir esquejes y minirraíces.

Fuente: Elaboración propia.
Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo, Jazmín Vanessa Pérez-Pazos y Liseth Cárdenas

3. Siembra de material vegetal superélite y élite en camas

Se recomienda sembrar el material vegetal en las camas a una distancia de 10 cm x 10 cm, para un total de 1.000 plántulas por cama (figura 8.14). Así mismo, suministrar el riego a razón de 40 litros en horas de la mañana y tarde durante 60 días (Pérez-Pazos, Rodríguez et al., 2022).



Figura 8.14.

Establecimiento y siembra de semilla superélite en las camas de vivero.

Foto: Enrique Vergara

4. Corte de esquejes de material vegetal élite de batata

Transcurridos 60 días de que se haya establecido el material vegetal en las camas (figura 8.15), se debe realizar el primer corte de esquejes con el fin de sembrarlos en semilleros o campo para su producción comercial (figura 8.16).



Figura 8.15.

Camas para la producción de esquejes y minirraíces tuberosas de batata.

Foto: Enrique Vergara



Figura 8.16.

Esquejes de batata generados en las camas para siembra de lotes comerciales.

Foto: Enrique Vergara

5. Cosecha de minirraíz tuberosa

El primer paso para cosechar la minirraíz tuberosa es verificar que la fecha de cosecha esté en el rango de entre 82 y 90 DDS. El segundo paso es cortar el follaje y, el tercero, cosechar la batata con la precaución de no lesionar la minirraíz tuberosa (figura 8.17a). Es importante tener en cuenta que el material cosechado se debe depositar en canastillas para facilitar su transporte (figura 8.17b) y solarizar las camas después de cada cosecha como método de desinfección.



Figura 8.17.

Proceso de cosecha y manejo de las minirraíces tuberosas obtenidas en camas de vivero. a. Actividad de cosecha; b. Disposición en canastas después de la cosecha.

Fotos: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Poscosecha de minirraíces tuberosas

Una vez que se han obtenido las raíces tuberosas, es importante lavar el material vegetal para retirar la tierra adherida a la piel de la batata y retirar tanto los tubérculos defectuosos como los desechos vegetales. Después de que la minirraíz ha sido lavada adecuadamente, se debe desinfectar, para lo cual se sugiere sumergirla en una solución de 150 ppm a 200 ppm de cloro durante un período de 15 a 20 segundos (Garmendia & Vero, 2006).

Luego de realizar el lavado y la desinfección de la minirraíz, se debe secar en el invernadero sobre unas mesas tipo malla para permitir un mejor drenaje y disminuir el exceso de agua en el material vegetal. Si bien el tiempo necesario para secar la minirraíz depende de la temperatura y la humedad relativa, León et al. (2013) sugieren que el proceso puede tomar entre 4 y 24 horas. Posteriormente, se realiza el proceso de curado, que consiste en sanear o cicatrizar las heridas que se hayan podido ocasionar a la minirraíz durante la cosecha, para lo cual es necesario someterla a aproximadamente 27-32 °C a 85-90 % HR durante 5-7 días (Cobeña et al., 2017).

Luego de realizar el secado y curado de las minirraíces tuberosas, se clasifican según su tamaño y calidad (figura 8.18).



Figura 8.18.

Clasificación de las minirraíces tuberosas por tamaños en poscosecha.

Fotos: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

Finalmente, la minirraíz tuberosa se debe empacar en una caja de cartón con capacidad de 15 kg. Asimismo, es importante almacenarla a una temperatura de 12-14 °C y una humedad de 85-90 % (Cantwell & Kasmire, 2007; Cobeña et al., 2017; Cusumano & Zamudio, 2013).

Referencias

Alula, K., Zeleke, H., & Manikandan, M. (2018). In vitro propagation of sweet potato Ipomoea batatas (L.) Lam) through apical meristem culture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*(1), 2386-2392.

Amagloh, F. C., Yada, B., Tumuhimbise, G. A., Amagloh, F. K., & Kaaya, A. N. (2021). The potential of sweetpotato as a functional food in Sub-Saharan Africa and its implications for health: A review. *Molecules*, *26*(10), 2971. https://doi.org/10.3390/MOLECULES26102971

Bhatia, S. (2015). Plant tissue culture. In S. Bhatia, K. Sharma, R. Dahiya, & T. Bera (Eds.), *Modern applications of plant biotechnology in pharmaceutical sciences* (1st Ed., pp. 31-107). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802221-4.00002-9

Cantwell, M., & Kasmire, R. (2007). Sistemas de manejo postcosecha: Hortalizas de frutos. En A. A. Kader (Ed.), *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas*. Universidad de California.

Cobeña, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas, F. M., & Guzmán, A. M. (2017). *Manual técnico del cultivo de camote*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4789

Delgado-Paredes, G. E., Idrogo, C. R., Chanamé-Céspedes, J., Floh, E. I., & Walter, H. (2016). In vitro direct organogenesis in roots of Ipomoea batatas. *Asian Journal of Plant Science and Research, 6*(3), 17-27.

Cusumano, C., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina)*. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/15951

Garmendia, G., & Vero, S. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura*, *197,* 18-27. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_2006_197_18_27.pdf

Grace, M. H., Truong, A. N., Truong, V.-D., Raskin, I., & Lila, M. A. (2015). Novel value-added uses for sweet potato juice and flour in polyphenol- and protein-enriched functional food ingredients. *Food Science and Nutrition*, *3*(5), 415-424. https://doi.org/10.1002/fsn3.234

Hammond, R., Buah, J. N., Asare, P. A., & Acheampong, S. (2014). Optimizing sterilization condition for the initiation of sweet potato (Ipomoea batatas) culture

in vitro. *Asian Journal of Biotechnology, 6*(2), 25-37. https://doi.org/10.3923/ajbkr.2014.25.37

Kim, J., Kil, E.-J., Kim, S., Seo, H., Byun, H.-S., Park, J., Chung, M.-N., Kwak, H.-R., Kim, M.-K., Kim, C.-S., Yang, J.-W., Lee, K.-Y., Choi, H.-S., & Lee, S. (2015). Seed transmission of *Sweet potato leaf curl virus* in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Plant Pathology, 64*(6), 1284-1291. https://doi.org/10.1111/PPA.12366

Kim, J., Yang, J., Kwak, H.-R., Kim, M.-K., Seo, J.-K., Chung, M.-N., Lee, H., Lee, K.-B., Nam, S. S., Kim, C.-S., Lee, G.-S., Kim, J.-S., Lee, S., & Choi, H.-S. (2017). Virus incidence of sweet potato in Korea from 2011 to 2014. *The Plant Pathology Journal*, *33(*5), 467-477. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.08.2016.0167

Kwak, H. R., Kim, M. K., Shin, J. C., Lee, Y. J., Seo, J. K., Lee, H. U., Jung, M. N., Kim, S. H., & Choi, H. S. (2014). The current incidence of viral disease in Korean sweet potatoes and development of multiplex RT-PCR assays for simultaneous detection of eight sweet potato viruses. *Plant Pathology Journal*, *30*(4), 416-424. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2014.0029

León, B., Martínez, M., López, M., Rodríguez, L., Ardón, C., Rodríguez, I., Posas, F., & Vásquez, M. (2013). *Manual de manejo del cultivo de camote*. Programa PYMERURAL.

Li, F., Zuo, R., Abad, J., Xu, D., Bao, G., & Li, R. (2012). Simultaneous detection and differentiation of four closely related sweet potato potyviruses by a multiplex one-step RT-PCR. *Journal of Virological Methods*, *186*(1-2), 161-166. https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2012.07.021

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). "A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, *15*(3), 473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Pérez-Pazos, J. V., Rodríguez, J. L, Rosero, A., & Gámez-Carrillo, R. M. (2022, diciembre 5-7). Producción de mini-raíces tuberosas de batata Agrosavia-Aurora en diferentes sustratos evaluación del crecimiento, fotosíntesis, producción y capacidad de brotación en condiciones de vivero. [Presentación de poster]. I Congreso Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación para el Agro, Agroconciencias, Colombia. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33992.94728/1

Pérez-Pazos, J., Gámez, R., & Rosero, A. (2022, octubre 12-15). Efectos de suplementación exógena de reguladores de crecimiento en parámetros de biomasa e índices de crecimiento de plantas in vitro de batata pulpa naranja [Presentación de poster]. XI Congreso REDBIO 2022, México. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27282.06081/1

Pérez-Pazos, J., Rosero, A., Cardinale, M., & Gámez, R. (2023). Development of control strategies for bacteria and fungi associated with a micropropagated new cultivar of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. Agrosavia–Aurora).

Horticulture Environment Biotechnology, *64*, 859-875. https://doi.org/10.1007/s13580-023-00521-2

Pérez-Pazos, J., Rosero, A., Vergara, E., & Gámez, R. (2023). Response of sweet potato to substrates and acclimatization conditions in the greenhouse to produce high-quality planting material. *The Horticulture Journal*, *92*(4), 451-463. https://doi.org/10.2503/hortj.QH-017

Qiao, Q., Zhang, Z., Zhao, X., Wang, Y., Wang, S., Qin, Y., Zhang, D., Tian, Y., & Zhao, F. (2019). Evidence for seed transmission of sweet potato symptomless virus 1 in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Journal of Plant Pathology*, *102*, 299-303. https://doi.org/10.1007/S42161-019-00427-Y

Rajendran, S., Kimenye, L. N., & McEwan, M. (2017). Strategies for the development of the sweetpotato early generation seed sector in eastern and southern Africa. *Open Agriculture*, *2*, 236-243. https://doi.org/10.1515/OPAG-2017-0025

Salawu, S. O., Udi, E., Akindahunsi, A. A., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2015). Antioxidant potential, phenolic profile and nutrient composition of flesh and peels from Nigerian white and purple skinned sweet potato (*Ipomea batatas* L.). *Asian J. Plant Sci. Res.*, *5*(5), 14-23. https://www.imedpub.com/articles-pdfs/antioxidant-potential-phenolic-profile-and-nutrient-composition-of-flesh-and-peels-from-nigerian-white-and-purple-skinned-sweet-po.pdf

Singh, A. (2015). Micropropagation of plants. En B. Bahadur, M. V. Rajam, L. Sahijram, & K. V. Krishnamurthy (Eds.), *Plant biology and biotechnology* (Vol. II: *Plant genomics and biotechnology*; 1.ª ed., pp. 329-346). Springer. https://es.scribd.com/document/480184575/Plant-Biology-and-Biotechnology-Volume-2-Plant-Genomics-and-Biotechnology-By-Bir-Bahadur-Manchikatla-Venkat-Rajam-Leela-Sahijram-and-K-V-Krishnamu

Ssamula, A., Okiror, A., Avrahami-Moyal, L., Tam, Y., Gaba, V., Gibson, R. W., Gal-On, A., Mukasa, S. B., & Wasswa, P. (2020). Factors influencing reversion from virus infection in sweetpotato. *Annals of Applied Biology*, *176*(2), 109-121. https://doi.org/10.1111/AAB.12551

Wanjala, B. W., Srinivasulu, R., Makokha, P., Ssali, R. T., McEwan, M., Kreuze, J. F., & Low, J. W. (2020). Improving rapid multiplication of sweetpotato (*Ipomoea batatas* L. (Lam) pre-basic seed using sandponics technology in East Africa. *Experimental Agriculture*, *56*(3), 347-354. https://doi.org/10.1017/S0014479719000413

CAPÍTULO 9.

Requerimientos edafoclimáticos, hídricos y nutricionales para el cultivo de batata

EVELIN GÓMEZ Y RICARDO TÁMARA

La batata se destaca en Colombia no solo por su valor nutricional y económico, sino también por su capacidad de adaptación a diversos climas y tipos de suelos. Esta raíz tuberosa puede crecer tanto en zonas costeras de clima cálido como en áreas más frescas del interior del país, lo que la convierte en una opción flexible para los agricultores. La batata es una planta tolerante a suelos pobres y puede desarrollarse en condiciones de baja fertilidad. Sobre sus requerimientos hídricos, necesita un riego moderado y es capaz de resistir periodos cortos de sequía, lo que la hace ideal para regiones donde el agua es un recurso limitado. Esta resiliencia no solo le permite prosperar en entornos difíciles, sino que también reduce la presión sobre los recursos hídricos, haciéndola un cultivo sostenible y rentable en diversas zonas de Colombia. Así, su capacidad de adaptación contribuye a la diversificación agrícola y la seguridad alimentaria en el país.

Suelos y clima

La batata es un cultivo que produce durante todo el año, de acuerdo con las características ecológicas de las regiones. La planta está adaptada a condiciones agroecológicas tropicales y, por lo tanto, no tolera las bajas temperaturas, de manera que es ideal que durante el período de crecimiento se encuentre en una media superior a los 21 °C, pues se desarrolla satisfactoriamente entre los 20 °C y 30 °C, con un ambiente húmedo (80-85 % HR), entre 550 y 660 mm de lluvia o riego durante todo su ciclo de producción y buena luminosidad (Lago, 2011), es decir, entre doce y trece horas diarias de luz.

La batata tolera los vientos fuertes gracias a su porte rastrero y a la flexibilidad de sus tallos. Es un cultivo que demanda suelos sueltos, bien estructurados, aunque crece bien en arcillosos con buena estructura; además, los suelos con tendencia arenosa permiten un mejor desarrollo de sus raíces. La textura ideal es franco-arenosa, junto a una estructura granular del suelo. Si bien tolera los suelos moderadamente ácidos, con pH comprendidos entre 4,5 y 7,5 (Lago, 2011), como sucede en todas las especies cultivables, el pH ideal se encuentra entre 6,2 y 7,2 y necesita suelos con buen drenaje para evitar problemas de pudrición de raíces.

Requerimientos hídricos

Se estima que el cultivo de batata requiere en todo su ciclo, desde la siembra hasta la cosecha, entre 304 mm y 454 mm de agua para su crecimiento, desarrollo y producción (Moreira et al, 1994; Rivera, 2015). En la tabla 9.1 se muestran los requerimientos por fase de desarrollo.

Tabla 9.1. Requerimientos hídricos de la batata según la fase de desarrollo del cultivo

Fase de desarrollo	Período (días)	Requerimiento hídrico (mm)
Fase inicial	15 a 20	65,7
Fase de desarrollo	30 a 45	77,9
Fase media	70 a 90	104,1
Fase final	120 a 150	60,3

Fuente: Elaboración propia

Al respecto, Martí et al. (2014) plantean que se obtienen óptimos rendimientos con 750 mm a 1.000 mm de lluvia anuales, con 500 mm durante la estación de crecimiento. El otro período crítico es el inicio de la tuberización (formación de las raíces de reserva), pues el déficit de agua afecta el tamaño, pero no el número de batatas de la planta. En contraste, Sánchez y Rivera (2018) plantean que la batata requiere entre 500 mm y 600 mm de agua durante todo su ciclo de producción.

De acuerdo con la curva de crecimiento, durante los primeros 60 días después de la siembra (DDS) es cuando la planta tiene la mayor necesidad de precipitación porque se encuentra en las fases de crecimiento

vegetativo. Después de los 60 DDS, las necesidades se reducen debido a que la planta entra en la fase de llenado de las raíces tuberosas, principalmente al final del ciclo (últimos 30 días) (Cobeña et al., 2017). Además, Cobeña et al. (2017) reportan que una planta de batata requiere aproximadamente 3,3 L de agua por día, mientras que Delgado y Rivera (2018) señalan que si se hace de forma intermitente, específicamente de 10 min con 5 min de descanso, ese riego es más eficiente que el continuo.

Para el cultivo de batata se recomiendan métodos de riego presurizados, como el goteo (figura 9.1 a y b) o la aspersión (figura 9.1 c), para hacer uso eficiente del agua y no generar exceso de humedad o encharcamiento, lo cual puede deteriorar o causar pudrición de la raíz tuberosa. Al respecto, Ganchozo y Rosado (2015), en una investigación realizada en Ecuador, encontraron que los mejores rendimientos en batata (34.644,44 kg/ha) se obtienen haciendo riego por goteo cada 24 horas.



Figura 9.1.

Uso de sistemas de riego en cultivo de batata. a. Riego con cinta de goteo durante la siembra; b. Cultivo establecido; c. Sistema de riego por aspersión.

Fotos: Ricardo Támara y Evelin Gómez

Nutrición y fertilización

Por lo general, la curva de crecimiento de un cultivo se divide en tres etapas, en las cuales se evidencian los cambios de tamaño que tienen los diferentes órganos de las plantas durante su ciclo (tallo, hoja, raíz, flor y fruto). Conocer el crecimiento del cultivo ayuda a determinar las necesidades nutricionales para cada etapa y la presencia de las posibles plagas que lo afectan. De acuerdo con Cambronero (2012) y Cusumano y Zamudio (2013), el crecimiento de la batata se puede describir en tres fases:

- *Primera fase*: va desde la siembra hasta los 30 DDS. Se caracteriza por el desarrollo de las raíces adventicias y la producción de tallos y hojas. En esta fase la producción de follaje es lenta, pues la planta usa los fotoasimilados almacenados en el esqueje y los que produce son usados para sostener el nuevo crecimiento vegetativo. Esta es, precisamente, la importancia que tiene el grosor del tallo de los esquejes: cuanto más gruesos, mayor cantidad de reservas, lo cual producirá plantas más vigorosas.
- *Segunda fase*: va de los 30 a los 60 DDS. Se caracteriza por una rápida expansión y se alcanza la máxima producción de hojas y área foliar. Además, se inicia el llenado de las raíces tuberosas.
- *Tercera fase*: va desde los 60 DDS hasta la cosecha (105-120 DDS). En esta etapa se produce un descenso en el crecimiento vegetativo (senescencia de hojas y tallos) y la traslocación de los fotoasimilados para el llenado de las raíces tuberosas.

Teniendo en cuenta las fases descritas, se recomienda fraccionar y distribuir la aplicación de la fertilización hasta los 50 DDS, con el propósito de brindar los nutrientes suficientes en cada una de las etapas de desarrollo y llenado de raíces (Bonilla, 2009). Para establecer el plan de fertilización adecuado, es importante contar con un análisis de suelo que permita determinar las cantidades de nutrientes disponibles y cuáles se necesitan para el establecimiento, el crecimiento adecuado y el llenado de las raíces de batata. Además, se debe mantener la fertilidad del suelo, para lo cual se tiene que aplicar, por lo menos, la misma cantidad de nutrientes que el cultivo haya extraído en la cosecha anterior (O'Sullivan et al., 1997).

Al respecto se debe señalar que si bien hay dos elementos clave en la nutrición del cultivo, el nitrógeno (N) y el potasio (K), el exceso de N favorece el desarrollo de la parte aérea, es decir, la planta "se va en vicio", en detrimento de las raíces (Martí et al., 2014). En este sentido, se sugiere tener en cuenta la investigación de Rodríguez et al. (2023), en la cual se encontró que fertilizar con 60 kg de N, 40 kg de fósforo (P) y 100 kg de K por hectárea genera los mayores rendimientos en batata. En la tabla 9.2 se observan diferentes requerimientos nutricionales de acuerdo con las toneladas que se espera producir.

Tabla 9.2. Requerimiento nutricional de la batata según rendimiento esperado

Rend. t/ha	Kg/ha					
	N	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	S
1	5,88	3,06	9,50	5,66	2,03	1,53
10	58,80	30,06	95,0	56,6	20,3	15,3
20	117,6	61,2	190,0	113,2	40,6	30,6
30	176,4	91,8	285,0	169,8	60,9	45,9

Fuente: Lardizábal (2004).

Referencias

Bonilla Murillo, J. C. (2009). *Manual del cultivo de camote: Proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola.* Chemonics International Inc. https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01B715.pdf

Cambronero, D. (2012). *Comparación del comportamiento agronómico e incidencia viral entre esquejes de camote (*Ipomoea batatas*) obtenidos in vitro y esquejes provenientes de plantaciones comerciales, en la región Huetar Norte* [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica].

Cobeña, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas, F., & Guzmán, A. (2017). *Manual técnico del cultivo de camote* [Manual N.º 106]. INIAP. https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4789

Cusumano C., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina)* (1.ª ed.). Fomaillo-Ediciones INTA.

Delgado, M., & Rivera, L. (2018). Aplicación de dos modalidades de riego por goteo en el crecimiento y producción de camote (*Ipomoea batatas* L., variedad INIA 320). *Anales Científicos*, *79*(1), 144-150. https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1151

Ganchozo Rojas, R. J., & Rosado Alcívar, E. S. (2015). *Estudio de tres frecuencias de riego por goteo sobre la producción de camote (*Ipomoea batatas L.*) en el valle del río Carrizal* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio ESPAM. https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/455

Lago, L. (2011). *El cultivo de batata: Una oportunidad agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido*. Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC); Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13373

Lardizábal, R. (2004). *Manual de producción de camote*. USAID. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/61/CDA_Fintrac_Manual_Produccion_Camote_revised_02_04_ESP.pdf

Martí, H., Mitidieri, M.; Di Feo, L., Segade, G., Constantino, A., Chiandussi, M., & Filippi, M. (2014). *Producción agroecológica de batata para el gran cultivo y la huerta familiar* (1.ª ed.). INTA.

Moreira, M. A., González, W., & Granados, G. (1994). Determinación del uso consuntivo e intervalos de riego del camote (*Ipomoea batatas* L.). *BOLTEC*, *27*(2), 1-10. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/2861d993-8391-4cfc-9eeb-ab5ddb46a456/content

O'Sullivan, J. N., Asher, C. J., & Blarney, F. P. C. (1997). *Nutrient disorders of sweet potato*. Australian Centre for International Agricultural Research. https://tinyurl.com/eze6sjcn

Rivera Serna, L. G. (2015). Rendimiento del cultivo de camote INIA 320 aplicando el riego por goteo convencional e intermitente [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1842

Rodríguez Soto, G., Pinedo-Taco, R., & Culqui Gaslac, C. (2023). Dosis de fertilización y densidad de siembra en clones avanzados de camote (*Ipomoea batatas L.*). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 10*(1), 7-14. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182023000100007&lng=es&nrm=iso

Sánchez Delgado, M. A., & Rivera Serna, L. G. (2018). Aplicación de dos modalidades de riego por goteo en el crecimiento y producción de camote (*Ipomoea batatas* L., variedad INIA 320). *Anales Científicos*, *79*(1), 144-150. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1151

CAPÍTULO 10.

Recomendaciones de manejo de la variedad de batata Agrosavia Aurora

EVELIN GÓMEZ, AMAURY ESPITIA Y SOL MARA REGINO

La primera variedad de batata liberada en Colombia se conoce como Agrosavia Aurora, variedad de pulpa naranja que fue seleccionada por su adaptación a las condiciones del Caribe y su rendimiento, que supera las 20 t/ha (Rosero et al., 2019). La batata de pulpa naranja es un cultivo altamente nutritivo que aporta carbohidratos, vitaminas A y C, fibra y minerales esenciales como hierro y potasio. Esto la convierte en una fuente valiosa de alimentos para combatir la inseguridad alimentaria, especialmente en zonas rurales (Lago, 2011).

Es un cultivo que se adapta bien a diferentes condiciones agroecológicas, lo que facilita su producción en zonas rurales y semiurbanas, y lo convierte en una fuente de ingresos sostenible para pequeños agricultores. Asimismo, la batata tiene un papel relevante en la diversificación de la producción agrícola, ya que contribuye a la seguridad alimentaria y la resiliencia frente a cambios climáticos (Tarache, 2023).

El adecuado manejo agronómico de la batata es de suma importancia para obtener óptimos rendimientos y un alto porcentaje de raíces de primera calidad. Este manejo implica una buena selección de semilla, una adecuada preparación del suelo, el plan de fertilización ajustado a los resultados de análisis de suelos, un adecuado plan de manejo integrado de plagas y enfermedades y un riego acorde con las necesidades de cada etapa del cultivo, con el fin de asegurar que las plantas reciban los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo. Un manejo agronómico adecuado de la batata no solo mejora la productividad y la calidad del cultivo, sino que también contribuye a la sostenibilidad y rentabilidad de la producción agrícola.

Selección del terreno

El cultivo de batata se adapta a terrenos con características topográficas de semiondulados o planos, con buen drenaje, preferiblemente suelos francos y pH que oscile entre 5.5 y 6.0 (Lardizábal, 2006). Debido a que el órgano de interés de este cultivo son las raíces que se desarrollan bajo la superficie del suelo, es importante que no se presenten compactaciones porque afectan la forma y el llenado de la raíz tuberosa.

Antes de establecer el cultivo, es necesario realizar un análisis completo de las propiedades químicas y físicas del suelo, así como un análisis foliar de nutrientes, debido a la importancia de conocer los contenidos nutricionales para determinar con mayor exactitud cuál es la recomendación para aplicar los fertilizantes (Bonilla, 2009).

Preparación de suelos

Para conocer la condición física del suelo, se debe realizar un recorrido en el lote haciendo cajuelas con una pala o palín, en diferentes puntos, para determinar la compactación y si esta llega a niveles que impidan el crecimiento de las raíces del cultivo. Dependiendo del tipo de suelo y si existen capas compactadas, se deberá subsolar y después rastrillar hasta dejarlo en condiciones para la siembra. El suelo se debe preparar mínimo 45 días antes de la siembra a 30 cm de profundidad y después se debe dar un pase de rastra para romper los agregados más grandes, procurando que quede uniforme para la siembra (Bonilla, 2009).

Normalmente, se elevan caballones entre 30 cm y 40 cm de altura y 1 m de distancia entre surcos, con el fin de proveer un buen drenaje, mejorar la aireación y facilitar el desarrollo de las raíces tuberosas. Este tipo de camas para siembra es conveniente en suelos con problemas de encharcamiento, así que en suelos arenosos no se recomienda usar los caballones (Bonilla, 2009).

Multiplicación de semilla tipo esqueje

Existen dos formas de multiplicar la semilla de batata en finca (Lago, 2011):

1. *Por minirraíces tuberosas*: se usan para refrescar el material para siembra comercial. Se obtienen de camas de vivero o de cultivo comercial sano y con un buen manejo fitosanitario. Es preferible que pesen entre 80 g y 100 g.
2. *Por tallos (esquejes, bejucos, guías, etc.)*: se obtienen a partir de semilleros de minirraíces y camas de maduración de esquejes.

A continuación, los siguientes apartados detallan cada uno de estos procedimientos.

Establecimiento de semilleros para refrescamiento

Para obtener el material de siembra, se recomienda el montaje de camas sembradas con minirraíces tuberosas, preferiblemente que provengan de un esquema de producción de semilla de calidad (física, fisiológica, sanitaria y genética). En el caso de que no se cuente con este tipo de semilla, se pueden tomar batatas de segunda generación obtenidas del cultivo anterior, las cuales deben ser seleccionadas por su calidad fisiológica y sanitaria. Cabe señalar que las dimensiones del semillero dependerán del área del cultivo comercial que se va a establecer, de tal forma que se pueda producir la cantidad de esquejes apicales y preapicales que se necesitan.

Específicamente, para una cama de 1 m de ancho por 10 m de largo, se debe utilizar un sustrato compuesto por arena y suelo en relación 2 : 1 (figura 10.1a). Las raíces tuberosas, con peso de entre 80 g y 100 g (Espitia-Montes et al., 2021), se deben sembrar a una distancia de 10 cm, taparlas con una capa de sustrato de 3 cm a 5 cm (figura 10.1b) y regarlas diariamente para mantener la humedad de la cama. A partir de los quince días estas batatas empezarán a emitir brotes (figura 10.1c), así que cuando estos tengan de 25 cm a 30 cm de longitud, estarán listos para que se realice el primer corte (figura 10.1d).



Figura 10.1.

Establecimiento de semilleros para establecimiento. a. Preparación de camas para semillero; b. Siembra de minirraíces con peso entre 80 g y 100 g para obtener esquejes; c. Brotes de batata; d. Batata con brotes listos para que sean cortados.

Fotos: Sol Mara Regino y Evelin Gómez

Un aspecto importante en la producción de semilla está relacionado con el segmento de la guía, de manera que se recomienda utilizar la parte apical y preapical con edades que no superen los noventa días, ya que, si se utilizan esquejes muy viejos y de la parte basal, los rendimientos del cultivo serán menores (Espitia-Montes et al., 2021).

Multiplicación de material de siembra desde esquejes

Cuando los esquejes producidos de las raíces tienen las condiciones adecuadas, se cortan y se siembran en camas a distancia entre esquejes de 10 cm a 15 cm (figura 10.2), con el fin de ampliar la unidad de producción en las camas o semilleros. Además, es recomendable que estos se

establezcan cerca del lote donde se va a sembrar el cultivo comercial y que se aprovechen hasta tres cortes seguidos de esquejes cada 30 DDS. Para mantener los semilleros se sugiere fertilizar y aplicar riego después de cada corte de semilla, con el fin de estimular el desarrollo foliar.



Figura 10.2.

Semilleros a partir de esquejes para producir semilla comercial.

Foto: Evelin Gómez

Selección y manejo de esquejes para siembra

Se utilizan porciones de tallos que tengan una longitud de 20 cm a 25 cm y que contengan entre cuatro y cinco nudos (figura 10.3). El corte de los esquejes se debe realizar con la ayuda de una tijera podadora previamente desinfectada en una solución de un producto bactericida, viricida y fungicida a base de yodo al 2,5 % en dosis de 2 cc.L^{-1} de agua. Los esquejes cortados se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de segmento y se deben organizar en mazos, preferiblemente de cien unidades, humedecerlos y llevarlos a campo sin demora (figura 10.4). Específicamente, se recomienda que la siembra se haga en menos de 48 horas a partir del momento cuando se cortaron los esquejes para evitar que se deshidraten y, en consecuencia, que disminuya el porcentaje de prendimiento en campo. Sin embargo, cabe agregar que el uso de una buena semilla

garantiza el 50 % del éxito del cultivo, por lo cual es de suma importancia una semilla de calidad.



Figura 10.3.

Tallos para obtener los esquejes. a. Guías o tallo de batata; b. Esquejes de 30 cm de longitud.

Fotos: Sol Mara Regino



Figura 10.4.

Corte del tallo en esquejes apical y preapical. a Esquejes; b. Mazos de cien esquejes listos para sembrar en campo.

Fotos: Sol Mara Regino y Evelin Gómez

Investigaciones realizadas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el Centro de Investigación Turipaná (Cereté, Córdoba, Colombia), en las que se evaluaron esquejes de diferentes edades y segmentos del tallo, evidenciaron que esquejes de 60 días de edad tuvieron prendimientos del 84,7 % y esquejes de 90 días de edad, de 74,9 %, lo que superó a esquejes de 120 días, con 67,9 %. Esto muestra que esquejes para semilla tomados de plantas jóvenes (de edad de 2 a 3 meses) producen mayores rendimientos que esquejes tomados de plantas de edad más avanzada (de 4 a 5 meses). Así, los mayores rendimientos se obtuvieron al usar esquejes de la parte apical (25,3 t/ha) y preapical (24,2 t/ha) (Espitia-Montes et al., 2021). Estos resultados llevan a recomendar la utilización de segmentos apicales y preapicales del tallo que no superen los 90 DDS para obtener los rendimientos indicados.

Época de siembra

AGROSAVIA evaluó el efecto de doce épocas de siembra sobre el rendimiento de la raíz de la variedad Aurora en cuatro centros de investigación de la corporación y una finca de un productor, ubicados en el Caribe colombiano. Los resultados evidenciaron que que la siembra realizada en mayo en los Montes de María (El Carmen de Bolívar, Bolívar) tuvo rendimientos de 30,3 t/ha, mientras que las que se hicieron en agosto, tanto en el valle del Sinú (Cereté, Córdoba) como en las sabanas de Sucre (Corozal, Sucre), obtuvieron rendimientos de raíz del orden de las 26,1 t/ha y 27,7 t/ha, respectivamente. Por su parte, en el valle del Cesar (C. I. Motilonia), los cultivos sembrados entre abril, mayo y agosto tuvieron rendimientos de 23 t/ha, 21,7 t/ha y 23 t/ha, respectivamente (Agrosavia 2024a).

Por todo lo anterior, se recomienda que las siembras se realicen en los siguientes meses según la región, pues en épocas diferentes se corre el riesgo de que la producción se afecte si no se cuenta con un sistema de riego suplementario:

- **Valle del Cesar:** entre abril y mayo, y en agosto
- **Montes de María:** mayo

- **Valle del Sinú y sabanas colinadas de Sucre:** en el período que va de agosto a septiembre

Establecimiento del cultivo comercial

Se recomienda realizar la siembra al inicio de la temporada de lluvias o garantizar que haya agua disponible para hacer el riego durante los primeros 30 DDS, con el fin de asegurar un prendimiento rápido y uniforme de las semillas, así como un desarrollo vigoroso en las primeras etapas fenológicas del cultivo (figura 10.5). La semilla vegetativa se debe obtener de los semilleros, en lo posible, el día anterior a la siembra o máximo los tres días previos. Además, la semilla se debe mantener bajo sombra con riegos frecuentes para evitar su deshidratación.



Figura 10.5.
Siembra para obtención de raíces comerciales (C. I. Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar).

Foto: Evelin Gómez

Establecimiento

Para la variedad Agrosavia Aurora se recomienda usar densidades de siembra de entre 30.000 y 35.000 plantas/ha, con distanciamiento de 1 m entre surcos y 0,28 m a 0,33 m entre plantas. Los esquejes se deben sembrar sobre la cresta o a un costado del caballón, introduciéndolos inclinados en el suelo más o menos 45°, cuidando que queden enterrados dos o tres nudos y dejando los demás expuestos. De esta manera, las yemas bajo el suelo se encargarán del desarrollo radicular, mientras que las expuestas se encargarán del desarrollo foliar. Además, las condiciones de humedad del suelo se deben mantener óptimas por lo menos los primeros 25-30 DDS porque la semilla vegetativa es susceptible de deshidratación, especialmente en áreas muy calurosas.

Manejo de arvenses

Las arvenses se representan como plantas sin valor económico que durante su crecimiento interfieren en el desarrollo del cultivo y afectan su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico. Sin embargo, también se ha asegurado que sirven como reservorio de organismos benéficos para el control general de plagas, de manera que el concepto de arvenses es relativo (Blanco & Leyva, 2007).

Estudios realizados por AGROSAVIA en las localidades del C. I. Turipaná (valle del Sinú), El Carmen de Bolívar (Montes de María) y el C. I. Motilonia (valle del Cesar) indican que el período crítico de competencia con las arvenses en el cultivo de batata ocurre entre los 13 y 35 días después del brote. Durante estos primeros 35 días del período vegetativo, la producción de batata es afectada significativamente por la competencia (Agrosavia, 2024b). En consecuencia, se sugiere utilizar métodos manuales de control cultural para mantener umbrales bajos de arvenses durante este período crítico del cultivo. Además, si se presentan casos de brotes de arvenses agresivas y limitantes, se recomienda el uso moderado de componentes químicos de acuerdo con las indicaciones de la asistencia técnica. Finalmente, cuando el área foliar de la batata se

desarrolla y cubre el suelo, logra controlar las arvenses por competencia por la luz solar.

Fertilización

Antes de establecer el cultivo, es fundamental tomar muestras de suelo representativas del lote y enviarlas al laboratorio para que sean analizadas. En el caso de la batata, AGROSAVIA evaluó aplicaciones de nitrógeno (N) y potasio (K) en cultivos de cuatro localidades: sabanas colinadas, Montes de María, valle del Sinú y valle del Cesar. Los resultados mostraron que los mejores rendimientos de raíces reservantes se obtuvieron con dosis bajas a medias de nitrógeno (14 y 84 kg/ha de N), mientras que los rendimientos más bajos se observaron en los tratamientos con dosis altas de nitrógeno (196 y 266 kg/ha de N).

En cuanto a la producción de forraje verde, los tratamientos con mayor producción fueron aquellos que recibieron las mayores dosis de nitrógeno (140, 196 y 266 kg/ha de N). Sin embargo, al comparar este efecto con la producción de raíces, se encontró una correlación negativa entre la producción de la parte aérea de la planta (forraje) y la producción de raíces debido a las dosis altas de nitrógeno. Esto sugiere que cuando hay excesos de nitrógeno en el suelo, la planta prioriza la producción de energía para el crecimiento de la parte aérea, en detrimento del almacenamiento de carbohidratos en las raíces (Agrosavia, 2017).

Estos hallazgos coinciden con estudios previos realizados por Santos et al. (2017), quienes evaluaron diferentes dosis de nitrógeno (desde 0 hasta 240 kg/ha de N) en el cultivo de batata. En su investigación, encontraron una correlación negativa (-0,071) entre la producción de materia seca de la parte aérea y la producción de raíces reservantes. Las mayores producciones de raíces se observaron con aplicaciones menores a 120 kg/ha de N. Además, los estudios de Cusumano y Zamudio (2013) confirman que las dosis altas de nitrógeno provocan un excesivo desarrollo foliar y un deficiente almacenamiento de carbohidratos por las raíces.

Cosecha

La cosecha manual se inicia con el corte de los tallos y las hojas a ras del suelo (figura 10.6). Se recomienda hacer esta actividad un par de días antes de la cosecha para ayudar a curar la raíz tuberosa y reducir los problemas poscosecha (Cusumano & Zamudio, 2013). Luego de la cosecha, se sugiere retirar todas las raíces del suelo para evitar que proliferen plagas o enfermedades, así como hacer una adecuada rotación con cultivos con leguminosas o con requerimientos nutricionales diferentes a la batata, con el fin de garantizar un buen estado fisicoquímico del suelo y evitar problemas fitosanitarios.



Figura 10.6.

Selección y recolección en campo de raíces de batata Agrosavia Aurora (C. I. Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar).

Foto: Evelin Gómez

Referencias

Blanco, Y., & Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, *28*(2), 21-28. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731003

Bonilla Murillo, J. C. (2009). *Manual del cultivo de camote: Proyecto de desarrollo de la cadena de valor y conglomerado agrícola*. Chemonics International Inc. https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01B715.pdf

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2017). *Validación y generación de tecnologías para el manejo del cultivo de batata. Informe final de meta*. https://vivo.agrosavia.co/individual/proinv409

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2024a). *Recomendación para épocas de siembra de la variedad de batata Agrosavia-Aurora*. https://tinyurl.com/y27cf4xb

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]. (2024b). *Recomendaciones de manejo de malezas para el cultivo de la variedad de batata Agrosavia -Aurora*. https://tinyurl.com/mue9uv48

Cusumano, C., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina)* (1.a ed.). Fomaillo-Ediciones INTA.

Espitia-Montes, A. A., Regino-Hernández, S. M., Martínez-Reina, A. M., García-Peña, J. A., Tamara-Morelo, R. E., & Pérez-Cantero, S. P. (2021). Reproducción de semilla de batata (*Ipomoea batatas*) var. Agrosavia aurora en Colombia. *Agronomía Costarricense*, *45*(1), 165-175. https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45766

Lago, L. (2011). *El cultivo de batata: Una oportunidad agroalimentaria para pequeños productores de clima cálido*. Sociedad de Agricultores de Colombia [SAC]; Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA]. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13373

Lardizábal, R. (2006). *Manual de producción de camote*. Fintrac CDA. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/handle/123456789/61

Rosero Alpala, E. A., Pastrana Vargas, I. J., García Peña, J. A., Espitia Montes, A. A., Sierra Naranjo, C. M., Sierra Monroy, J. A., Martínez Botello, D. H., Santana Rodríguez, M. O., Pérez Gamero, J. L, Regino Hernández, S. M., Espitia Negrete, L. B, Araújo Vásquez, H. A., Martínez Figueroa, R. R., & García Herazo, J. L. (2019). *Agrosavia Aurora: Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403107

Santos Neto, A., Silva, T., Blank, A. F., Silva, J. O., Araújo, F., & Filho, R. N. (2017). Produtividade de clones de batata doce em função de doses de nitrogênio. *Hortic. Bras.*, *35*(3), 445-452. https://doi.org/10.1590/S0102-053620170322

Tarache, Y. (2023). *Importancia del cultivo de batata (Ipomoea batatas (L). Lam.) en Colombia y sus prospectivas de producción y comercialización* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD]. Repositorio UNAD. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/60154/ytaracher.pdf

CAPÍTULO 11.

Plagas que afectan el cultivo de batata y estrategias para su manejo integrado

LAURA ESPITIA NEGRETE, REMBERTO MARTÍNEZ Y JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS

Principales plagas en el cultivo de batata en Colombia

El cultivo de la batata puede ser afectado por insectos plagas, los cuales atacan diferentes órganos de la planta, como hojas, tallos, flores y raíces. Si se presentan en grandes cantidades, pueden llegar a ser de importancia económica, de manera que es fundamental reconocer e identificar las posibles plagas asociadas al cultivo para hacer un control adecuado y que no haya complicaciones en su crecimiento y desarrollo. Por esta razón, a continuación se describen los insectos y vertebrados asociados al cultivo de la batata de la variedad Agrosavia Aurora (tabla 11.1).

Tabla 11.1. Resumen de insectos plaga y vertebrados asociados al cultivo de batata

Orden	Familia	Género o especie	Órgano que afecta
Coleoptera	Chrysomelidae	*Agroiconota propinqua*	Hojas
Coleoptera	Chrysomelidae	*Omophoita* spp.	Hojas
Hemiptera	Cicadellidae	*Agrosoma* spp.	Hojas
Lepidoptera		*Spodoptera* spp.	Hojas
Coleoptera	Curculionidae	*Compsus* sp.	Hojas
Coleoptera	Elateridae	*Agriotes* sp.	Hojas
Lepidoptera		*Tetranychus* spp.	Hojas
Lepidoptera	Nymphalidae	*Junonia* sp.	Hojas

Orden	Familia	Género o especie	Órgano que afecta
Hemíptera	Cicadellidae	*Agrosoma* sp.	Hojas
Prostigmata	Tetranychidae	*Tetranychus* sp.	Hojas
Coleóptera	Cerambycidae	*Ptericoptus* sp.	Raíz
Coleóptera	Chrysomelidae	*Typophorus* spp.	Hojas y raíces
Coleóptera	Brentidae	*Cylas formicarius*	Hojas
Julida (Milpiés)			Raíces
Vertebrados			
Rodentia	Muridae	*Mus musculus*	Raíz

Fuente: Elaboración propia

Insectos plaga en hojas

Agroiconota propinqua

Esta especie pertenece al orden Coleóptera y a la familia Chrysomelidae, conocidas comúnmente como escarabajo tortuga o tortuguilla (figura 11.1a).

Daño: se alimenta de las hojas del cultivo haciendo perforaciones irregulares (figura 11.1b), lo cual disminuye la capacidad fotosintética de la planta y, por ende, la acumulación de sustancias de reserva en las raíces tuberosas. Son de importancia en la etapa de semilleros, cuando lo esquejes tienen pocas hojas, y afectan el crecimiento y desarrollo de la planta.

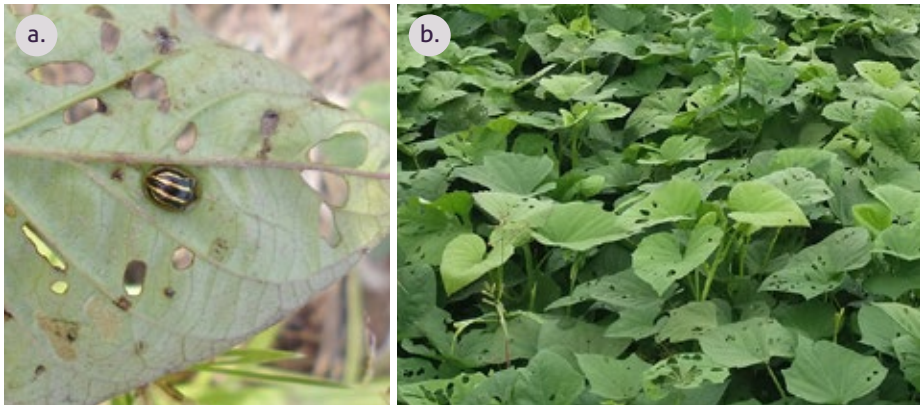


Figura 11.1.

Agroiconota propinqua. a. Crisomélido en el cultivo de batata; b. Perforaciones en hojas por crisomélidos.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Omophoita spp.

Pertenecen al orden Coleóptera y a la familia Chrysomelidae, conocida comúnmente como pulga saltona (figura 11.2).

Daño: son comedores de follaje, de manera que causan pérdidas en la funcionalidad y desarrollo de las hojas, en especial en la fase de semillero de los esquejes. Sin embargo, en el desarrollo de los cultivos no se considera una plaga importante.



Figura 11.2.

Omophoita spp. Crisomélido encontrado durante el desarrollo del cultivo de la batata.

Foto: Tatiana Sánchez Doria

Agrosoma spp.

Pertenece al orden Hemíptera, específicamente a la familia Cicadellidae, conocidos popularmente como loritos verdes o chicharritas (figura 11.3).

Daño: se observan adultos sobre el follaje del cultivo de diferentes géneros.

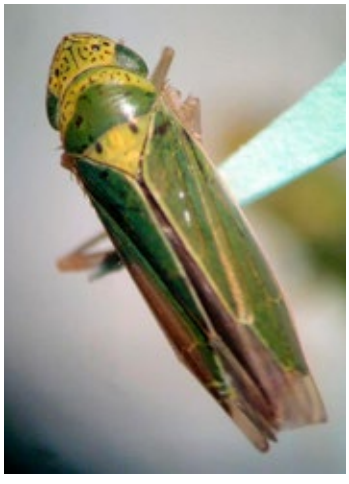


Figura 11.3.

Adulto de *Agrosoma* spp. sobre hojas de batata.

Foto: Tatiana Sánchez Doria

Spodoptera spp.

Pertenece al orden Lepidóptera y es conocido comúnmente como gusano cogollero (figura 11.4a). Las larvas son gregarias en los primeros estadios y en poco tiempo se dispersan por toda la planta. Los huevos son redondos u ovalados y están recubiertos de una capa de cerosa.

Daño: se encontraron huevos depositados sobre las hojas (figura 11.4b). Inicialmente, las larvas raspan las superficies de las hojas y luego se alimentan del follaje dejando solamente las nervaduras. En vivero pueden llegar a defoliar y consumir todas las hojas jóvenes.

Manejo: eliminar las malezas hospederas y recoger los huevos que se encuentren para destruirlos. Cuando se encuentran poblaciones grandes, se puede realizar aplicaciones puntuales de insecticidas sistémicos o *Bacillus thuringiensis* en la fase larvaria temprana, cuando las larvas aún son gregarias.

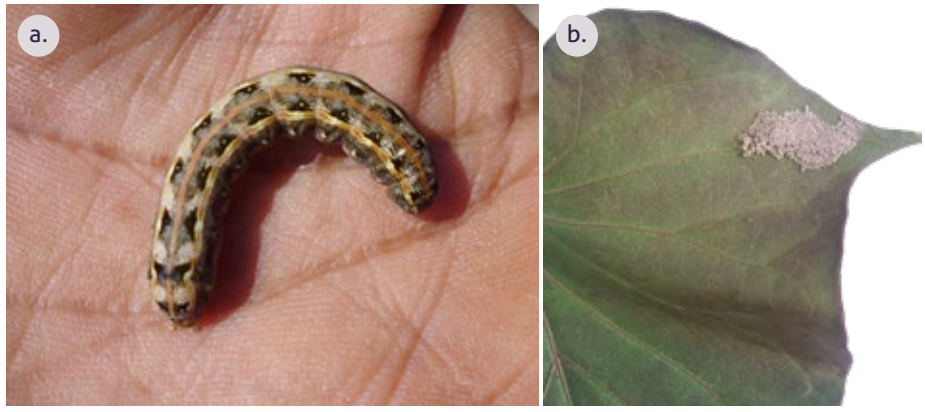


Figura 11.4.

Spodoptera spp. a. Larva; b. Huevos sobre follaje de batata.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Compsus spp.

Pertenece al orden Coleóptera y a la familia Curculionidae.

Daño: se observan adultos alimentándose del follaje del cultivo, consumiendo preferiblemente los bordes de las hojas (figura 11.5a). Sus poblaciones fueron bajas durante las investigaciones sobre el cultivo de batata.

Manejo: dado que se las poblaciones de este insecto son bajas y no afectan significativamente el desarrollo del cultivo, no se ha desarrollado ningún tipo de manejo para su erradicación. (figura 11.5b).

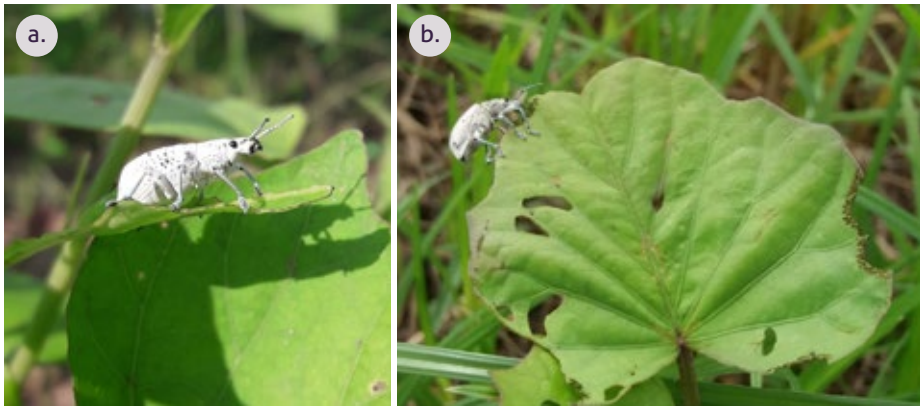


Figura 11.5.

Compsus spp. a. Adulto alimentándose de hojas de batata; b. Adulto sobre el follaje.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Tetranychus spp.

De tamaño diminuto, son conocidas comúnmente como arañitas rojas.

Daños: las arañitas rojas pueden aparecer en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, pero generalmente lo hacen en épocas de sequías. Además, se han identificado ataques severos en la etapa de vivero y muy cerca al momento de la cosecha. *Tetranychus* spp. se ubican en el envés de las hojas y afectan los tejidos nuevos, pero no se pueden observar a simple vista, sino que se evidencian por los puntos cloróticos que aparecen en el haz de las hojas (figura 11.6).



Figura 11.6.

Daño por ácaros en hojas de batata. a. Ácaro en hoja de batata; b. Daño en hoja por ataque de ácaro.

Fotos: Evelin Gómez y Laura Espitia Negrete

Junonia spp.

Pertenecen al orden Lepidóptera. Se han encontrado larvas consumiendo follaje de batata (figura 11.7). Para la identificación de este insecto se recomienda hacer seguimiento del ciclo de vida de la larva (figura 11.7a) hasta obtener el adulto (figura 11.7b). No se presentaron daños de importancia económica y es la primera vez que se registra un reporte en el cultivo de batata, por lo cual no existen métodos de control reportados.

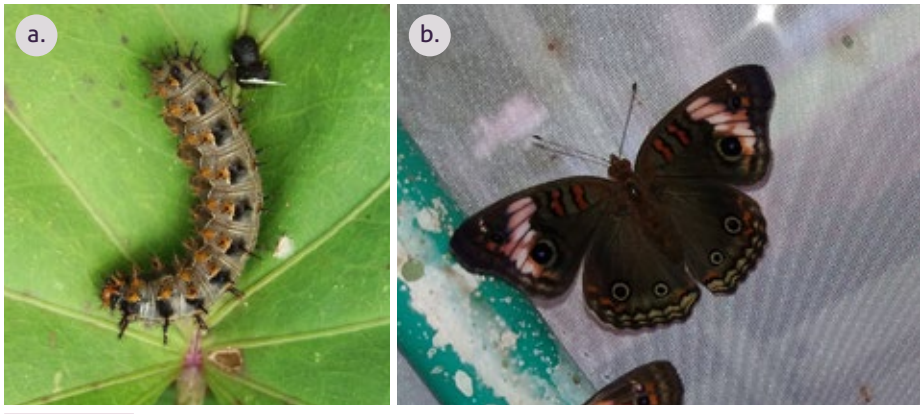


Figura 11.7.

Junonia sp. encontrada en cultivo de batata. a. Larvas; b. Adultos.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Agriotes spp.

Este insecto se encuentra en estado de larva en esquejes de batata (figura 11.8).

Daño: muerte de esquejes por perforaciones, ya que esto inhibe la emisión de raíces y hace que se sequen.

Manejo: se recomienda aplicar productos químicos para proteger el esqueje antes de la siembra y recoger en los lotes los residuos de cosechas de maíz anteriores que hospedan el insecto.



Figura 11.8.

Agriotes spp. en estado de larva.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Otros insectos

Algunos insectos que no son de importancia económica se encuentran en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de batata, sin embargo, es necesario realizar un monitoreo fitosanitario constante para su identificación temprana (figura 11.9).



Figura 11.9.

Insectos observados en el cultivo sin que se evidenciaran daños. a. Familia Lepidóptera, *Manduca* spp.; b. Orden *Orthoptera*, familia Tettigoniidae; c. Orden *Orthoptera*, familia Acrididae.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Insectos plaga en raíces

Los siguientes insectos son de importancia y se debe tener cuidado con su manejo debido a que afectan directamente el órgano de interés en el cultivo: la raíz tuberosa.

Ptericoptus spp.

Pertenece al orden Coleóptera y a la familia Cerambycidae. Conocido como taladrador de tallo, afecta al cultivo de batata en estado de larva,

de manera que genera un engrosamiento de la base del tallo de las plantas (figura 11.10).

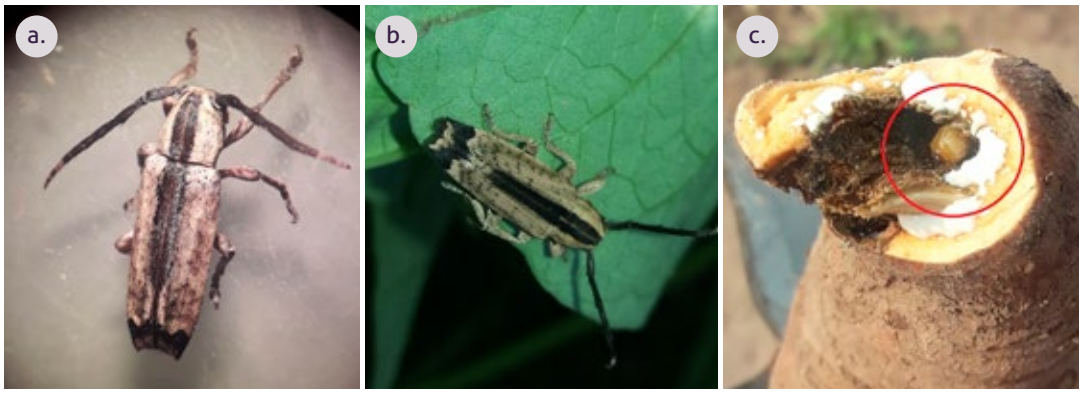


Figura 11.10.

Ptericoptus spp. a. Adulto desarrollado en condiciones de laboratorio para su identificación; b. Adulto encontrado sobre hojas de batata; c. Larva causando daño en raíz tuberosa.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Typophorus spp.

Conocido como "negrito brillante de la batata", pertenece al orden Coleóptera y a la familia Chrysomelidae (GBIF, s. f.).

Daño: aunque los daños tipo orificio en las hojas de las plantas de batata se suelen asociar con la presencia de individuos adultos de esta especie, como sucede también en los casos en que se alimentan de todo el limbo foliar cuando las poblaciones son grandes (Folgueras et al., 2020), se considera que el daño principal es causado por las larvas, que perforan las raíces tuberosas en forma de galería y orificios de hasta 1,5 mm de profundidad (Castellón et al., 2012; Folgueras et al., 2020).. Específicamente, en la variedad Agrosavia Aurora se observaron perforaciones circulares en la epidermis de las raíces tuberosas (figura 11.11), lo cual hace que se pierda calidad comercial.

Manejo: se recomienda usar esquejes o semillas sanas y desinfectadas. Además, utilizar productos como *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin o *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill en el lugar del corte durante tres minutos en una solución del hongo: por cada 5 kg del entomopatógeno

se deben emplear 100 litros de agua. También se pueden usar trampas con feromonas y bioplaguicidas que atraen a los adultos.

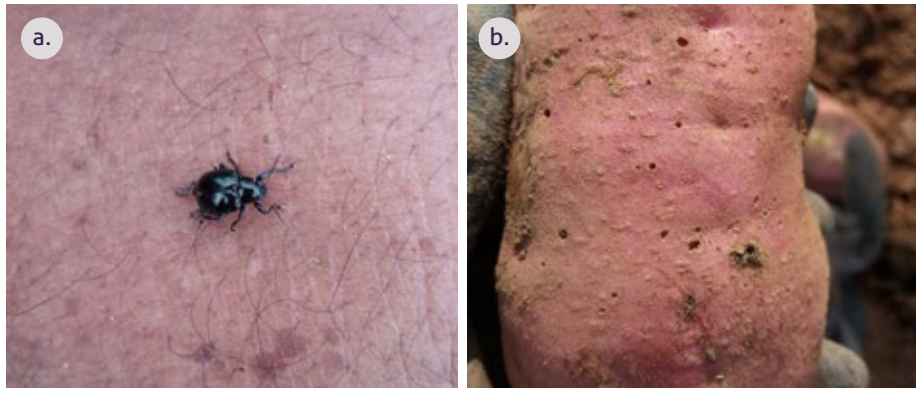


Figura 11.11.

Typophorus spp. a. Adulto; b. Daños en raíces de batata.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Cylas formicarius

Conocido comúnmente como Tetuán del boniato, pertenece a los Coleóptera. Es una plaga de importancia económica en otros países (Folgueras et al., 2020).

Daños: si bien los adultos se alimentan de diferentes partes de la planta de batata, su ciclo reproductivo se completa únicamente cuando depositan sus huevos en la base de los tallos y en las raíces tuberosas, que es la parte más vulnerable al ataque de la plaga. Las larvas son las principales responsables de los daños económicos significativos, pues las galerías que excavan en estas raíces deterioran el producto cosechado y lo vuelven inapropiado para el consumo humano o animal (Folgueras et al., 2020).

Manejo:

- Usar trampas de feromonas sexuales con insecticidas, principalmente para medir las poblaciones y tomar decisiones sobre las acciones de control (Landa, 2018).
- Aplicar control biológico con agentes entomopatógenos, como *Beauveria bassiana*.
- Seleccionar semilla sana, sea de tipo minirraíces o tallos (Landa, 2018).

- Desinfectar la semilla con insecticida durante 10 a 15 minutos.
- Eliminar los hospederos con un adecuado control de arvenses, dentro y en los alrededores de los lotes de producción.
- Realizar buenas prácticas de cosecha: colectar todo el material cosechado con la mayor prontitud.
- En última instancia, aplicar insecticidas químicos, teniendo la precaución de no afectar en gran medida a artrópodos benéficos.
- Aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado.

Diplópodos

Conocidos como milpiés, se encuentran en mayores poblaciones en la época húmeda.

Daños: generan orificios en las raíces tuberosas de la batata (figura 11.12), lo cual ocasiona la pérdida de la calidad comercial.



Figura 11.12.
Daños realizados por milpiés. a. Milpiés asociado a daños en raíces de batata; b. Orificios en batata realizados por milpiés.

Fotos: Rosero Alpala et al. (2019)

Vertebrados plagas que afectan el cultivo de batata

Ratones (*Mus musculus*)

En los cultivos de batata se evidenciaron daños causados por ratones, los cuales llegan a los lotes, escarban las raíces tuberosas y la consumen (figura 11.13), en especial las raíces que quedan muy superficiales.



Figura 11.13.

Daños en raíces tuberosas de batata. a. Raíz tuberosa en campo dañada por ratones; b. Raíz tuberosa cosechada con daños por alimentación de ratones.

Fotos: Laura Espitia Negrete

Plagas potenciales reportadas en el mundo que causan daños en el cultivo de batata

Considerando la creciente demanda de batata y el incremento en las áreas de cultivo, es importante tener conocimiento sobre otro tipo de plagas que puedan afectar el cultivo, para así generar estrategias de control anticipadas que permitan mitigar su presencia. A continuación, se describen algunas de las principales plagas del cultivo de batata que

han sido reportadas en otros países, así como los métodos de manejo recomendados.

En India se han reportado más de veinte especies asociadas a *Ipomoea* (Bhatia et al., 2007), así como una gran variedad de crisomélidos y lepidópteras. En Cuba, *Cylas formicarius* F. y *Typophorus nigritus* F. son considerados los insectos plagas de mayor importancia económica, ya que afectan directamente la raíz tuberosa (Castellón et al., 2015). Por su parte, Macías et al. (2010) reportaron en Ecuador que las principales especies de plagas están asociadas a los géneros *Omophoita* sp., *Empoasca* sp., *Atta* sp., *Frankliniella* sp., *Dysdercus* sp., *Hedylepta* sp., *Aphis* sp. y *Tetranychus* sp. Además, indicaron que los comedores de hojas presentaron un alto porcentaje de daño sobre los materiales evaluados. Esta investigación concuerda con el trabajo anterior respecto al género *Tetranychus* sp., que presentó mayor importancia y presencia.

En Kenia, Nderitu et al. (2009) encontraron más de cincuenta especies de insectos asociados a seis órdenes que afectaron diferentes etapas de desarrollo en el cultivo de batata. En particular, los autores identificaron que nueve especies de plagas fueron las más importantes.

En Colombia no se han realizado reportes de nematodos en batata, a diferencia de países como Venezuela y Portugal, donde se ha encontrado afectación por agalladuras en las raíces (Pilco et al., 2011). A continuación, se describen las principales plagas reportadas en el mundo.

Negrito de la batata o crisomélido del boniato

Nombre científico: *Typophorus nigritus*
Órgano de la planta que afecta: Raíz

Países que han reportado presencia: Argentina, Brasil, Costa Rica, Colombia, Cuba, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Guadalupe, México, Trinidad y Tobago, República Dominicana y Venezuela.

Métodos de control:

- Al tratarse de una especie de insecto del suelo, la primera acción preventiva para desfavorecer sus poblaciones es preparar de forma

adecuada el suelo, garantizando la exposición al sol y otros agentes bióticos de individuos en diferentes estados de desarrollo.

- Usar trampas de feromonas sexuales con insecticidas, principalmente para medir las poblaciones y tomar decisiones sobre las acciones de control.
- Es recomendable emplear materiales genéticos tolerantes y de ciclos cortos.
- Aplicar control biológico con agentes entomopatógenos como *Beauveria bassiana* o *Metarhizium anisopliae*, preferiblemente de manera preventiva.
- Otra alternativa de control biológico es utilizar insectos predadores, como hormigas de la especie *Tetramorium guineense.* Desde este concepto se resalta también la importancia de hacer un uso adecuado de plaguicidas químicos para proteger las especies benéficas como esta y otras más.
- Las inoculaciones con nematodos entomopatógenos también son consideradas como favorables para controlar las poblaciones del insecto y sus respectivos daños a las raíces comerciales.
- Usar material de siembra seleccionado con óptimas condiciones de sanidad.
- Desinfectar o inmunizar la semilla. Esta alternativa contempla también la inoculación con agentes fitopatógenos.
- Eliminar hospederos con un adecuado control de arvenses, dentro y en los alrededores de los lotes de producción.
- Manejar de forma óptima el riego para promover que las grietas en el suelo se cierren y desfavorecer las poblaciones del insecto entre los 80 y 90 días. De esta manera es posible reducir el acceso directo de los insectos hasta las raíces tuberosas.
- Realizar buenas prácticas de cosecha: hacerlo en la edad oportuna y colectar todo el material cosechado con la mayor prontitud.
- Emplear la rotación de cultivos para facilitar la interrupción de ciclo de vida de los individuos de la especie, en la medida en que también se eliminan sus hospederos.

- En última instancia, aplicar insecticidas químicos, con la precaución de no afectar en gran medida a artrópodos benéficos.
- Se recomienda aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado.

Picudo de la raíz, picudo del boniato o gorgojo de la raíz

Nombre científico: *Diaprepes* spp.
Órgano de la planta que afecta: Raíz
Países que han reportado presencia: Costa Rica, Cuba, Estados Unidos, Jamaica, República Dominicana e islas del Caribe (Naturalista Colombia, s. f.)

Métodos de manejo:

- Muestrear o monitorear un total de veinte plantas, seleccionándolas de los bordes e interior del lote, de forma sistemática en esquema 2 × 2 (una planta sí y una planta no) o 3 × 3 (una planta sí y dos plantas no) (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México, 2012).
- Realizar un buen manejo de otras prácticas de cultivo: preparar de forma adecuada el suelo, garantizando la exposición al sol y a otros agentes bióticos de individuos en diferentes estados de desarrollo.
- Hacer un óptimo manejo del riego para promover el cierre de las grietas en el suelo y desfavorecer las poblaciones del insecto entre los 80 y 90 días. De esta manera se reduce el acceso directo de los insectos hasta las raíces tuberosas.
- Es recomendable emplear materiales genéticos tolerantes y de ciclos cortos.
- Rotar los cultivos para facilitar la interrupción del ciclo de vida de los individuos de la especie y eliminar sus hospederos.
- Implementar cultivos de cobertura con leguminosas como gandul (*Cajanus cajan*) y del género *Gliricidia* que funcionan también como cultivos trampa para individuos adultos de la plaga.
- Hacer controles biológicos en sus diferentes tipos de actores: depredadores, nematodos y microorganismos entomopatógenos, y parasitoides.

- Emplear depredadores, como las hormigas de los géneros *Monomorium* y *Crematogaster*, algunas especies de arañas que consumen huevos del picudo, ácaros depredadores de las larvas y el chinche *Euthyrhynchus floridanus*, que se alimenta de los adultos.
- Usar parasitoides de huevos: *Quadrastichus haitiensis* (Gahan) y *Aprostocetus vaquitarum* (Wolcott) (Hymenoptera: Eulophidae).
- Aplicar entomopatógenos: grupo en los que se encuentran los nematodos *Heterorhabditis indica*, *Heterorhabditis bacteriophora* y *Steinernema riobravis*, los cuales controlan las larvas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México, 2012).
- El hongo *Isaria fumosorosea* puede ser una estrategia eficiente para manejar poblaciones de adultos de esta plaga.
- En última instancia, aplicar insecticidas químicos, con la precaución de no afectar en gran medida a artrópodos benéficos. Además de las moléculas químicas convencionales aplicables por vía foliar, una alternativa puntual es aplicar moléculas como Diflubenzuron en mezcla con aceite para disolver la sustancia que usa este insecto para pegar las hojas cuando deposita los huevos, lo cual ayuda a evitar que eclosionen.
- Se recomienda aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado.

Gallina ciega o gusano blanco

Nombre científico: *Phyllophaga* spp.
Parte de la planta que afecta: Raíz
Países que han reportado presencia: Cuba

Métodos de manejo:

- Muestrear o monitorear para conocer la incidencia y severidad de la plaga, de manera que se puedan establecer estrategias de manejo preventivo. El monitoreo se hace para los individuos adultos, principalmente con trampas de luz negra fluorescente, y en el suelo para las larvas. Otra alternativa puede ser construir una trampa de agua, con plátano macerado como atrayente, levadura y detergente, la cual

debe ser revisada con frecuencia semanal. Por su parte, las trampas de suelos consisten en inspeccionar un cuadrante de 1 m^2 a 25 cm de profundidad cada 15 días a partir de la siembra, teniendo en cuenta que su intensidad dependerá de la extensión del terreno y sus características de uniformidad (2 a 4 muestreos/5 ha). El momento oportuno para realizar el monitoreo de adultos y de suelo es el inicio de la temporada de lluvias, ya que es cuando eclosionan las pupas de la plaga.

- Hacer control biológico, para lo cual se pueden usar como alternativa hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, bacterias como *Bacillus popilliae* y el nematodo *Heterorhabditis bacteriophora*, que controlan las larvas de gallina ciega, en primer instar (Jiménez & Del Pozo, 2010). Antes de emplear productos comerciales de estos entomopatógenos, se deben realizar pruebas de campo para evaluar su capacidad infectiva en la plaga (Intagri, s. f.).
- Realice labores de manejo agronómico, como el barbecho y la preparación del suelo para exponer las larvas de gallina ciega a los rayos solares y los depredadores. Se recomienda hacer esto inmediatamente después de que se haya cosechado el cultivo. También se sugiere aplicar materia orgánica al suelo, pues esto contribuye a aumentar la biodiversidad y los enemigos naturales de la plaga (Intagri, s. f.).
- En última instancia, se recomienda optar por la alternativa de control químico, de manera preventiva y correctiva, respectivamente, con tratamiento de material de siembra con insecticidas, con duración aproximada de 15 a 20 días. La acción de esta medida debe ser complementada aplicando insecticidas al suelo, mediante sistema de riego para lograr un alcance a mayor profundidad y combatir las larvas de gallina ciega gracias a su solubilidad (Intagri, s. f.).
- Se recomienda aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado.

Hormiga arriera

Nombre científico: *Atta* sp. (figura 11.14)
Parte de la planta que afecta: Hojas
Países donde se ha reportado presencia: Ecuador

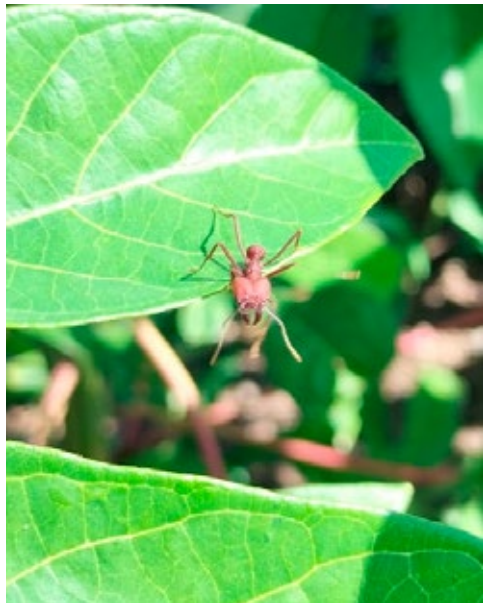


Figura 11.14.
Ejemplo de ataque de hormiga arriera.

Foto: Tatiana Sánchez Doria

Métodos de manejo: Se debe prevenir la formación de nuevos hormigueros, erradicar la reina y las hormigas obreras, lo cual se puede hacer con varias alternativas:

- Hacer control cultural, que consiste en reducir las poblaciones enfocándose en disminuir su capacidad de construir nuevos hormigueros, principalmente, al inicio de las lluvias, para lo cual se debe encontrar a la reina y eliminarla. Es importante tener en cuenta que los sitios se pueden reconocer mejor en lotes que hayan sido previamente limpiados, antes del período de lluvias, y si se consigue ver a machos alados muertos sobre el suelo después del vuelo nupcial (Corporación Ama, s. f.).
- Realizar controles alelopáticos y de tipo biológico. Esto implica usar especies vegetales que contienen diferentes compuestos químicos, como la higuerilla (*Ricinus communis*), ajonjolí (*Sesamum indicum*) y fríjol canavalia (*Canavalia ensiformis*), cuyas hojas son llevadas por las hormigas hasta el hongo (*Leucocoprinus gongylophorus*) y, una vez allí, producen una reacción química que causa intoxicación e inanición en el hormiguero (Corporación Ama, s. f.).
- Implementar controles físico-mecánicos, los cuales consisten en destruir los hormigueros utilizando palas, picas, sondas o combustibles para encontrar la reina y matarla. Hay que tener en cuenta que los hormigueros viejos pueden tener con frecuencia hasta tres o cuatro metros de profundidad, con muchas cámaras, bocas y respiraderos. Una

forma física eficiente para eliminar los hormigueros pequeños y medianos es insuflar cal agrícola molida para cambiar el pH y matar el hongo (Corporación Ama, s. f.).

- Realizar control biológico, es decir, usar predadores, parásitos y microorganismos patogénicos, especialmente durante el vuelo nupcial (Corporación Ama, s. f.).
- Aplicar cebos, con avena y jugo de naranja, de hongos como *Beauveria, Metarhizium*, *Trichoderma* y *Penicillium*, que son efectivos para reducir la actividad de las hormigas hasta por siete semanas a niveles mínimos de daño (Corporación Ama, s. f.).
- Emplear cebos vegetales con hojas pulverizadas de *Clibadium asperum*, *Phyllanthus acuminatus* y *Tithonia diversifolia*, que tienen efectos de hasta ocho semanas. Se deben colocar a unos veinte centímetros de las bocas activas sobre hojas secas y a un lado de los caminos. Los efectos se observan quince días después de su aplicación, la cual se debe repetir entre cinco a seis semanas después. Además, plantas como la ruda, la caléndula, el ajenjo, la ortiga y otras producen olores fuertes que repelen a las hormigas (Corporación Ama, s. f.).
- Por su impacto negativo en el medioambiente, las alternativas químicas solo se deben emplear en últimas instancias. Una alternativa es aplicar con bomba insufladora dentro del hormiguero ingredientes activos de acción por contacto con las hormigas.
- Inyectar gas tóxico con termonebulizador dentro de los hormigueros (Corporación Ama, s. f.).
- Se recomienda aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado (Corporación Ama, s. f.).

Otros coleópteros

Nombre científico: *Systates pollinosus*
Parte de la planta que afecta: Hojas
País que reporta presencia: Kenia
Nombre científico: *Blosyrus* sp.
Parte de la planta que afecta: Raíz
Países que han reportado presencia: Kenia, Mozambique, Uganda y Zimbabue

Nematodo del nudo

Nombre científico: *Meloidogyne javanica*
Parte de la planta que afecta: Raíz

Países que han reportado presencia: Venezuela, Portugal y Argentina (Meleita et al., 2022)

Métodos de manejo: Hay diversas alternativas de control del nematodo de nudo de la batata desde la prevención:

- Gestionar de forma activa la biología del suelo utilizando prácticas de labranza mínima, compost, estiércol animal, abonos verdes, cultivos de cobertura y rotaciones de cultivos. Estas prácticas ayudan a promover el crecimiento de organismos beneficiosos, al tiempo que suprimen otros parásitos de las plantas. Ciertos organismos que están asociados con suelos de cultivo bien manejado, por ejemplo las rizobacterias y las micorrizas, pueden inducir resistencia sistémica del huésped a los nematodos y a algunas enfermedades foliares.
- Emplear algunas fuentes de materia orgánica que se sabe son supresoras de nematodos, las cuales incluyen tortas de aceite, aserrín, bagazo de caña de azúcar, harina de huesos, harina de cuerno, compost y ciertos abonos verdes.
- Rotar los cultivos a menudo es una práctica adecuada para evitar que las poblaciones de nematodos alcancen niveles importantes de daño económico. Sin embargo, es necesario identificar las especies de nematodos para saber qué plantas son huéspedes y cuáles no lo son (Guerena, 2006).
- Emplear algunos de los patógenos microbianos que han sido desarrollados en formulaciones comerciales para controlar los nematodos, como la bacteria *Pasteuria penetrans* (*Bacillus penetrans*), *Bacillus thuringiensis* y *Burkholderia cepacia*; hongos nematicidas como *Trichoderma harzianum*, *Hirsutella rhossiliensis*, *Hirsutella minnesotensis, Verticillium chlamydosporium, Arthrobotrys dactyloides y Paceilomyces lilacinus* y *Myrothecium verrucaria*, que resultó ser altamente efectivo en el control de nematodos. Hay también nematodos entomopatógenos, como *Steinernema riobravis*, que puede proporcionar un control de nematodos de nudo de raíz comparable al logrado con nematicidas químicos. Existen también ácaros depredadores como *Hypoaspis miles*. Claramente, esta amplia gama de organismos ejerce control sobre las poblaciones de nematodos más efectivamente en suelos sanos y bien manejados.

- Se debe tener en cuenta que los métodos de control químico implican el uso de nematicidas comerciales y que se deben emplear solo cuando se consideren amenazantes para la producción comercial.
- Se recomienda aplicar cualquiera de estas medidas de control con la asesoría de un asistente técnico agrícola calificado.

Métodos para evaluar la presencia y daños de plagas en el cultivo de batata

El constante monitoreo en cultivos permite identificar las características de los daños, que pueden ser categorizados en los siguientes grupos de agentes causales potenciales:

- **Daño de comedores de follaje (CF):** grupo en que se destacan coleópteros crisomélidos, como la especie *Agroiconota propinqua* (Rosero et al., 2019), y el coleóptero Polyphaga *Epitrix* spp.
- **Daño de raspadores de hojas (RH):** generado por insectos lepidópteros Noctuidae en estado larval, como los *Spodoptera* sp. (Rosero et al., 2019).
- **Daño de chupadores, perforadores y minadores (CPM):** causado por el ácaro de la familia Tetranychidae, *Tetranychus urticae*, y por minadores de hojas, posiblemente dípteros de la familia Agromyzidae, como *Agromyza jucunda*.

Para determinar los porcentajes de incidencia, existen diferentes metodologías. Aquí se presenta un ejemplo del trabajo realizado en batata a través del seguimiento con fotografías de las hojas afectadas. Las imágenes se procesaron en el *software* Fiji (ImageJ) hasta obtener una imagen monocromática (figura 11.15) a partir de la cual, mediante conteo de pixeles, el programa cuantificó la diferencia entre el área foliar completa de las hojas (si estas no sufrieran daño) y el área foliar perdida consumida por los insectos. El cálculo de porcentaje de daño se realizó para la totalidad de daños causados por los insectos plaga sin individualizar cada tipo de daño.

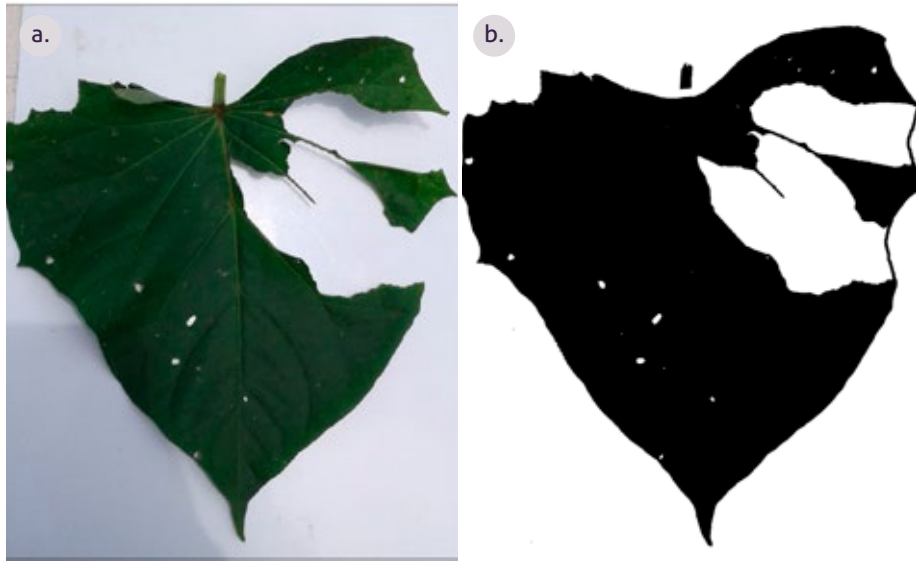


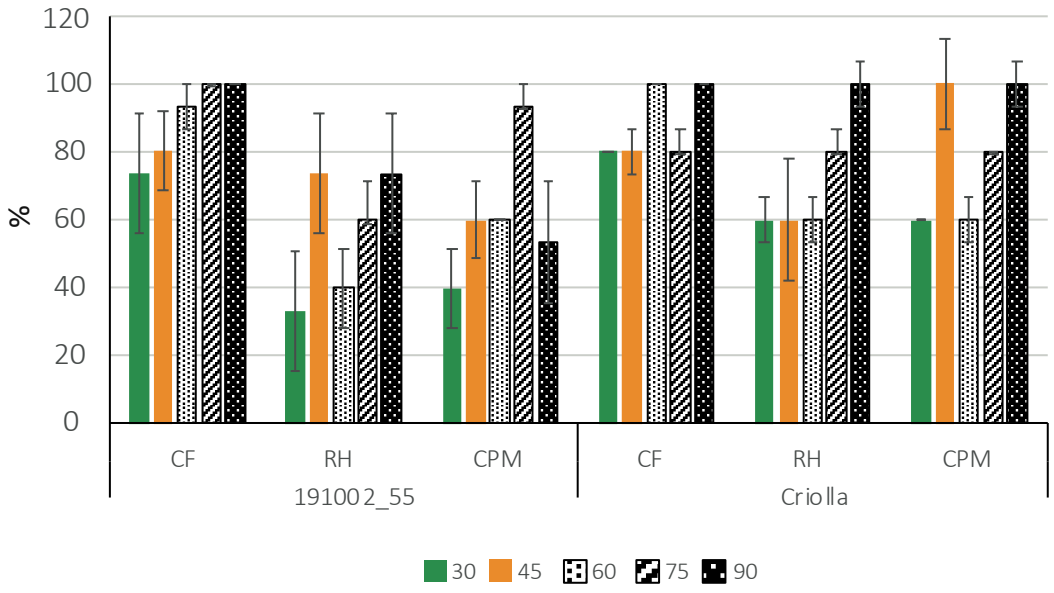
Figura 11.15.

Edición de imágenes con el software Fiji (ImageJ) para calcular el porcentaje de daño mediante contraste de áreas dañadas y áreas sanas. a. Fotografía original; b. Imagen procesada.

Fotos: Remberto Martínez

Los resultados indican que, para el genotipo Criolla (testigo), las incidencias fueron superiores al 60 % a lo largo del ciclo. Se presentaron todos los tipos de daños descritos anteriormente. Además, al finalizar el cultivo se observó una incidencia sobre la lámina foliar del 100 %, a diferencia del genotipo CIP191002-55, que solo presentó dos tipos de daños, con incidencia menor al 60 % (figura 11.16).

Los comedores de follaje ocasionaron agujeros en las hojas genotipo (figura 11.17). Para el genotipo Criolla, la incidencia fue igual o superior al 80 % y alcanzó la máxima incidencia (100 %) a los 60 y 90 DDS, mientras para el genotipo CIP191002-55 se observa que la incidencia es superior al 70 % y presenta una tendencia de incremento exponencial. La reducción del área foliar ocasionada por estos insectos puede causar descenso del rendimiento.



CF: comedores de follaje; RH: raspadores de hojas; CPM: chupadores, perforadores y minadores.

Figura 11.16.

Incidencia de daños causados por plagas asociadas al follaje de batata genotipo CIP191002-55 y testigo Criolla, a lo largo del ciclo de cultivo. Las barras indican el error estándar para cada una de las mediciones 30, 45, 60, 75 y 90 días después de siembra (DDS).

Fuente: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos



Figura 11.17.

Comedores de follaje. a. Daños causados por comedores de follaje a CIP191002-55; b. Insecto *Diabrotica* spp.

Fotos: Remberto Martínez

En los daños causados por los raspadores de hojas, se observó una apariencia translúcida de la lámina foliar, característica clásica de daños de ventana (figura 11.18). Los niveles de incidencia promedio en el genotipo CIP191002-55 en el ciclo de cultivo fueron inferiores al 75 %, y se observaron incidencias por debajo del 40 % a los 30 y 60 DDS. Para el genotipo Criolla, inicialmente la incidencia de este tipo de plagas fue igual al 60 % y posteriormente alcanzó incidencias del 80 % y el 100 % a los 75 y 90 DDS, respectivamente. En general, estos insectos pueden afectar estados tempranos del desarrollo, pero tienen mayor impacto en el periodo final del cultivo.



Figura 11.18.

Daño causado por raspadores en batata. En la superficie de la hoja se observan deposiciones fecales de *Spodoptera* spp., principal insecto asociado a este tipo de daño.

Foto: Remberto Martínez

También se encontró clorosis o amarillamiento en la lámina foliar, lesiones características de los chupadores (figura 11.19). Asimismo, se observaron daños en forma de túneles transparentes en la lámina foliar, que corresponden a lesiones causadas por los perforadores y minadores. En el genotipo CIP191002-55, se observaron incidencias inferiores al 60 % en el ciclo del cultivo, a excepción de los 75 DDS, cuando se apreció una

incidencia máxima, cercana al 90 %; mientras que para el genotipo Criolla, la incidencia fue superior al 80 % a los 45, 75 y 90 DDS.

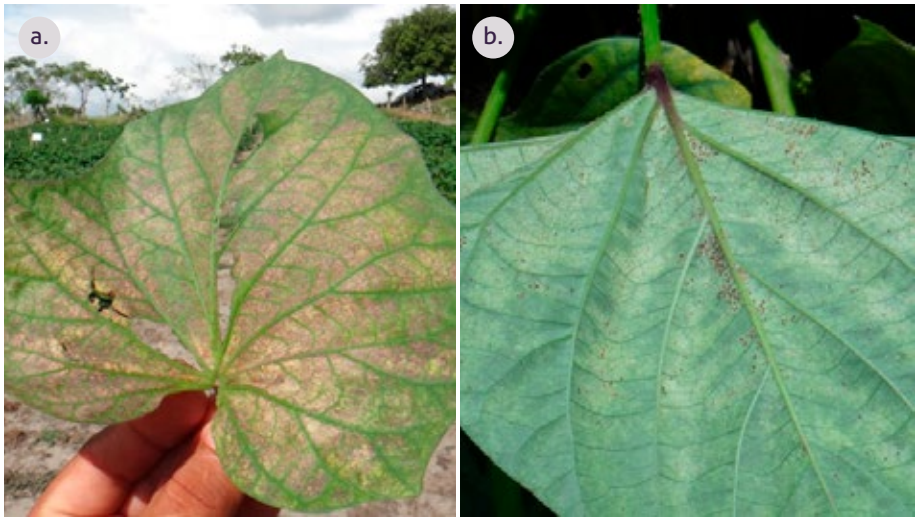


Figura 11.19.

Presencia y daños causados por chupadores. a. Afectación en el haz de las hojas por *Tetranychus urticae*; b. Insectos de *Tetranychus urticae* en el envés de las hojas.

Fotos: Remberto Martínez

A pesar de que se encontraron valores de incidencia altos, los resultados de determinar el porcentaje de daño indican que, a lo largo del ciclo del cultivo, el porcentaje de daño causado por los insectos comedores de follaje no superó el 15 %: para el genotipo CIP191002-55, a los 30, 60 y 75 DDS, hubo valores inferiores al 3 %. Los valores superiores observados se dieron en un porcentaje de daño del 10 % a los 90 DDS, seguidos del 7 % a los 45 DDS, los cuales no mostraron afectaciones sobre el rendimiento (figura 11.20).

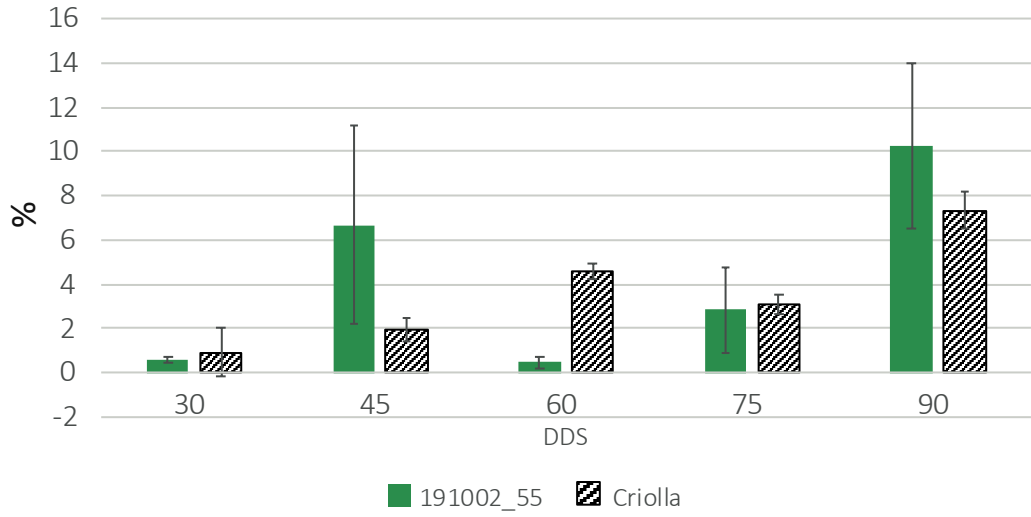


Figura 11.20.

Porcentaje de daño ocasionado por plagas en el follaje de batata genotipo CIP191002-55 y testigo Criolla a lo largo del ciclo de cultivo. Las barras indican el error estándar para cada una de las mediciones.

Fuente: Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

En general, estas estrategias de monitoreo permiten generar esquemas de control cuando los daños alcanzan niveles que afecten el crecimiento y el desarrollo de la planta, y, en consecuencia, el rendimiento.

Recomendaciones de manejo

Como se mencionó en apartados anteriores, existen varias estrategias de manejo integrado de las plagas que afectan el cultivo de batata, las cuales se pueden sintetizar en los siguientes aspectos:

1. Hacer control preventivo y controles biológicos. De ser posible, se recomienda usar variedades con resistencia a plagas de importancia y acompañar su cultivo con prácticas culturales que permitan reducir las poblaciones de plagas.
2. Identificar las plagas que pueden afectar el cultivo de la batata y los posibles controladores biológicos.

3. Realizar monitoreos durante el desarrollo del ciclo del cultivo para poder tomar decisiones acertadas cuando se deba controlar la plaga.
4. De ser necesario, acudir al empleo de insecticidas químicos de baja toxicidad. Tenga en cuenta que la función de este plan es ahorrar dinero y evitar que la cosecha se pierda debido a la incidencia de los insectos plaga.

Garantizar, en términos sanitarios y de vigor, una adecuada fuente de producción de material de siembra, sano y libre de plagas. Con el fin de mitigar el porcentaje de daño de plagas comedoras de follaje, se recomienda realizar aplicaciones preventivas de insecticidas cuando las poblaciones están alcanzando niveles perjudiciales para el cultivo.

Referencias

Bhatia, S., Mehmood, I., & Singh, M. (2007). Insects associated with Ipomea carnea Jacq. (Convolvulaceae) in Jammu and their potential for its biological control. *Journal of Crop and Weed*, 3(2), 56-58. https://www.cropandweed.com/vol3issue2/14.1.html

Castellón, M., García, Y., & Fuentes, H. (2012). Aspectos de la biología de Typophorus nigritus F. (Coleoptera: Chrysomelidae) en el boniato (Ipomoea batatas (L.) Lam.). *Revista Centro Agrícola, 39*(1), 33-40. https://tinyurl.com/ysnvc5v4

Castellón, M. del C., García, Y., Rojas, X., & Cartaya, G. (2015). Recognition of pest organisms in sweet potato (Ipomoea batatas (L.) Lam) tuberous roots. *Rev. Agricultura Tropical, 1*(1), 66-69.

Corporación Ama. (s. f.). *Control biológico y otros aspectos importantes para el control de la hormiga arriera*. https://corporacionama.com/aspectos-importantes-para-el-control-de-la-hormiga-arriera/

Folgueras, M., Castellón, M., & Morales, L. (2020). *Manual práctico de manejo integrado de plagas en raíces, rizomas y tubérculos tropicales, plátanos y bananos*. Inivit. https://www.undp.org/es/cuba/publicaciones/manual-practico-de-manejo-integrado-de-plagas-en-raices-rizomas-y-tuberculos-tropicales-platanos-y-bananos

GBIF. (s. f.). *Typophorus nigritus (Fabricius, 1801).* https://www.gbif.org/es/species/1049019/metrics

Guerena, M. (2006). USA. *Nematodes: Alternative controls*. https://attra.ncat.org/publication/nematodes-alternative-controls/

Intagri. (s. f.). *Manejo integrado de la gallina ciega*. https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-la-gallina-ciega

Jiménez, L. C., & Del Pozo, E. (2010). Patogenicidad, virulencia y potencial reproductivo de *Heterorhabditis bacteriophora* (CEPA HC1) sobre *Cylas formicarius* var. *elegantulus* (Summers). *Revista de Protección Vegetal*, *25*(2), 113-118. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522010000200007

Landa, V. (2018). Aportes para el control integrado del piogán de la batata (*Cylas formicarius elegantulus* Summers) en San Juan de La Maguana. *Revista Agropecuaria y Forestal*, *7*(2), 7-16. https://www.sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/84

Macías Figueroa, C. M., Cobeña Ruíz, G. A., Álvarez Plúa, H. A., Castro Luzardo, L. E., & Cárdenas Guillén, F. M. (2011). Caracterización agronómica de germoplasma de camote (Ipomoea batatas L.) en Manabí. *Revista Espamciencia*, *2*(2), 37-43. https://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/44

Maleita, C., Santos, D., Abrantes, I., & Esteves, I. (2022). First report of root knot nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* parasitizing sweet potato, *Ipomoea batatas*, in Portugal. *Plant Disease, 106*(9), 2536. https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2680-PDN

Naturalista Colombia. (s. f.). *Género Diaprepes*. https://colombia.inaturalist.org/taxa/132095-Diaprepes

Nderitu, J., Sila, M., Nyamasyo, G., & Kasina, M. (2009). Insect species associated with sweet potatoes (Ipomoea batatas (L.) Lam) in Eastern Kenya. *Crop Prod*., 4(1), 14-18. https://www.researchgate.net/publication/242322162_Insect_species_associated_with_sweet_potatoes_Ipomoea_batatas_L_Lam_in_Eastern_Kenya

Pilco, G. D., Crozzoli, R., & Perichi, G. (2011). Reacción de selecciones de batata al nematodo agallador Meloidogyne javanica. *Fitopatol. Venez*., *24*(2), 52-55. https://tinyurl.com/bddu28by

Rosero Alpala, E. A., Pastrana Vargas, I. J., García Peña, J. A., Espitia Montes, A. A., Sierra Naranjo, C. M., Sierra Monroy, J. A., Martínez Botello, D. H., Santana Rodríguez, M. O., Pérez Gamero, J. L, Regino Hernández, S. M., Espitia Negrete, L. B, Araújo Vásquez, H. A., Martínez Figueroa, R. R., & García Herazo, J. L. (2019). *Agrosavia Aurora: Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403107

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México. (2012). *Picudo de la raíz Diaprepes abbreviatus Linneus, 1758: ficha técnica N.º 71*. https://tinyurl.com/u8ua9jfu

CAPÍTULO 12.

Enfermedades en batata y su manejo integrado

ROCÍO MARGARITA GÁMEZ CARRILLO, JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS Y ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA

Un cultivo expresa un alto rendimiento y calidad gracias a su potencial genético y la armonía de diferentes aspectos que permiten la generación de condiciones favorables. Sin embargo, ya sea por la influencia de factores ambientales, presencia de inóculo y susceptibilidad del genotipo cultivado, los cultivos se enfrentan a enfermedades que pueden afectar diferentes órganos de la planta, así como directamente el producto principal. En batata, se han identificado diversas enfermedades que disminuyen el rendimiento. Este capítulo describe las principales enfermedades que se han identificado en Colombia, pero también incluye una revisión sobre las potenciales enfermedades que han sido descritas en el mundo y que generan un riesgo latente en todo cultivo.

Enfermedades detectadas en Colombia

Hasta el momento, en los cultivos comerciales de batata se han encontrado enfermedades potenciales que se evidencian como alteraciones fitosanitarias causadas por *Fusarium* sp. (figura 12.1) y *Pseudomonas solanacearum* (figura 12.2), fitopatógenos que producen taponamientos del sistema vascular y deterioro del follaje hasta causar la muerte de la planta (Ames et al., 1997). Estos patógenos disminuyen la capacidad fotosintética de la planta, de manera que afectan la acumulación de sustancias de reserva en las raíces tuberosas hasta causar la muerte generalizada de la planta.



Figura 12.1.

Daño por *Fusarium* sp. en sistema vascular de batata. a. Afectación en tallos secundarios; b. Afectación en tallo principal.

Fotos: Rosero et al. (2019)

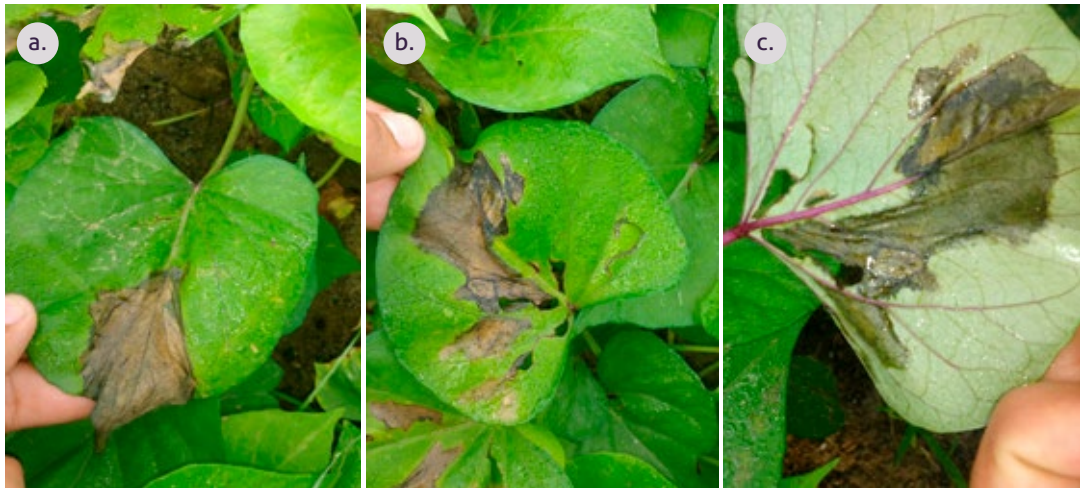
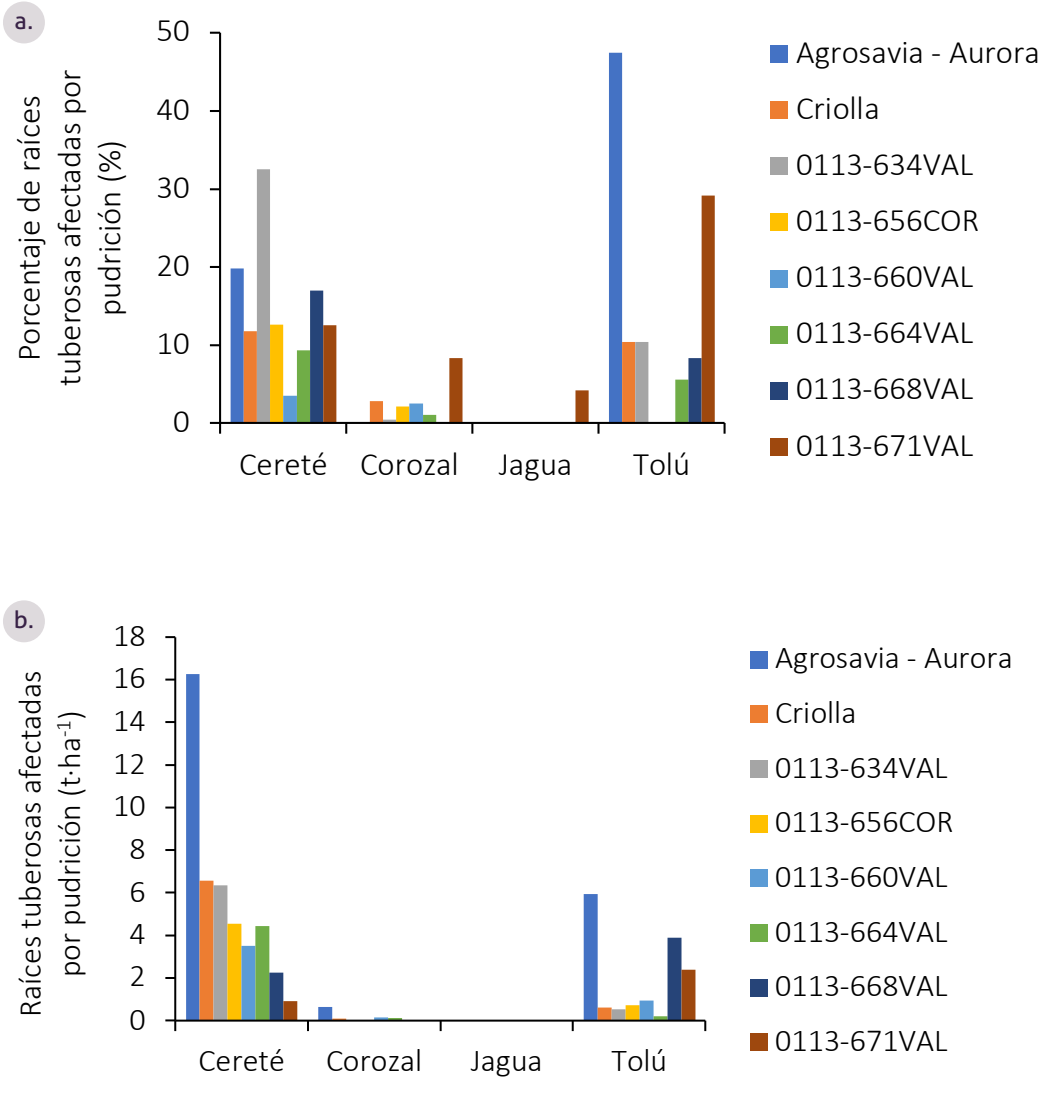


Figura 12.2.

Daño por *Pseudomonas* sp. en batata que reduce el área foliar y afecta la capacidad fotosintética de la planta. a. Afectación en el borde de la hoja; b. Afectación en la zona intermedia, incluyendo nervadura central; c. Afectación en el envés de la hoja .

Fotos: Rosero et al. (2019)

El análisis de las diferentes afectaciones de estos fitopatógenos se realizó en diferentes genotipos, incluyendo la variedad Agrosavia Aurora, en las condiciones del Caribe colombiano. Los resultados mostraron que los principales daños en todos los genotipos, aunque en diferentes niveles, se presentaron por pudrición de las raíces, lo cual impactó tanto el porcentaje de afectación como las toneladas por hectárea. También se identificaron hongos y bacterias que deterioraron el área foliar de algunos genotipos, lo cual se debe a que la susceptibilidad es diferente en cada caso (figura 12.3).



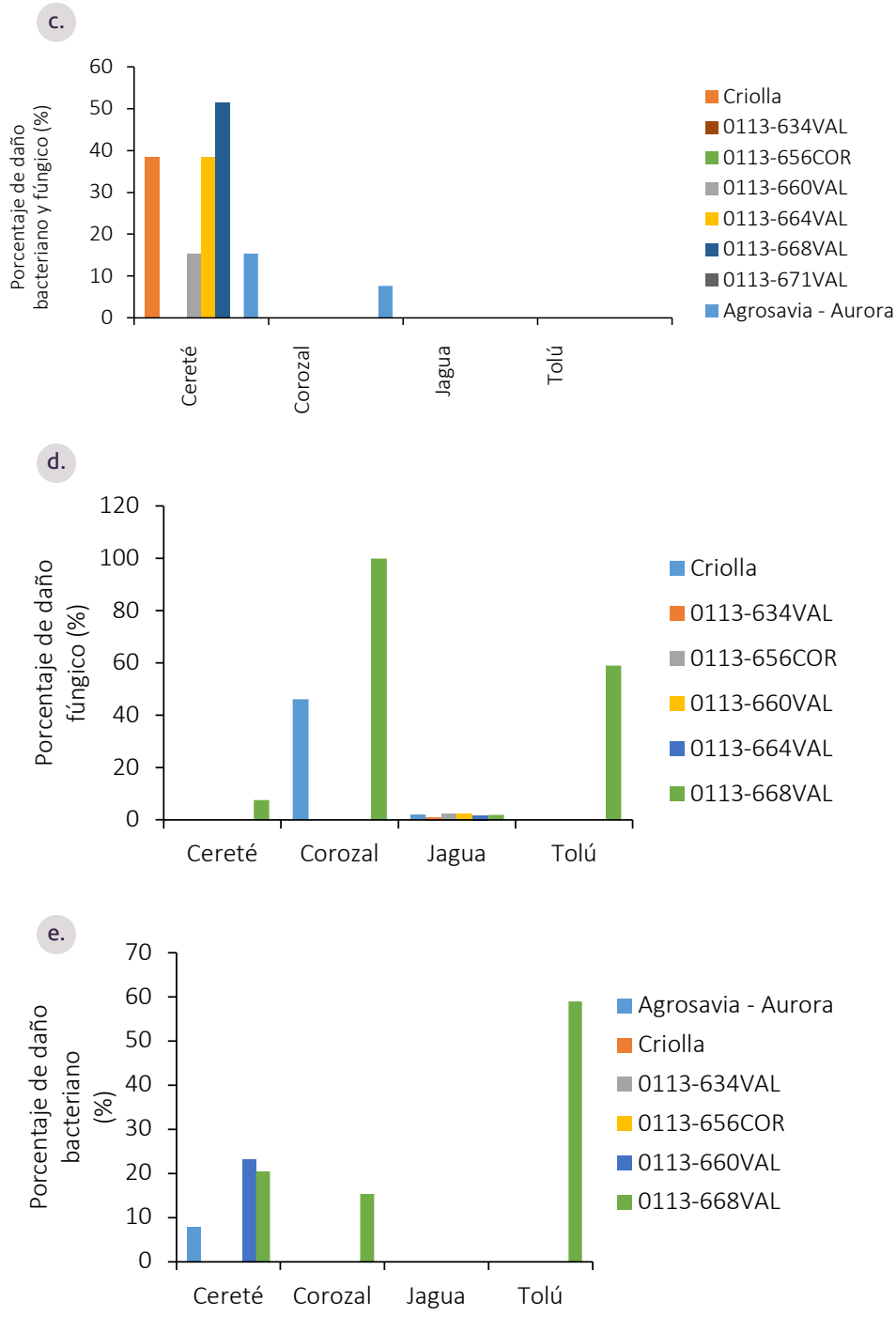


Figura 12.3.

Afectación de enfermedades causadas por bacterias y hongos en batata.
a. Porcentaje de raíces tuberosas afectadas por pudrición; b. Raíces tuberosas afectadas por pudrición; c. Porcentaje del daño causado por bacteria; d. Porcentaje del daño causado por hongos; e. Porcentaje de daño causado por bacterias y hongos.

Fuente: Pérez-Pazos et al. (2023)

En general, estos resultados muestran la alta frecuencia de la afectación por pudrición, pues muestran que los patógenos del suelo pueden afectar al cultivo de la batata cuando las condiciones ambientales favorecen su multiplicación. Una de las prácticas recomendadas para evitar este tipo de daño es el uso de factores protectores al momento de la siembra, así como también el uso de semilla de calidad. Otros esfuerzos en investigación también están relacionados con la búsqueda de alternativas sostenibles, ya sea a través de la inclusión de productos biológicos o mediante resistencia varietal. Sin embargo, estas enfermedades encontradas en Colombia corresponden a leves limitantes fitosanitarias y a un sistema productivo en crecimiento. En el mundo, sin embargo, existen reportes de enfermedades devastadoras, que, por ser un riesgo potencial, se discuten a continuación.

Principales enfermedades causadas por hongos y bacterias en el cultivo de batata reportadas en el mundo

Las enfermedades de origen fúngico o bacteriano que afectan al cultivo se generan en las distintas etapas de su ciclo de producción y acopio. Por esta razón, la sanidad de las raíces que se utilizan como material de propagación es un requerimiento importante y debe garantizarse en los procesos productivos para minimizar los riesgos de enfermedades en el cultivo. Con el fin de presentar un panorama general de los riesgos fitosanitarios a los que se debe enfrentar el cultivo de batata, a continuación se describen algunas de las enfermedades causadas por hongos o bacterias que han sido reportadas en el mundo.

Mancha foliar por alternaria (*Alternaria* spp.)

Uno de los principales síntomas de este hongo cosmopolita es la presencia de pequeñas manchas marrones, rodeadas por un halo amarillo o rojizo. Una característica importante es que el centro de estas lesiones se seca y se cae, de manera que quedan los espacios irregulares sin la sección de la hoja. Aunque rara vez causa una pérdida importante en la producción de batata (Mitidieri, 2013), la alternancia de periodos secos

y húmedos durante el cultivo puede favorecer y aumentar la severidad de la enfermedad. El hongo *Alternaria* spp. crece y puede diseminarse en el resto del cultivo a temperaturas cercanas a los 27 °C, mientras que sus esporas pueden propagarse por el agua, las lluvias y el viento, manteniéndose durante largos periodos (Ames et al.,1997).

Podredumbre blanda bacteriana (*Erwinia* spp.)

La afección de esta bacteria en batata se caracteriza por que desarrolla unas podredumbres blandas, húmedas y viscosas, con mal olor en las raíces (figura 12.4), de manera que las plantas se marchitan y pueden morir. La severidad de la enfermedad puede variar, ya que en los estadios iniciales es posible que algunos síntomas queden solamente internos en la raíz, con pocas afectaciones visibles. El vehículo de la infección son los daños mecánicos que causan las plagas (Martí, 2018).



Figura 12.4.

Lesiones húmedas y viscosas causadas por *Erwinia* spp. en batata.

Foto: Enrique Carlos Vergara

Pudrición de la raíz (*Fusarium solani*)

La presencia de este microorganismo en las raíces se reconoce porque forma lesiones circulares con arrugas y hundimientos, las cuales devienen en anillos pardos o marrones o café claros a oscuros, de consistencia

firme y seca. Estas lesiones son de forma irregular y no se extienden más allá del anillo vascular (figura 12.5), pero el tejido adyacente puede volverse marrón y esponjoso en casos más severos de la infección (Mitidieri, 2013). En los tallos, los síntomas se presentan como lesiones color pardo oscuro a marrón o negra, las cuales comienzan en el punto de unión con la raíz y se dispersan al resto de la planta. Algunas condiciones climáticas pueden favorecer la incidencia de la enfermedad, en especial el suelo húmedo y frío o muy seco durante la cosecha, así como la alta humedad en el almacenamiento y las heridas durante la cosecha. También se ha determinado que almacenar las raíces por largo tiempo favorece la infección y la diseminación de la enfermedad (Martí, 2018).



Figura 12.5.

Lesiones generadas por *Fusarium solani.*

Foto: Enrique Vergara.

Marchitamiento (*Fusarium oxysporum f.* sp. batatas)

Este hongo ocasiona pérdidas en los almácigos, muerte de plantas y podredumbres de raíces en el cultivo y la poscosecha, además puede sobrevivir varios años en el suelo en forma de clamidospora. *Fusarium oxysporum* f. sp. batatas ocasiona la decoloración del sistema vascular y luego el amarillamiento de las hojas en las nervaduras. Luego, antes de morir, las plantas detienen el crecimiento, las hojas se vuelven cloróticas, se observa

podredumbre de la médula, oscurecimiento de los vasos, marchitamiento y caída de las hojas más viejas. Además, los tejidos vasculares de la raíz se decoloran y se rompe la corteza hasta el extremo proximal (Mitidieri, 2013) (figura 12.6). Los factores predisponentes son las temperaturas entre 28 °C y 30 °C, así como la humedad relativamente baja del suelo (< 50 %), aunque su incidencia es mayor en zonas de producción de clima frío. La enfermedad se propaga a través del material vegetal, el riego, las herramientas y los equipos infectados. Las esporas de este hongo infectan las plantas a través de heridas y aberturas (Martí, 2018).



Figura 12.6.

Marchitamiento en raíces tuberosas de batata ocasionado por *Fusarium oxysporum* f. sp. batatas.

Foto: Enrique Vergara.

Podredumbre seca (*Phomopsis phaseoli*)

Esta clase de hongo genera lesiones hundidas, secas y oscuras en las raíces reservantes. Además, produce una podredumbre de color marrón oscuro en la pulpa subyacente, la cual se expande desde la piel hacia el centro de la raíz. Las condiciones cálidas y húmedas favorecen la aparición de *Phomopsis phaseoli*, que infecta a la planta a través de heridas, a menudo en un extremo de la raíz. Se trata de un problema ocasional poscosecha que está asociado con daños durante la cosecha (Mitidieri & Bianchini, 1969).

Viruela o podredumbre de suelo (*Streptomyces ipomoeae*)

La enfermedad es causada por *Streptomyces ipomoeae*, un actinomicete que habita en el suelo y que solo ataca a la batata. Se puede identificar porque genera lesiones necróticas negras en las raíces alimentadoras, redondas, de 1 a 3 cm de diámetro, de sección transversal en forma de "V" y consistencia corchosa, que se pudren desde las puntas de las raíces. También genera lesiones hundidas en las raíces reservantes (figura 12.7), las cuales se vuelven crujientes y ennegrecidas, a veces con grietas radiantes. La infección que ocurre durante la expansión de la raíz reservante restringe el crecimiento en ese punto y, por lo tanto, deforma la raíz, mientras que en la superficie la planta se atrofia y se vuelve amarilla. La mayor parte del desarrollo de *Streptomyces ipomoeae* se produce en suelos secos (por ejemplo, arenosos) con pH neutro o alcalino (pH > 5,2). La enfermedad se propaga en el suelo y a través de materiales vegetales, y puede persistir en el suelo durante muchos años (Ames et al., 1997).



Figura 12.7.

Lesiones necróticas negras hundidas en batata, características de *Streptomyces ipomoeae.*

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Podredumbre del pie o peste negra de la batata (*Plenodomus destruens Harter*)

La "peste negra" es una de las principales enfermedades que afectan al cultivo de batata en el mundo. Las plantas infectadas muestran hojas cloróticas, marchitamiento y muerte, mientras que los brotes presentan lesiones necróticas de color negro o marrón oscuro, que se extienden algunos centímetros por encima y debajo del suelo. Por su parte, las raíces evidencian una podredumbre seca, firme y oscura en el extremo proximal, que continúa en el almacenamiento y en la que también pueden observarse picnidios (estructura hundida en forma de vasija), los cuales producen conidios que pueden infectar otras raíces en el almacenamiento (Mitidieri & Bianchini, 1969).

Enfermedades causadas por virus en el cultivo de batata reportadas en el mundo

Las virosis son las enfermedades más importantes en el cultivo de batata y ocurren en todas las regiones del mundo como consecuencia, principalmente, del intercambio de germoplasma que hubo en los siglos pasados. Además, la propagación vegetativa de la especie hace que la acumulación y la perpetuación de los virus sean las principales limitantes de la producción en cualquier zona productora (Martí, 2018; Parrella et al., 2006).

Características de las virosis de la batata

Las patologías virales son las más difíciles de manejar debido a su alta incidencia. Recientemente se ha descubierto un gran número de virus (Cipriani et al., 2001) y más de treinta agentes virales asociados a batata, asignados a nueve familias: *Bromoviridae* (1)[1], *Bunyaviridae* (1), *Caulimoviridae* (3), *Closteroviridae* (1), *Comoviridae* (1), *Flexiviridae* (1), *Geminiviridae* (15), *Luteoviridae* (1) y *Potyviridae* (9). Cabe señalar, sin embargo,

1 Entre paréntesis aparece el número de agentes asociados a cada familia.

que el estudio y la detección de los virus en batata son difíciles debido a los siguientes aspectos:

- Diferentes virus causan síntomas semejantes.
- Tienen un reducido rango de hospedantes, generalmente limitado a especies Convolvuláceas.
- Generalmente es baja la concentración de partículas virales en savia de batata, la que, además, varía según el tejido vegetal infectado, lo cual dificulta su detección.
- Son frecuentes las infecciones mixtas y, concomitantemente, las relaciones sinérgicas.
- La presencia universal del virus del moteado plumoso en batata (*sweet potato feathery mottle virus*, SPFMV) ha enmascarado frecuentemente la de otros virus de batata, en especial la de los que pertenecen al mismo grupo (*Potyvirus*), lo cual obstaculiza los esfuerzos para aislarlos e identificarlos.
- Otros virus de interés en batata son los siguientes: virus G de batata (*sweet potato virus*, GSPVG), virus C de batata (*sweet potato virus*, CSPVC), virus 2 de batata (SPV2) (Ryu et al., 1998).

Virus del moteado plumoso de la batata (SPFMV; Gen. *Potyvirus*)

El SPFMV es un miembro del género *Potyvirus* de la familia Potyviridae (Parrella et al., 2006) y es ampliamente reconocido como uno de los agentes causales más frecuentes de la enfermedad viral de la batata (*sweet potato virus disease*, SPVD). Tiene cuatro cepas y actualmente se observa en todos los continentes, excepto en la Antártida. De hecho, recientemente ha aumentado el número de lugares en donde se ha identificado, de manera que, por lo general, se supone que el virus está presente donde quiera que esté su huésped.

Específicamente, el virus se transmite de manera no persistente en las puntas de los estiletes de los pulgones cuando pican la planta de batata (Cipriani et al., 2001; Ryu et al., 1998). El síntoma más común de SPFMV es un patrón plumoso de color púrpura o violáceo en las hojas (figura 12.8).

Sin embargo, se sabe que cepas más virulentas causan incluso necrosis de raíces y clorosis de hojas, y se ha demostrado que algunas cepas producen decoloración de las raíces (Martí, 2018).



Figura **12.8.**

Moteado de color púrpura o violáceo en hojas de batata.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Virus de la atrofia clorótica de la batata (*SPCSV*; Gen. *Crinivirus*)

El virus de la atrofia clorótica de la batata (*sweet potato chlorotic stunt virus*, SPCSV) causa síntomas muy suaves, como moteados cloróticos foliares y una ligera disminución del tamaño de la planta, que se confunden con deficiencias nutricionales (figura 12.9). En infecciones mixtas con el virus de moteado plumoso, causa el síndrome conocido como "enfermedad viral de la batata" (SPVD). Esta enfermedad se caracteriza por clorosis, hojas de pequeño tamaño y deformadas, así como por una reducción muy importante en el tamaño de la planta (Karyeija et al., 2000), de manera que la producción se puede reducir hasta en 98 %. Se conoce que es transmitido por la mosca blanca, ya sea *Trialeurodes*

abutilonea (Haldeman) o *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Kreuze et al., 2002; Martí, 2018).



Figura 12.9.

Clorosis en hojas de batata en planta indicadora Nancy Hall.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Virus del enrollamiento de la hoja de batata (SPLCV, Gen. *Begomovirus*)

El virus del enrollamiento de la hoja de batata (*sweet potato leaf curl virus*, SPLCV) es uno de los más de veinte virus que se sabe que infectan la batata (Rodríguez et al., 2012; Tairo et al., 2005). Es parte de un grupo de begomovirus que infectan la batata, generalmente conocidos como *sweepovirus*. El síntoma principal de SPLCV incluye el enrollamiento de las hojas hacia arriba (figura 12.10).

El virus del enrollamiento de la hoja de batata se transmite comúnmente de un insecto a una planta a través de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Además, puede transmitirse de una planta a otra mediante propagación vegetativa, injertos o semillas. Se especula ampliamente que el manejo de la población de mosca blanca es esencial para controlar la propagación del virus entre plantas infectadas y no infectadas (Martí, 2018).

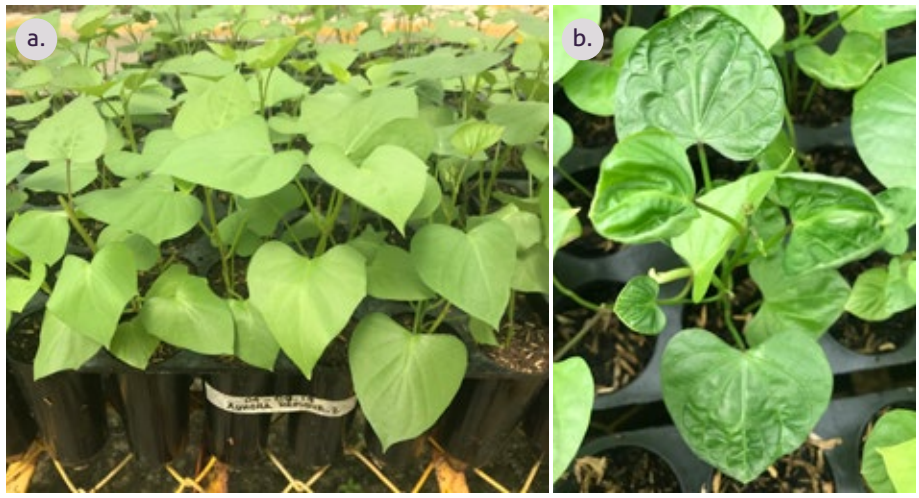


Figura 12.10.

Virus del enrollamiento de la hoja de batata. a. Plantas sanas; b. Plantas con sintomatología de enrollamiento hacia arriba de la hoja.

Fotos: Enrique Vergara

Alternativas de manejo y control

Para las enfermedades descritas es posible definir acciones preventivas en el establecimiento del cultivo, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera (Martí, 2018; Sivparsad & Gubba, 2014):

1. Usar semilla sana o selección de raíces madres en los lotes.
2. Eliminar plantas enfermas.
3. Controlar los insectos vectores de virus, como los pulgones y la mosca blanca.
4. Ante sospecha de enfermedades, además de erradicar las plantas, desinfectar los utensilios o herramientas de trabajo.
5. Rotar los cultivos.
6. Destruir los residuos de cosecha.
7. Destruir las especies silvestres.
8. Plantar barreras de cultivo.
9. Realizar protección cruzada.

Enfermedades fisiogénicas en el cultivo de batata reportadas en el mundo

Las enfermedades fisiogénicas son causadas por efectos fisiológicos y no por patógenos. A continuación, se mencionan las más comunes que han sido registradas en los diferentes sistemas de producción de batata (Martí, 2018).

Agrietado de las raíces (rajaduras-*cracking*)

Se manifiesta con la ruptura de los tejidos exteriores inactivos, que no pueden seguir el ritmo de crecimiento del anillo vascular en expansión (figura 12.11). El principal síntoma es la rajadura de las raíces, provocada por una gran hidratación y turgencia de las batatas en el fondo del bordo, seguida de una deshidratación abrupta por efecto de una desecación del suelo o a la alta presión osmótica originada por un exceso de fertilizantes. Para controlar esta enfermedad se debe hacer un uso oportuno y continuo del riego y evitar el exceso de fertilizantes nitrogenados en suelos con alto contenido de materia orgánica.



Figura 12.11.

Raíces con grietas por ruptura de los tejidos.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Escaldadura

Los efectos directos de la radiación del sol o de las heladas en climas fríos generan daños en la superficie de la planta de batata, además las raíces se ablandan y posteriormente se pudren. Este efecto se controla cubriendo las batatas cosechadas con pasto o guías de la misma cosecha, o tapándolas en forma manual con azadas de suelo o con una rastra.

Enverdecimiento

Este cambio en la raíz se produce como consecuencia de la exposición directa de las raíces tuberosas a la luz solar. Estas adquieren un color verdoso y acumulan una sustancia llamada solanina, la cual tiene un elevado riesgo para la salud si estos tubérculos son consumidos.

Filosidad

Es una anomalía que produce raíces sin engrosamiento, largas y delgadas, que carecen de valor comercial. Las principales causas de esta enfermedad fisiogénica son las altas temperaturas durante el ciclo del cultivo, lo cual favorece el crecimiento del follaje en detrimento del llenado de las raíces. Existen también variedades sensibles a la filosidad y algunos autores señalan que el déficit de manganeso es un disparador de esta enfermedad.

Raíces tuberosas en racimos

En esta anomalía las raíces aparecen una tras de otra en forma de racimo. Suele ocurrir en variedades de ciclo largo cuando se desarrollan en un corto periodo, de manera que se interrumpe la fase 3 de crecimiento, es decir, la de engrosado y llenado de raíces, y ocurre un excesivo crecimiento de la parte aérea de la planta. Todo esto sucede en detrimento del llenado de las raíces, necesario para generar batatas comerciales.

Lenticelosis

El exceso de humedad en el suelo al final de la fase de crecimiento 3 disminuye el oxígeno en la epidermis de las raíces tuberosas y, por lo

tanto, produce la apertura de las lenticelas, de manera que se forman pequeñas manchas blanquecinas sobre la superficie.

Resumen de las enfermedades reportadas en el mundo

El sistema productivo de batata puede ser afectado por un sinnúmero de enfermedades causadas por virus, bacterias y hongos. Con el objetivo de tener una mejor comprensión de este tema, en la tabla 12.1 se resumen las principales enfermedades que se han reportado en el mundo, el agente causal, la distribución y la principal recomendación de control y manejo.

Tabla 12.1. Enfermedades virales presentes en el cultivo de batata

Enfermedad	Agente causal	Distribución	Control
Enfermedades virales			
Virus del moteado plumoso del camote (*Sweet potato feathery mottle virus*, SPFMV)	*Potyvirus* transmitido por pulgone	Ocurre en todo el mundo.	Evitar el uso de plantas enfermas como material de corte, saneamiento y uso de variedades resistentes. Mantener un manejo adecuado de los potenciales hospederos con el control de malezas dentro del lote y sus espacios periféricos del cultivo. Monitorear y aplicar las técnicas de manejo de artrópodos identificados como potenciales vectores.
Virus de la vena hundida del camote (*Sweet potato sunken vein virus, s*PSVV)	*Closterovirus* transmitido por la mosca blanca	Kenia, Uganda y Nigeria; Asia; Argentina, Brasil, Perú y Estados Unidos.	Evitar las plantas enfermas como fuente de siembra y usar variedades resistentes. Tener precaución con la migración de material genético cuyo origen tenga reportes de presencia de la enfermedad. Además, aplicar los respectivos protocolos de sanidad vegetal. Mantener un manejo adecuado de los potenciales hospederos con el control de malezas dentro del lote y sus espacios periféricos del cultivo. Monitorear y aplicar las técnicas de manejo de artrópodos identificados como potenciales vectores.

Enfermedad	Agente causal	Distribución	Control
Enfermedad por el virus del camote (*Sweet potato virus disease,* SPVD)	Combinación sinérgica de SPFMV y SPSVV	En África es la principal enfermedad viral de batata. Está presente en Kenia, Nigeria, Camerún, Ghana y Uganda. En América ha sido reportada en Argentina, Brasil, Perú y Estados Unidos. También se reporta en Taiwán.	Evitar las plantas enfermas como fuente de material de siembra y usar variedades resistentes.
Virus del moteado leve del camote (*Sweet potato mild mottle virus,* SPMMV)	*Potyvirus* transmitido por la mosca blanca	Se ha identificado en Kenia, Uganda, Tanzania e Indonesia.	Realizar saneamiento y seleccionar material de siembra asintomático. Usar variedades inmunes y tolerantes.
Enfermedades bacterianas			
Pudrición bacteriana del tallo y la raíz	*Erwinia chrysanthemi*	Esta enfermedad se encuentra en todo el mundo. Las pérdidas pueden ser económicamente importantes.	Tomar por encima del nivel del suelo los esquejes para trasplantar. Usar cultivares menos susceptibles. Evitar heridas, pues esto reduce la incidencia de las enfermedades.
Marchitez bacteriana	*Pseudomonas solanacearum*	La enfermedad es importante en algunas zonas del sur de China cuando se cultivan variedades susceptibles.	Usar variedades menos susceptibles y material de siembra libre de enfermedades. Cuando la bacteria ya está presente en el suelo, se recomiendan inundaciones y rotación de cultivos con gramíneas hospedantes.
Pudrición del suelo	*Streptomyces ipomoeae*	Esta enfermedad reduce el rendimiento y puede ser destructiva en algunas zonas de Estados Unidos y Japón.	Usar material de siembra de zonas donde la enfermedad no esté presente. Mantener la humedad del suelo, pues esto ayuda a reducir la incidencia de enfermedades. Utilizar estrategias para reducir el pH del suelo.

Enfermedad	Agente causal	Distribución	Control
Enfermedades fúngicas			
Costra de hojas y tallos	*Elsinoë batatas, Sphaceloma batatas*	La enfermedad es importante en el sudeste asiático, las islas del Pacífico Sur y Brasil. El clima húmedo favorece la enfermedad.	Utilizar material de siembra libre de patógenos. Realizar buenas prácticas sanitarias.
Alternariosis, antracnosis, tizón	*Alternaria bataticola*	Enfermedad fúngica más importante en África oriental y Brasil.	Usar material de siembra libre de patógenos y variedades resistentes. Realizar buenas prácticas sanitarias.
Mancha foliar por *Phomopsis*	*Phomopsis ipomoea-batatas* *(Phyllosticta batatas)*	La enfermedad está muy extendida y se presenta en todas las zonas agroecológicas. Reduce la calidad de los esquejes como material de siembra y forraje.	No se conocen medidas de control. Normalmente no es necesario hacerlo.
Distorsión clorótica de la hoja	*Fusarium lateritium*	Perú, áreas de África oriental y central (principalmente en altitudes bajas donde hace calor y sequía) y en Estados Unidos.	Usar material de siembra libre de patógenos y síntomas. No se conoce ningún control químico.
Marchitez por *fusarium*	*Fusarium oxysporum* f. sp. batatas	Se encuentra en la mayoría de las áreas donde se cultiva batata. Mayor incidencia en áreas templadas.	Usar material de siembra de calidad fitosanitaria y preferir variedades resistentes y/o tolerantes.
Podredumbre de la raíz violeta	*Helicobasidium mompa*	La enfermedad está presente en varias zonas de Asia y América. Puede causar graves pérdidas en Asia.	Usar material de siembra proveniente de plantas sanas. Rotar con cereales, pues también puede ayudar a prevenir la enfermedad.

Enfermedad	Agente causal	Distribución	Control
Tizón esclerocial y mancha circular	*Sclerotium rolfsii*	Esta enfermedad es común en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Las pérdidas no suelen ser graves.	Evitar cultivar en suelos infectados. Utilizar material de siembra libre de enfermedades y cultivares menos susceptibles.
Podredumbre negra	*Ceratocystis fimbriata*	La enfermedad es particularmente importante en el sudeste asiático y en Oceanía.	Usar material libre de patógenos. Realizar rotación durante al menos dos años. Realizar curado de raíces por cinco días después de la cosecha a 30-35 °C y 85-90 % de humedad relativa (HR).
Podredumbre del pie	*Plenodomus destruens*	Esta enfermedad se encuentra en Perú, Brasil y Argentina.	Realizar saneamiento y usar esquejes sanos para la siembra.
Podredumbre negra de Java	*Lasiodiplodia theobromae (Diplodia gossypina)*	Esta enfermedad se distribuye por todo el mundo. Es una de las enfermedades de almacenamiento más importantes del camote.	Cosechar de forma oportuna puede reducir las pérdidas. Mantener una buena higiene y cuidado en el manejo para reducir las heridas.
Podredumbre del carbón	*Macrophomina phaseolina*	Se encuentra en áreas tropicales y subtropicales del mundo.	No se conocen medidas de control.
Podredumbre blanda	*Rhizopus stolonifer, Mucor* sp.	Esta enfermedad se encuentra en todo el mundo.	Lavar las raíces y realizar curado después de la cosecha. Almacenar de 29 °C a 32 °C y de 95 % a 100 % HR durante 5-7 días con ventilación. Después almacenar a 13 °C y HR de 95 %.

Fuente: Ames et al. (1997).

Referencias

Ames, T., Smit, N. E. J. M., Braun, A. R., O'Sullivan, O. J., & Skoguin, L. G. (1997). *Sweetpotato: Major pests, diseases, and nutritional disorders*. International Potato Center. https://www.sweetpotatoknowledge.org/wp-content/uploads/2016/02/SP-ames-et-al.pdf

Cho, S. H., Kil, E. J., Cho, S., Byun, H.-S., Kang, E.-H., Choi, H.-S., Lee, M.-G., Lee, J. S., Lee, Y.-G., & Lee, S. (2020). Development of novel detection system for sweet potato leaf curl virus using recombinant sc.Fv. *Scientific Reports, 10*, 8039. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64996-0

Cipriani, G., Fuentes, S., Bello, V., Salazar, L. F., Ghislain, M., & Zhang, D. P. (2001). Transgene expression of rice cysteine proteinase inhibitors for the development of resistance against sweetpotato feathery mottle virus. En International Potato Center (Ed.), *Scientists and Farmer: Partners in Research for the 21st Century* (pp. 267-271). International Potato Center.

IPM Images. (s. f.a). Streptomyces soil rot (pox): *Streptomyces ipomoeae* (Person and Martin 1940) Waksman & Henrici 1948 [Fotografía]. https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=1576775

IPM Images. (s. f.b). Sweet Potato Feathery Mottle Virus (SPFMV): Potyvirus SPFMV [Fotografía]. https://www.ipmimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5605913

Karyeija, R. F., Kreuze, J. F., Gibson, R. W., & Valkonen, J. P. T. (2000). Synergistic interactions of a potyvirus and a phloem-limited crinivirus in sweet potato plants. *Virology*, *269*(1), 26-36. https://doi.org/10.1006/viro.1999.0169

Kreuze, J., Savenkov, E. I., & Valkonen, J. P. T. (2002). Complete genome sequence and analyses of the subgenomic RNAs of sweet potato chlorotic stunt virus reveal several new features for the genus crinivirus. *Journal of Virology*, *76*, 9260-9270.

Martí, H. R. (2018). *Producción de batata* (1.ª ed.). INTA Ediciones. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/15419

Mitidieri, A., & Bianchini, P. R. (1969). *Evaluación de fungicidas para el control de la "peste negra" (Plenodomus destruens) en plantines de batata* [Informe técnico]. INTA.

Mitidieri, M. (2013). Manejo de enfermedades de origen fúngico que afectan al cultivo de batata en el almácigo y la postcosecha. En M. Mitidieri, & N. Francescangeli (Eds.), *Sanidad en cultivos intensivos*: *Módulo 3 - Batata, arveja y hortalizas 100 de hoja: No hay sencillez que no esconda sus vueltas* (pp. 25-31). INTA Ediciones. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/2692/INTA_CRBsAsNorte_EEASanPedro_Mitidieri_Francescangeli_eds_Curso_Sanidad_cvoIntens_mod3.pdf

Parrella, G., De Stradis, A., & Giorgini, M. (2006). Sweet potato feathery mottle virus is the casual agent of sweetpotato virus disease in Italy. *Plant Pathology*. *55*(6), 818. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01476.x

Patatadesiembra. (2020, 7 de febrero). Enfermedades de la patata: *Fusarum* o podredumbre seca [Fotografía]. https://patatadesiembra.es/enfermedades-de-la-patata-fusarium-o-podredumbre-seca

Pérez-Pazos, J., Rosero, A., Cardinale, M., & Gámez, R. (2023). Development of control strategies for bacteria and fungi associated with a micropropagated new cultivar of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. Agrosavia–Aurora). *Horticulture Environment, and Biotechnology*, *64*, 859-875. https://doi.org/10.1007/s13580-023-00521-2

PlantwisePlus Knowledge Bank. (2021, 17 de noviembre). *Fusarium oxysporum* f. sp. *batatas* (Fusarium wilt of sweet potato) [Fotografía]. https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/10.1079/PWKB.Species.24617

Rodríguez, P., Luque, A., Nome, C., López Colomba, E., Fuentes Delgado, S., & Di Feo, L. (2012). First report of Sweet potato leaf curl virus infecting sweet potato in Argentina. *Australasian Plant Disease Notes*, *7*(1), 157-160. https://doi.org/10.1007/s13314-012-0073-7

Rosero Alpala, E. A., Pastrana Vargas, I. J., García Peña, J. A., Espitia Montes, A. A., Sierra Naranjo, C. M., Sierra Monroy, J. A., Martínez Botello, D. H., Santana Rodríguez, M. O., Pérez Gamero, J. L, Regino Hernández, S. M., Espitia Negrete, L. B, Araújo Vásquez, H. A., Martínez Figueroa, R. R., & García Herazo, J. L. (2019). *Agrosavia Aurora: Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403107

Ryu, K. H., Kim, S. J., & Park, W. M. (1998). Nucleotide sequence analysis of the coat protein genes of two Korean isolates of sweet potato feathery mottle potyvirus. *Archives of Virology*, *143*(3), 557-562. https://doi.org/10.1007/s007050050311

Sivparsad, B. J., & Gubba, A. (2014). Development of transgenic sweet potato with multiple virus resistance in South Africa (SA). *Transgenic Research*, *23*(2), 377-388. https://doi.org/10.1007/s11248-013-9759-7

Syngenta. (s. f.). La alternaria de la batata: ¿Cómo podemos controlarla? https://www.syngenta.es/blog/la-alternaria-de-la-patata-como-podemos-controlarla#:~:text=Aplicar%20fungicidas%20en%20el%20momento,una%20buena%20cicatrizaci%C3%B3n%20y%20secado

Tairo, F., Mukasa, S. B., Jones, R. A. C., Kullaya, A., Rubaihayo, P. R., Valkonen, J. P.T (2005). Unravelling the genetic diversity of the three main viruses involved in Sweet Potato Virus Disease (SPVD), and its practical implications. *Molecular Plant Pathology*, *6*(2), 199-211. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00267.x

CAPÍTULO 13.

Cosecha y poscosecha

HERNANDO ARAÚJO VÁSQUEZ Y JOSÉ LUIS PÉREZ GAMERO

La cosecha y poscosecha son actividades de gran relevancia en el sistema productivo de batata. La primera se puede realizar de forma manual o mecanizada, y es clave identificar el momento oportuno para realizar la labor y obtener los rendimientos más altos con el menor daño en las raíces por factores bióticos o abióticos. Además, se debe tener en cuenta la disponibilidad de mano de obra, la demanda en el mercado y los requerimientos del comprador o consumidor (Olivet et al., 2012).

La poscosecha en campo, por su parte, consiste en hacer un curado de las raíces tuberosas por exposición al sol antes del empacado y transporte. Aunque en muchos sistemas de producción este procedimiento es obviado, su aplicación reporta muchos beneficios, puesto que la eliminación del exceso de agua promueve la cicatrización, reduce los daños y la pérdida de la buena calidad comercial de la batata fresca durante el manejo y el almacenamiento prolongado (García et al., 2014).

En este capítulo se abordan las condiciones necesarias para realizar la actividad de cosecha y poscosecha con la variedad de batata Agrosavia Aurora: las alternativas de cosecha, una revisión de experiencias de cosecha mecanizada de batata en otros países, las diferentes categorías comerciales, las causas de pérdida de calidad de raíces y las recomendaciones de poscosecha.

Condiciones para la cosecha de batata Agrosavia Aurora

Cada variedad o genotipo tiene un ciclo fenológico y rango óptimo de días a cosecha, los cuales están influidos principalmente por su constitución genética y las condiciones ambientales que lo rodean. En el mejoramiento genético de plantas, un atributo deseable es buscar genotipos precoces a cosecha, ya que esto puede permitir la realización de varios ciclos de cultivo al año si se cuenta con la oferta ambiental requerida (Borioni et al., 2014).

Específicamente, Agrosavia Aurora es una variedad de batata liberada para el Caribe colombiano, la cual tiene un rango óptimo de cosecha que va entre 90 y 120 días después de siembra (DDS) y alcanza rendimientos promedios de 20 t/ha (figura 13.1) (Rosero et al., 2019).

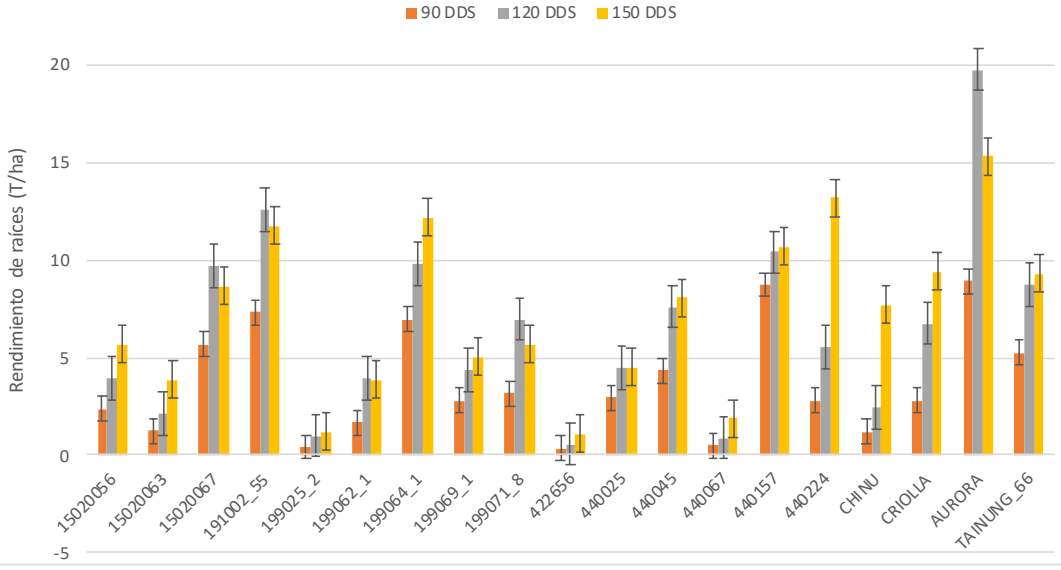


Figura 13.1.

Rendimiento en cosecha de genotipos de batata evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Es importante estar atento a ciertos indicadores del cultivo que pueden señalar el momento adecuado para realizar la cosecha. En algunos casos, para Agrosavia Aurora se presenta un amarillamiento del follaje de forma

generalizada a partir de los 90 DDS (figura 13.2), lo cual evidencia que el cultivo está llegando a la senescencia (Rosero et al., 2019). Por lo tanto, es necesario hacer un cateo semanal de las raíces a partir de los 85-90 DDS, muestreando de forma aleatoria en el cultivo de 5 a 10 plantas por cada 5.000 m^2 (figura 13.3).



Figura 13.2.

Signos de amarillamiento y senescencia del follaje del cultivo en batata Agrosavia Aurora.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez



Figura 13.3.

Cateo del estado de las raíces tuberosas de batata antes de la cosecha.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Se ha demostrado que a partir de los 120 DDS se reporta un incremento en el porcentaje de agrietamiento de las raíces (figura 13.4), que es atribuido a dos componentes: uno genético, propio de cada variedad, y uno ambiental, como consecuencia de las oscilaciones en la temperatura y la humedad de suelo, principalmente en la etapa de formación y llenado de raíces (Rosero et al., 2019).



Figura 13.4.

Signos de agrietamiento en raíces de batata.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Alternativas de cosecha

Para realizar la cosecha, previamente se deben cortar los tallos y demás parte aérea del cultivo a máximo 20 cm del suelo. Posteriormente se procede a la extracción de las raíces con cosechadora mecánica o de forma manual. Estas alternativas se describen a continuación.

Cosecha manual

Esta suele ser una labor dispendiosa que incrementa los costos de producción porque requiere un gran número de jornales, a diferencia de otras labores del cultivo. Además, aumenta la probabilidad de daños mecánicos en las raíces, de manera que, preferiblemente, se debe contar con personal que tenga experiencia en este tipo de actividades (Liljesthröm et al., 2023).

Realizar la cosecha de forma manual es una decisión muy particular que toma el productor cuando no posee maquinaria especializada o cuando se trata de cultivos para "pancoger", los cuales no requieren grandes extensiones de área. Al empezar la cosecha, la primera labor consiste en cortar el follaje o parte aérea del cultivo, para lo cual el productor utiliza principalmente un machete bien afilado y realiza el corte de las guías máximo a 20 cm del suelo, de manera que deja visible la guía o tallo principal del punto de siembra para que sea más fácil identificar los puntos de arranque de las raíces (figura 13.5). Por lo general se retira solo la parte del follaje que se encuentra ubicada en la línea de las plantas y se arroja a un lado del surco, mientras que en ciertas ocasiones se retira completamente el follaje fuera del lote y se apila.



Figura 13.5.

Corte de follaje de batata.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Posteriormente, la cosecha manual se puede realizar con azadón, palín o espeque, teniendo en cuenta que el diámetro aproximado del racimo disperso de las raíces tuberosas puede ser de 40 cm y tener una profundidad aproximada de 30 cm (figura 13.6) (Rosero et al., 2019). En esta etapa del proceso, la elección de la herramienta depende del estado del terreno: si es un suelo pesado, es mejor utilizar un palín, pero si el terreno es más liviano, se puede emplear un espeque (figura 13.7).



Figura 13.6.

Cosecha manual de un racimo disperso de raíces de batata Agrosavia Aurora.

Foto: Carlos Andrés Espitia Romero



Figura 13.7.

Actividad de cosecha manual en cultivo de batata.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Luego de realizar la cosecha, se recomienda no dejar raíces expuestas directamente al sol y la humedad durante períodos prolongados, pues esto ocasiona agrietamientos superficiales que incrementan el porcentaje de raíces de segunda categoría (figura 13.8).



Figura 13.8.

Agrietamiento de las raíces ocasionado por su exposición al sol en horas de mayor radiación.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Cosecha mecanizada

Esta forma de cosechar es utilizada en cultivos comerciales debido a sus ventajas comparativas con respecto a la cosecha manual, pues ocasiona un menor daño mecánico en las raíces (inferior al 5 %) y permite una mayor eficiencia en tiempo y recursos de mano de obra (Liljesthröm et al., 2023).

Específicamente, el arranque mecanizado consiste en eliminar el material vegetativo, de modo que facilite la recolección de las raíces. Para cortar el follaje se puede utilizar la desbrozadora lateral (figura 13.9), la cual es más rápida que el proceso manual con machete, pero tiene dos desventajas: por una parte, los residuos que deja en el suelo pueden dificultar el funcionamiento del equipo que se utilice para arrancar las raíces, y, por otra, hace más dispendioso recuperar el lote para utilizarlo en una próxima siembra.



Figura 13.9.

Desbrozadora lateral para corte de biomasa foliar.

Foto: Néstor Javier Sagre de Hoyos

Entre las opciones para extraer las raíces, se ha experimentado con la cosechadora de yuca (figura 13.10), pero esta requiere de una óptima preparación del lote al inicio de la siembra. También se ha probado el arado de disco (figura 13.11), pero este incrementa la probabilidad de

daño mecánico de las raíces y algunas quedan por debajo del suelo sin cosechar.



Figura 13.10.

Cosechadora de yuca para arranque de batata.

Foto: Néstor Javier Sagre de Hoyos



Figura 13.11.

Cosecha mecanizada de batata con arado de disco.

Foto: Hernando Alberto Araujo Vásquez

En contraste, en la sede Carmen de Bolívar de AGROSAVIA se obtuvieron buenos resultados utilizando un cincel con un gancho central que profundiza 30 cm en el suelo (figura 13.12), con el cual se redujo el porcentaje de daño mecánico. Dado que el ancho del tractor solo permite cosechar un surco, debido a la distancia de siembra empleada, es necesario recoger de forma manual las raíces que quedan expuestas por encima del surco, para que el tractor pueda pasar a cosechar el siguiente surco sin pisar el producto cosechado. La recolección de raíces se realiza de forma manual en canastas plásticas que no superan los 15-20 kg/unid.



Figura 13.12.

Uso de un cincel con gancho central que profundiza 30 cm en el suelo para cosechar batata.

Foto: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Experiencias de cosecha mecanizada de batata en otros países

En el mundo se emplean diversas alternativas para cosecha mecanizada de batata que los productores podrían aplicar en sus sistemas productivos a gran escala. En Honduras se han documentado experiencias de cosecha mecanizada de batata con tractor y un implemento en forma de aspa, que penetra aproximadamente 30 cm del suelo, levanta las raíces y las deja expuestas para una posterior recolección manual (Lardizábal,

2003). En China se reporta el uso de una máquina que tiene una tolva con unas miniaspas en forma de sierra para levantar las raíces y dejarlas expuestas en el suelo para que sean recolectadas; sin embargo, para utilizar este implemento es necesario sembrar la semilla en camas.

En Estados Unidos hay experiencias con una máquina para hacer una cosecha totalmente mecanizada, desde el arranque hasta la recolección, de manera que no es necesario cortar el follaje, porque el mecanismo lo separa de las raíces y lo envía a un contenedor. La máquina consta de una parte delantera que corta el follaje, recoge las batatas y las dirige a la parte central, donde pasan por una mesa transportadora hasta un contenedor.

Categorías comerciales de batata

Las raíces comerciales se clasifican de acuerdo con los mercados a los que vayan a ingresar, pero por lo general los que determinan las categorías de raíz de batata comercial son los de Estados Unidos y Europa. La categorización más común de clasificación de la raíz comercial de batata, según la información de compradores en Europa y Estados Unidos (USDA, 2005), es la siguiente: Small (S = 80-150 g), Medium (M = 150-300 g), Large 1 (L1 = 300-450 g), Large 2 (L2 = 450-600 g), Large 3 (L3 = 600-800 g) y Giant o Extralarge (EL = 800-1200 g).

Otra clasificación de batata comercial fue sugerida por García-Méndez et al. (2016), quienes también determinaron seis categorías con base en la caracterización de la poscosecha en la variedad Topera: Categoría I (200-339 g), II (340-478 g), III (479-617 g), IV (618-756 g), V (757-895 g) y VI (896-1034 g). Específicamente, las tres primeras corresponden a las principales categorías de interés comercial, tanto para el consumo fresco como agroindustrial. Mientras que las otras tres categorías (IV, V y VI) pertenecen al grupo de batatas de mayor peso (618 a 1034 g), por ello se consideraron más adecuadas para obtener altos rendimientos en harinas o almidones.

Se consideró que las tres primeras categorías podrían ser de mayor aceptación por los consumidores en general, al tener de referencia que las

actuales tendencias de los mercados van dirigidas al consumo de raíces y tubérculos de pesos livianos a medios, las cuales representan un menor aporte calórico y una mayor digestibilidad (Vargas-Aguilar & Hernández-Villalobos, 2013).

En este trabajo se clasificaron raíces de primera categoría de acuerdo con su peso en el sistema (S, M, L1, L2, L3 y EG), (figura 13.13), lo que representa una ventaja para el productor porque la mayoría de las raíces en buen estado pueden venderlas como de primera, especialmente en los mercados de exportación. Es importante resaltar que, aunque la variabilidad del peso fresco de raíces es una característica propia de cada genotipo o variedad, hay una influencia de las condiciones climáticas, prácticas agronómicas y forma de crecimiento de la raíz reservante en un determinado tipo de suelo, lo que afecta la aceptabilidad y la preferencia de los consumidores (García-Méndez et al., 2016).

Small (S)	Medium (M)	Large 1 (L1)
		
80-150 g	150-300 g	300-450 g
Large 2 (L2)	**Large 3 (L3)**	**Extra-Large (EG)**
		
450-600 g	600-800 g	800-1200 g

Figura 13.13.

Descripción de las categorías de raíces de los genotipos de batata evaluados en diferentes localidades del Caribe.

Fuente: Elaboración propia **Fotos:** Elvia Amparo Rosero Alpala

Pérdidas ocasionadas por malformaciones o daños físicos en raíces de batata

Aproximadamente el 30 % de las pérdidas en cosecha en el cultivo de batata corresponden a daños físicos y mecánicos, ocasionados por el uso de herramientas y equipos de cosecha manual y abrasiones por fricción con los empaques utilizados durante el manejo. En ocasiones hay presencia de pudrición blanda y acuosa en las raíces (figura 13.14a), causada por microorganismos cuando hay excesos de humedad en el suelo, principalmente cuando se presenta un daño inicial por insectos o roedores (figura 13.14b).

Dependiendo de las condiciones del suelo y el consecuente desarrollo de las raíces, en el cultivo se pueden presentar formas no predominantes o atípicas de la variedad, cuya incidencia es baja (< 2 %), pero común. Además, se pueden presentar venas superficiales que dañan la apariencia de la raíz comercial cuando son muy protuberantes (figura 13.14c). Este daño en apariencia está más influenciado por la variedad.

Por su parte, los daños por agrietamiento generalmente son ocasionados por oscilaciones marcadas en la temperatura y la humedad del suelo, o cuando las raíces quedan expuestas por un tiempo prolongado a condiciones de altas temperaturas luego de cosechadas (figura 13.14d). Otro tipo de defectos en las raíces son los que provocan algunos insectos del género *Isoptera*, los cuales generan galerías superficiales en la corteza de la raíz (figura 13.14e). Por último, hay una categoría de raíces con peso menor a 80 g, las cuales, según la clasificación mencionada, no serían raíz comercial, pero pueden ser usadas como insumo para semilla de minirraíz tuberosa. (figura 13.14f).



Figura 13.14.

Defectos y daños en raíces de batata. a. Pudrición; b. Daño por roedor; c. Venas superficiales; d. Agrietamiento; e. Daños por insectos; f. Raíces fuera de peso (< 80 g).

Fotos: Hernando Alberto Araújo Vásquez

Técnicas de curado

Con la intención de facilitar el almacenamiento, prevenir y sanar las heridas en el peridermo y el cambium, así como desarrollar un mejor sabor, las raíces de batata se someten casi de manera inmediata después de cosechadas a un tratamiento denominado *curado* (Rees et al., 2003), que consiste en almacenar las raíces a una temperatura de alrededor de 30 °C, y a una humedad relativa de 80 % - 95 % durante un período de 5 a 10 días (Rees et al., 2003). Este proceso estimula la formación de una capa protectora de corcho, suberina y otros materiales cerosos sobre la superficie del tubérculo, de manera que se genera una barrera física protectora que aminora la pérdida de humedad y el ataque fúngico y bacteriano (Rees et al., 2003).

Algunos procesos de acondicionamiento y conservación implican el lavado (figura 13.15), la desinfección y el posterior tratamiento con agentes como

carbonato de sodio (Na_2CO_3), fosfato de sodio (Na_3PO_4) o con fungicidas de acción preventiva o curativa, lo cual evita la proliferación de hongos causantes de deterioro y toxicidad (Cusumano & Zamudio, 2013).



Figura 13.15.
Lavado de raíces de batata con agua.

Foto: Evelin Gómez Delgado

Conservación de las raíces

Luego de cosechadas, las raíces tuberosas de batata contienen gran cantidad de agua y continúan desarrollando procesos vitales y reacciones bioquímicas, como la respiración y la transformación de azúcares. La adecuada conservación de las raíces tuberosas en cualquier almacenamiento debe disminuir su proceso respiratorio, eliminar el calor y el agua que este genere y mantener controlada la temperatura del almacenaje y la humedad (Cusumano & Zamudio, 2013).

La mejor forma de hacerlo es almacenarlas en un depósito o bodega siguiendo estas indicaciones: antes de cerrar el recinto, se debe ventilarlo con aire a una temperatura de entre 10 ^{0}C y 13 ^{0}C para eliminar el anhídrido carbónico (CO_2) y el calor que produce la respiración de las raíces guardadas. Este proceso se debe repetir dos veces cada quince días para mantener la temperatura final del depósito entre 13 ^{0}C y 15 ^{0}C, lo cual estabiliza el proceso respiratorio de las raíces en el mínimo y elimina la presencia de inóculos de hongos y bacterias. Además, para evitar pérdidas por evaporación, la humedad del depósito debe mantenerse al 90 % y se debe controlar que las raíces no estén humedecidas para evitar la proliferación de patógenos (Cusumano & Zamudio, 2013).

En cualquier tipo de almacenamiento se debe cumplir una serie de requisitos con el propósito de lograr una buena conservación de las raíces tuberosas:

1. No arrancar, cargar ni almacenar batatas en días lluviosos.
2. Procurar no cosechar con temperaturas altas para evitar agrietamientos.
3. Cosechar cuando las raíces tuberosas estén formadas (90-110 DDS) para garantizar una adecuada acumulación de materia seca.
4. No dejar las batatas expuestas al sol.
5. Evitar golpear las raíces.
6. Almacenar batatas secas, sin tierra, sanas y con las heridas cicatrizadas.
7. Evitar almacenar raíces brotadas.
8. Evitar la iluminación permanente en el depósito para que no se produzca el verdeo de las raíces.
9. No apilar raíces a más de 3,5 m y empacar idealmente en cajas plásticas no más de 20 kg (figura 13.16).

10. Reducir las pérdidas por evaporación, respiración, brotación y producción de enfermedades manejando la temperatura, la ventilación y la humedad del almacenaje.



Figura 13.16.

Conservación y almacenamiento de raíces de batata.

Foto: Evelin Gómez Delgado

Referencias

Borioni, R. H. E., Zamudio, N., & Cusumano, C. O. (2014). Identificación de genotipos precoces en una colección de variedades de batata (*Ipomoea batatas* L. Lam). *Revista Agronómica del Noroeste Argentino, 34*(2), 128-129. https://tinyurl.com/4yud8r43

Cusumano, C. O., & Zamudio, N. (2013). *Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la provincia de Tucumán, Argentina*. INTA Ediciones. https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/15951

García, A., Pérez, M., & García, A. (2014). Evaluación del comportamiento postcosecha de la batata (Ipomea batatas (L) Lam) en condiciones de almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *15*(2), 177-186. https://www.redalyc.org/pdf/813/81333269008.pdf

García-Méndez, A. D., Pérez-Darniz, M. Y., García-Méndez, A. A., & Madriz-Iztúriz, P. M. (2016). Caracterización postcosecha y composición química de la batata (Ipomoea batatas (L.) Lamb.) variedad Topera. *Agronomía Mesoamericana*, *27*(2), 287-300. https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v27n2/1021-7444-am-27-02-00287.pdf

Lardizábal, R. (2003). *Manual de producción de camote.* Centro de Desarrollo de Agronegocios. https://www.coursehero.com/file/123788325/Manual-de-Produccion-de-Camotepdf/

Liljesthröm, V., Marcozzi, P., Hansen, L., Piola, M., Heguiabeheri, A. R., & Ibern, D. B. (2023). *La cosecha de batata en San Pedro: Una mirada para aportar a la comprensión de esta etapa del cultivo*. INTA Ediciones. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/13987

Olivet, Y., Ortiz, A., Cobas, D., Blanco, A., & Herrera, E. (2012). Evaluación de la labranza para el cultivo del boniato (Ipomoea batatas Lam) en un suelo Fluvisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *21*(4), 24-29. https://tinyurl.com/4p39umwa

Rees, D., Oorschot, V., Kapinga, R. (Eds.). (2003). *Sweet potato post-harvest assessment: Experiences from East Africa*. International Potato Center.

Rosero Alpala, E. A., Pastrana Vargas, I. J., García Peña, J. A., Espitia Montes, A. A., & Sierra Naranjo, C. M. (2019). *Agrosavia Aurora: Variedad de batata de pulpa anaranjada para el Caribe colombiano* [Folleto, n.º 286]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35642

United States Department of Agricultura [USDA]. (2005). *United States Standards for Grades of Sweetpotatoes*. https://tinyurl.com/3nsrv8tb

Vargas-Aguilar, P., & Hernández-Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: Propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología en Marcha*, *26*(1), 37-45. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1120

CAPÍTULO 14.

Usos, transformación y costos de producción de la batata

ELVIA AMPARO ROSERO ALPALA, JAZMÍN VANESSA PÉREZ-PAZOS, JOSÉ LUIS PÉREZ, ROCÍO MARGARITA GÁMEZ CARRILLO Y REMBERTO MARTÍNEZ

La batata tiene gran importancia en la seguridad alimentaria de diversas comunidades. Aunque se ha mencionado que este cultivo es aún subutilizado en Colombia (Rosero et al., 2022), el potencial es alto y el arraigo cultural es una base fundamental para su crecimiento como cultivo y uso. Estudios localizados han encontrado que el 100 % de las familias rurales consumen arroz durante la semana, seguido por fríjol (96,9 %), yuca (89,1 %), maíz (81,3 %) y batata (9,4 %.) Los alimentos provienen principalmente de la compra en graneros (fríjol, maíz y arroz) y de la autoproducción (yuca y batata): la yuca es cultivada por el mayor número de productores (56,6 %), seguida por el maíz (46,6 %), el fríjol (43,3 %) y la batata (16,6 %) (Muñoz-López et al., 2008). Estos valores demuestran la importancia y las posibilidades que se pueden crear al reconocer la batata como parte de los cultivos biofortificados, especialmente por su aporte de vitamina A (Muñoz-López et al., 2008).

También se han realizado varios trabajos sobre su uso. Por ejemplo, Díaz y Herrera (2013) exploraron el uso de la harina de batata en la fabricación de productos de panadería como ponqués, galletas y reestructurados fritos. También se ha evaluado el efecto de las condiciones de almacenamiento de las batatas sobre el almidón y las posibilidades de emplear el cultivo para obtener bebidas alcohólicas (Andrade et al., 2009).

Finalmente, teniendo en cuenta que el emergente potencial de la batata de pulpa naranja para los mercados internacionales ha sido evidente y que en los últimos años se han reportado nuevas áreas de producción, AGROSAVIA realizó un estudio prospectivo que confirmó la gran

oportunidad que tiene este cultivo en el Caribe. Entre otros hallazgos, se identificó que si bien Estados Unidos es el principal exportador de batata, sus producciones están limitadas ambientalmente a cuatro meses del año y que los costos de conservación del producto son elevados. Por lo tanto, Colombia tiene la posibilidad de exportar raíces tuberosas de batata para atender la demanda creciente del producto (Flórez-Martínez et al., 2016), pero para esto es necesario cerrar las brechas relacionadas con la producción estable y escalonada bajo la normativa de Global GAP, de forma que se articule el primer eslabón de producción. En este sentido, además de establecer el potencial de la batata, a continuación se describen los diferentes procesos de agregación de valor que permiten extender su vida útil como raíz o producto transformado.

Principales líneas de transformación

Existen diferentes líneas de transformación de la batata, pero en términos generales todas las partes de la planta tienen potencial de uso a través del procesamiento, el tejido aéreo, la cáscara, las raíces frescas o peladas y las raíces de descarte (figura 14.1).

Por lo general, las raíces de primera categoría son comercializadas principalmente en fresco y luego de que se les ha realizado un proceso para extender su vida útil durante el almacenamiento. La adición de valor inicia justo después de la cosecha, ya que, como mínimo, la comercialización exige el curado, el lavado y la clasificación. En muchos casos, este primer proceso permite prolongar la vida útil de la batata y hace posible almacenarlas antes de comercializarlas y usarlas (figura 14.2). Las guías o tallos también pueden tener un uso, mientras que los brotes jóvenes y las hojas se usan en consumo humano, ya sea como verdura tipo espinaca o para preparar bebidas nutritivas. Además, se pueden emplear en la alimentación de rumiantes, cerdos y aves, ya sea de forma directa o después de secarlos y picarlos.

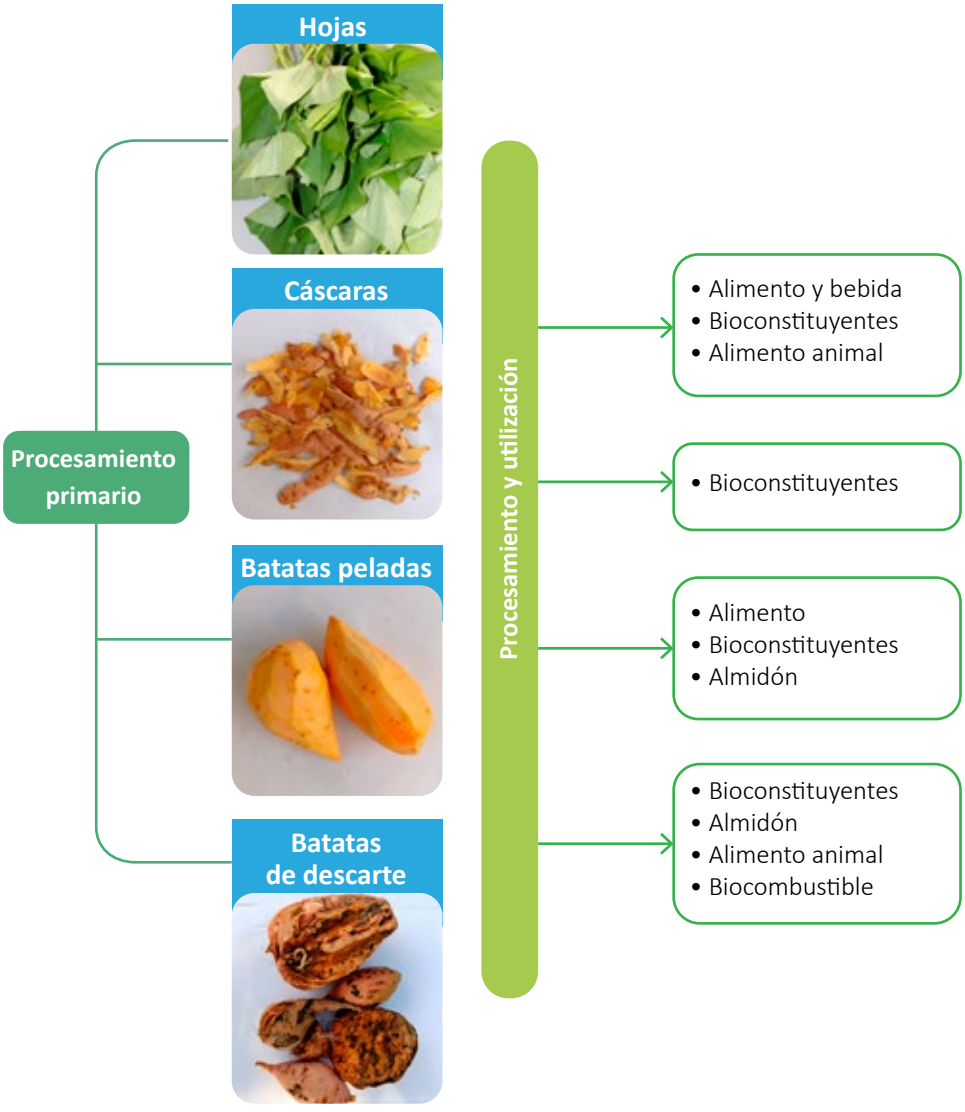


Figura 14.1.

Procesamiento primario y productos con valor agregado a partir de batata.

Fuente: Elaboración propia con base en Vithu et al. (2019) **Fotos:** Jazmín Vanessa Pérez-Pazos

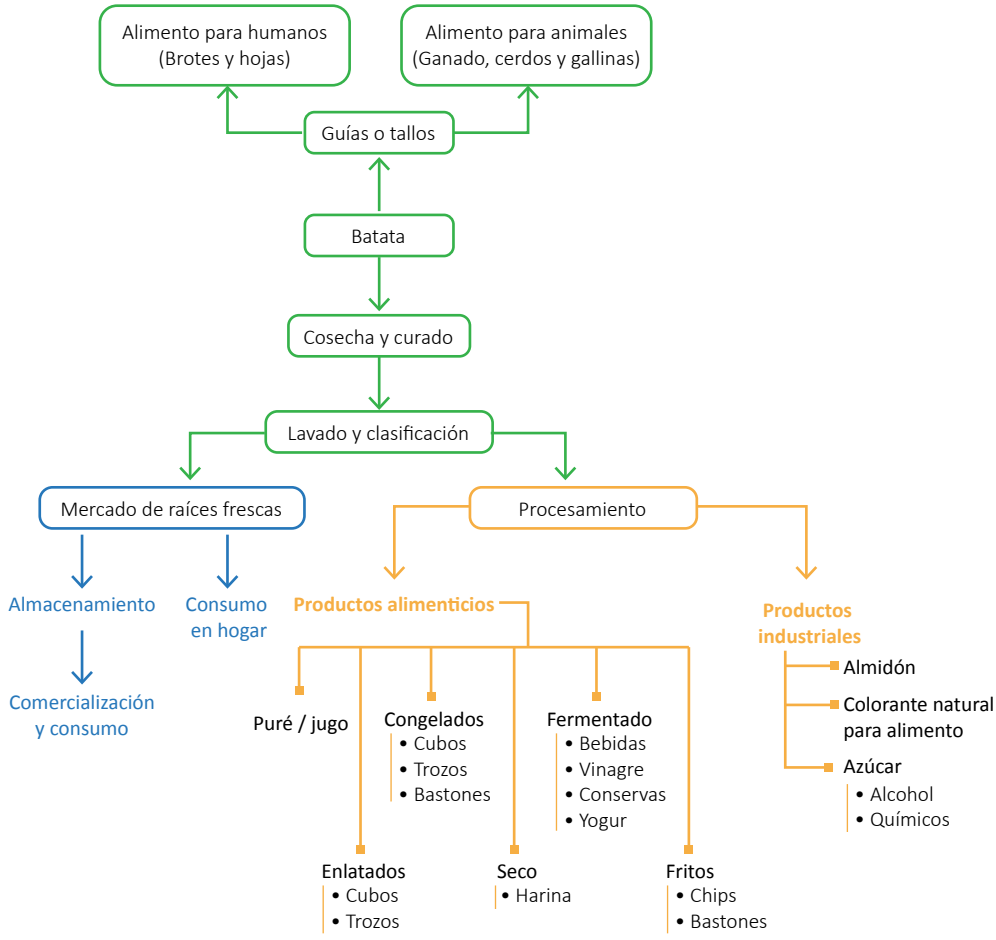


Figura 14.2.

Diferentes operaciones unitarias en el procesamiento poscosecha de batata.

Fuente: Elaboración propia con base en Truong et al. (2018) y Vithu et al. (2019)

Otras líneas de procesamiento permiten usar las raíces de batata para productos alimenticios como puré o jugo, mientras que en cubos, trozos o bastones pueden ser enlatadas, congeladas o fritas. El troceado y secado se usa para producir harina y los fermentados son usados para elaborar yogurt, conservas, etc. Finalmente, una línea importante es el uso industrial de la batata, en el cual se puede obtener almidón, colorantes y azúcares, estos últimos para producir alcohol y otros compuestos químicos de interés (figura 14.2).

Características de los procesos de transformación

La tabla 14.1 describe con mayor detalle los procesos necesarios para obtener productos en las diferentes categorías de transformación. La tabla compila las principales operaciones de procesamiento, los criterios más importantes que se utilizan para formular o evaluar los productos finales, y las consideraciones que se deben tener en cuenta para fabricarlos y comercializarlos.

Tabla 14.1. Síntesis de estudios seleccionados sobre productos de mercado que incorporan batata

Categoría	Productos	Principales operaciones de procesamiento	Criterios utilizados para la formulación óptima / evaluación del producto	Observación general	Referencias
Deshidratados	Chips	Procesamiento primario (en tiras); secado parcial (70 °C durante 0-165 min).	Puntuaciones sensoriales de color, textura, sabor y aceptabilidad general.	La aceptabilidad del producto depende del contenido de humedad (máximo: 16,52 %).	Akpapunam & Abiante (1991).
	Pasta	Elaboración de harina; elaboración de masa con ingredientes (30 % de humedad); elaboración de pastas; secado del producto (60 °C durante 30 min, 10 % de humedad).	Puntuación sensorial, textura y pérdida de sólidos.	El producto puede reemplazar funcionalmente los alimentos extruidos de trigo a base de gluten.	Singh et al. (2004).

Categoría	Productos	Principales operaciones de procesamiento	Criterios utilizados para la formulación óptima / evaluación del producto	Observación general	Referencias
Congelados	Batatas fritas	Fabricación de tiras; secado parcial; almacenamiento congelado individual (-18 °C); descongelación; freír en aceite (175 °C durante 2 min).	Vitamina C, puntuación sensorial de color, sabor y textura.	Ningún cambio inducido por el almacenamiento en las batatas fritas manteniendo la estabilidad del producto en el almacenamiento congelado.	Schwartz et al. (1987).
	Puré	Procesamiento primario; cocción al vapor (20 min); hacer puré; congelación (-18 °C).	Sólidos totales y solubles, y contenido de almidón.	El sabor dulce y la textura suave del producto se deben al tratamiento térmico (cocción al vapor).	Lončarić et al. (2016).
Enlatados	Mínimamente procesados	Blanqueo (63 °C durante 30 a 45 min); enfriamiento, relleno y jarabe de sacarosa (30 °Brix); agotador (5 min); retorta (35 min, 103,5 kPa).	Textura (firmeza) y calidad sensorial.	El escaldado a baja temperatura mejora la calidad del producto enlatado después de un almacenamiento prolongado, extendiendo así la temporada de enlatado.	Truong & Schwartz (1998).
	Puré	Pelar (NaOH al 6 %, 5 min, 101 °C); hacer puré (81 °C durante 30 min); cocinar al vapor (100 °C); llenado de latas; retorta (116 °C, 90 min).	Contenido de sólidos.	Durante el enlatado se produce una descomposición del contenido de caroteno mediada por calor.	Chandler & Schwartz (1998).

Categoría	Productos	Principales operaciones de procesamiento	Criterios utilizados para la formulación óptima / evaluación del producto	Observación general	Referencias
Fermentados	Lacto-encurtidos	Blanqueo con agua (70 °C durante 1 min); decapado (8-10 % de sal); fermentación (cultivo iniciador; 28 ± 2 °C durante 28 días).	Textura, sabor, aroma, sabor y regusto.	El producto es un posible probiótico con olor y sabor característicos (agrio) con almidón, azúcar y pigmento antocianina.	Panda et al. (2009).
	Lacto-jugos	Pelar y rallar; hirviendo (100 °C durante 15 min); adición de enzimas (pectinasa); incubación (28 ± 2 °C durante 28 h); extracción de jugo; fermentación (28 °C durante 48 h).	Componentes bioquímicos; calidad sensorial para textura, sabor y aroma.	El producto puede ser una posible bebida con alto valor nutritivo, vitaminas, minerales y contenido de β-caroteno.	Panda & Ray (2007).
Formulados	Comida infantil	Formulación (30 % de arroz secado al vapor, 50 % de habas germinadas y sin recubrimiento, 10 % de harina de batata de pulpa de naranja y 10 % de aceite de maní); mezcla; secado al horno (60 °C).	Componentes bioquímicos; puntuación sensorial de apariencia, color, aroma, sabor, sensación en boca y aceptabilidad general.	El producto puede ser un posible alimento de destete rico en nutrientes para abordar la desnutrición infantil.	Mahmoud et al. (2014).
	Pan especial	Formulación de masa (4 % de batata en polvo; α-amilasa / hemicelulosa); la elaboración del pan.	Textura, retrogradación, pérdida de humedad.	La formulación mejoró la textura (menor tasa de reafirmación y ruptura), ya que las enzimas redujeron las interacciones almidón-gluten.	Santiago et al. (2015).

Fuente: Elaboración propia con base en Vithu et al. (2019).

Características requeridas en la materia prima

Para fabricar los diferentes productos, ya sea a baja escala o en grandes fábricas, es necesario que las raíces que ingresan como materias primas cumplan especificaciones de calidad, las cuales están estrechamente relacionadas con la variedad que se vaya a utilizar. Si bien algunos aspectos, como el color de la pulpa, resultan de interés para fabricar ciertos productos, los parámetros relacionados con la cantidad y la calidad del almidón son indispensables, así como el contenido y la calidad de azúcares. La tabla 14.2 describe de forma general la idoneidad de diferentes variedades de batata sobre el desarrollo de productos transformados.

Tabla 14.2. Idoneidad de diferentes cultivares de batata para el desarrollo de productos

Tipo de cultivar	Operaciones asociadas con el procesamiento de harinas	Parámetros de calidad considerados	Principales cambios	Referencias
Naranja, blanco, crema y pulpa morada	Sulfitado; secado en bandeja; fresado de martillo.	Comportamiento de gelatinización y pegado.	Los cambios químicos (ej., almidón, proteínas, amilosa y fósforo) en lugar de cambios estructurales.	Nedunchezhiyan et al. (2012)
Piel roja	*Peeling* abrasivo; tratamientos antibronceado; cocción al vapor y maceración; secado en tambor; fresado con martillo.	Hinchazón y solubilidad, digestibilidad y comportamiento pastoso.	Desorganización macromolecular; degradación del almidón durante los tratamientos térmicos.	Yadav et al. (2006)
Pulpa amarilla, blanca y anaranjada	Sulfitado/blanqueado; secado (sol/horno).	Hinchazón, solubilidad y comportamiento pastoso.	Cambio en el contenido de sacarosa o azúcar total.	Olatunde et al. (2016)
Pulpa blanca, crema y naranja	Rebanar; secado al horno; molienda.	Comportamiento textural, pegado y gelatinización.	Fuerzas fisicoquímicas, granulares entre almidón y estructura molecular de la amilopectina.	Sajeev et al. (2012)

Tipo de cultivar	Operaciones asociadas con el procesamiento de harinas	Parámetros de calidad considerados	Principales cambios	Referencias
Rojo claro y profundo, blanco, rosa y rosa claro	Lavado; pelar y rebanar; el secado; molienda.	Hinchazón, solubilidad y comportamiento pastoso.	Lixiviación de amilasa del almidón; competencia del contenido de azúcar con almidón para la humedad y los consiguientes cambios en las propiedades funcionales y pastosas.	Aina et al. (2009)

Fuente: Elaboración propia con base en Vithu et al. (2019).

Costos de producción de la batata en campo

El sistema productivo de batata requiere una gran cantidad de mano de obra, desde la preparación de la semilla y la siembra hasta la cosecha y la poscosecha. En 2024, los costos de producción promedio de este cultivo en la costa Caribe colombiana se estimaron en cerca de $ 16,2 millones de pesos colombianos, de los cuales, los costos directos alcanzan el 94,4 %, y el 5,6 % restante corresponde a costos indirectos del sistema productivo, representados principalmente por alquiler de tierra y algunos gastos de insumos y servicios a los que se recurre de manera imprevista (figura 14.3).

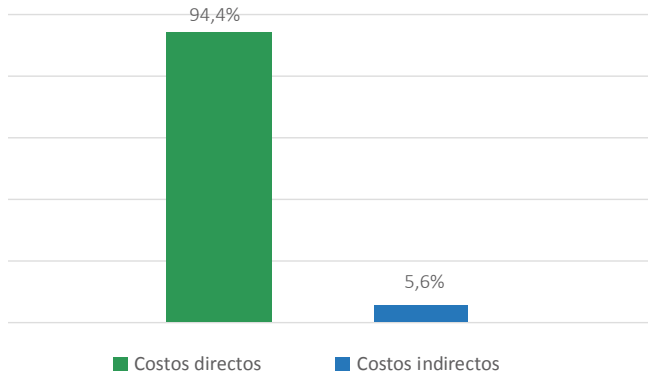


Figura 14.3.

Porcentaje de costos directos e indirectos en cálculo de costos de producción de cultivo de batata.

Fuente: Elaboración propia

Al comparar entre sí los ítems de Servicios, Insumos o Materiales y Arriendos e Imprevistos, que componen la matriz de costos de producción del cultivo de batata, los valores más elevados son los costos de mano de obra y maquinaria agrícola, que ocupan el 65,4 % de todos los costos de producción (figura 14.4) y dejan en segundo lugar los costos de insumos agrícolas y materiales con el 29 %. Por su parte, el arriendo de tierra, aunque es uno de los costos más críticos, según manifiesta la mayoría de los productores, tiene una participación baja dentro de los costos totales. Esto se debe a que, al momento de ingresar este valor al esquema de cálculos, se debe tener en cuenta el relativamente corto ciclo del cultivo de batata, prorrateando el valor de costo anual o semestral del arriendo de una hectárea (de $ 1.200.000 anual) al valor equivalente a 3 meses mínimo ($ 300.000 que es el 1,9 %) o para 4 meses máximo ($ 400.000 que es el 2,5%), por cada ciclo productivo. Esta es, entonces, una oportunidad para optimizar la producción anual con una buena sincronización o planificación y, en consecuencia, posicionarse en mercados de demanda constante.

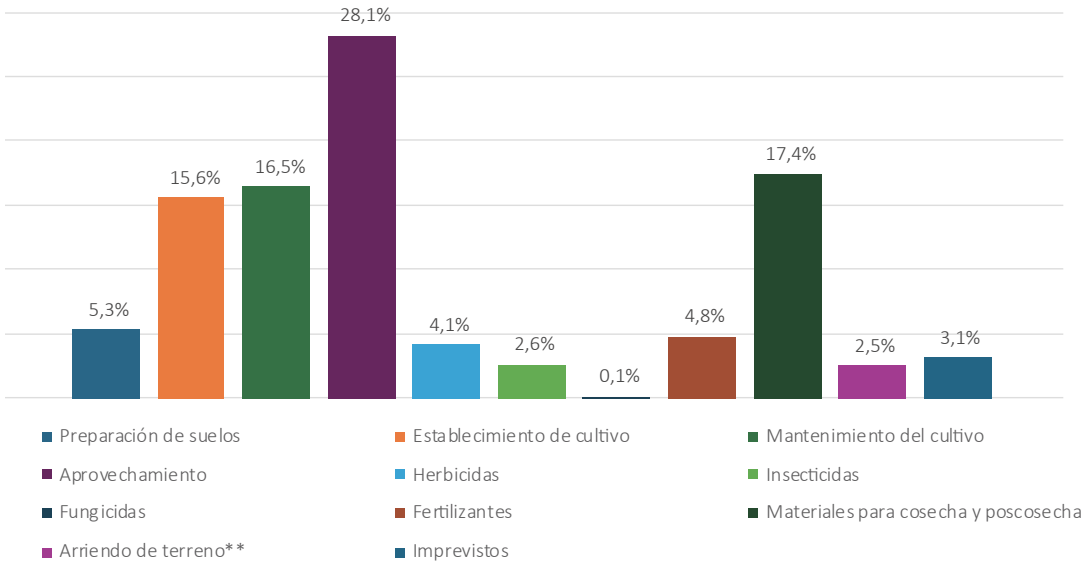


Figura 14.4.

Rubros del costo de producción total del cultivo de batata.

Fuente: Elaboración propia

Entre todas las labores principales de las etapas del cultivo de batata, las actividades de aprovechamiento o labores de cosecha y poscosecha con sus respectivos servicios son el rubro de mayor costo, ya que alcanzan el 28,1 %, un poco más de $ 4,5 millones (figura 14.5). El costo totalizado de estas labores asciende a un poco más de $ 7.3 millones, que son el 45,5 % de los costos totales de producción, al sumarse con los costos de los insumos y materiales empleados en dichas actividades de aprovechamiento.

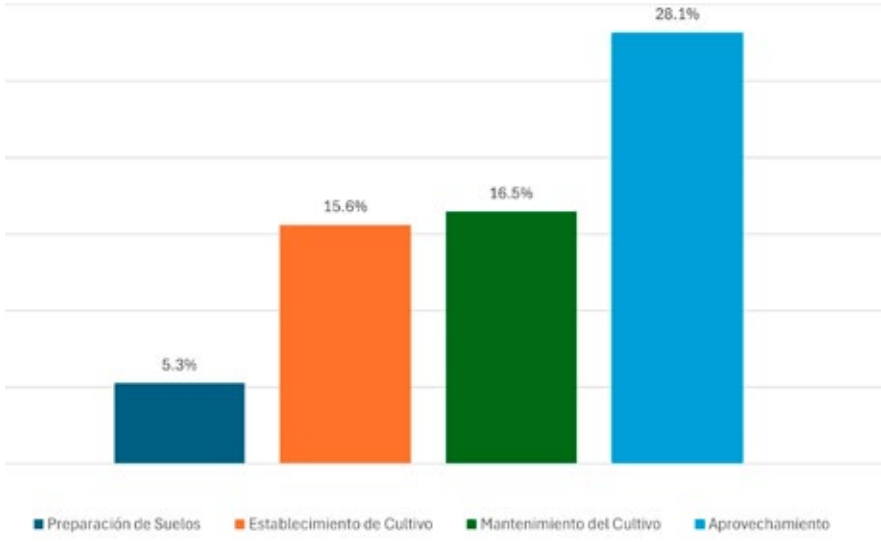


Figura 14.5.

Rubros de servicios de la estructura de costos de producción del cultivo de batata.

Fuente: Elaboración propia

Entre los costos de insumos y materiales agrupados por tipos de labores, se aprecia que son los materiales empleados en cosecha y poscosecha los de mayor costo, es decir, el 17,4 %, contra el 0,1 % correspondiente a los insumos para control preventivo de enfermedades causadas por hongos. Es importante resaltar que el costo de semilla tipo esqueje (la ideal para siembras comerciales en la modalidad de adquisición por parte de proveedores externos) genera un incremento del costo de producción, debido a que el costo unitario, tiende a superar los $ 100 por esqueje, que para una densidad de siembra mínima de 33.333 plantas/ha, equivaldría a, por lo menos $ 3.333.300.

Con la intención de sugerir alternativas que mitiguen este fenómeno, la estructura de costos de producción propuesta se fundamenta en que el productor asuma las labores de producción de su propia semilla, de acuerdo con las recomendaciones técnicas de AGROSAVIA, con lo que podría obtener unidades de esquejes desde aproximadamente $ 37 pesos (ver ítem de “Corte y desinfección de semillas (esqueje)” en la tabla 14.3, que muestra la estructura de costos de producción). De esta manera, el servicio de corte y desinfección de semilla ingresa al cuadro comparativo de costos de insumos y reemplaza al insumo semilla con un costo inferior (figura 14.6).

El rubro de productos agrícolas sanitarios como fungicidas para control de enfermedades, es el de menor valor en toda la estructura de costos, y aparece principalmente entre las actividades complementarias de control preventivo en el establecimiento del cultivo. Esto evidencia una de las bondades más importantes del cultivo en lo que respecta al fácil manejo sanitario y baja demanda de productos químicos peligrosos. En caso de requerirse más acciones preventivas o curativas de manejo de enfermedades en el cultivo de batata, se recomienda recurrir a la reserva propuesta en el ítem de Imprevistos, sugerida por valor de $ 500.000 (3 % o más, de los costos totales de producción estimados).

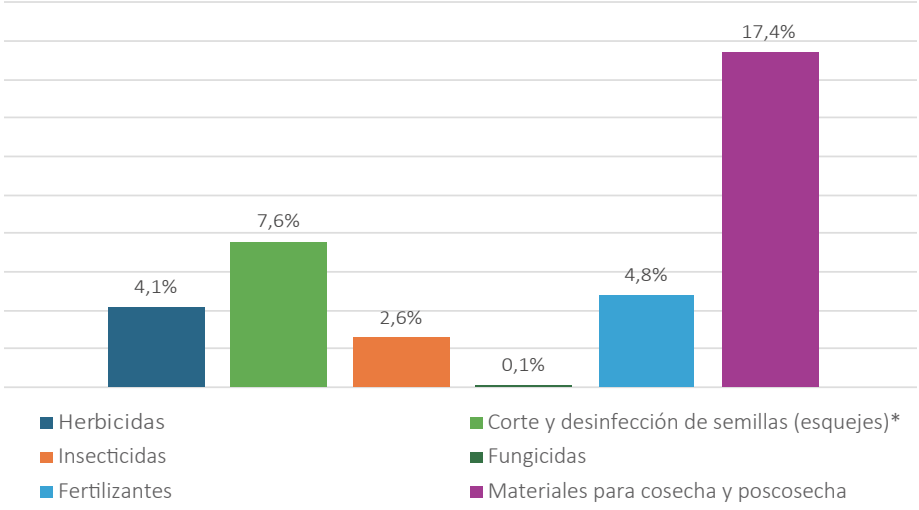


Figura 14.6.

Porcentajes de costos de insumos y materiales en el costo de producción de cultivo de batata.

Fuente: Elaboración propia

Para abordar las variables de retorno de inversión, ingresos, beneficio y rentabilidad, se tiene en cuenta el rendimiento promedio del cultivo de batata documentado de 20 t/ha (Rosero et al., 2019), de cuya producción total, se estima que hasta el 55 % de raíces son de primera categoría y el 45 % son raíces de segunda categoría aproximadamente (considerando incluso una tercera categoría incluida dentro de esta proporción). Esto último, como se trató en capítulos anteriores, depende de la ocurrencia de lluvias o de las prácticas de riego durante edades de llenado de raíces y de

cosecha, condiciones que desfavorecen la calidad de las raíces con fenómenos de agrietamientos, venas y pudriciones, entre otros.

La estimación de ingresos según los rendimientos promedio de la variedad Aurora Agrosavia y los precios promedio del 2024 muestran que son las raíces de primera categoría las que generan mayores ingresos (68,8% de los ingresos brutos). Esto puede ser indicador de la necesidad de orientar la tecnificación del manejo agronómico a incrementar la proporción de raíces sanas y de tamaño óptimo en aceptación en los mercados de mejor precio de venta. Por lo tanto, con un ingreso neto de al menos $12.6 millones, equivalente al 43,9% de los ingresos brutos, se obtiene una rentabilidad que puede superar el 78% para el sistema productivo de la batata.

Los nichos de mercado definidos para cada categoría de producción están claramente identificados: las raíces de primera suplen actualmente mercados de consumo en fresco, almacenes de cadena, restaurantes, etc. Las raíces de segunda presentan un mercado cada vez más diversificado, considerando el potencial de uso que tienen en alimentación humana, productos procesados (tipo chips, bastones, wafles, cerveza, etc.). Finalmente, un grupo creciente orienta también el uso de las raíces de segunda categoría a alimentación animal, más específicamente, de ganado bovino (destetes), cerdos, gallinas ponedoras, carneros. Específicamente, la tabla 14.3 sintetiza la estructura de costos de producción de una hectárea de batata en la costa Caribe en el año 2024.

Tabla 14.3. Estructura de costos de una hectárea de batata cultivada en el Caribe colombiano durante el año 2024

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE BATATA					
Costos Directos				$ 15.267.000	94,4%
Servicios: Mano de Obra y Maquinaria Agrícola	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	$ 10.580.000	65,4%
Preparación de Suelos				$ 850.000	5,3%
Arado de disco	Pase/Hectárea	$ 300.000	1	$ 300.000	1,9%
Rastrillo	Pase/Hectárea	$ 150.000	2	$ 300.000	1,9%
Caballoneo	Pase/Hectárea	$ 250.000	1	$ 250.000	1,5%
Establecimiento de Cultivo				$ 2.520.000	15,6%

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE BATATA					
Corte y desinfección de semillas (esquejes)*	Jornal	$ 35.000	35	$ 1.225.000	7,6%
Siembra y resiembra	Jornal	$ 35.000	37	$ 1.295.000	8,0%
Mantenimiento del Cultivo				**$ 2.660.000**	**16,5%**
Riego: Aplicación y/o Operación	Jornal	$ 35.000	26	$ 910.000	5,6%
Desyerbe manual/ machete	Jornal	$ 35.000	20	$ 700.000	4,3%
Aplicación de herbicidas	Jornal	$ 35.000	18	$ 630.000	3,9%
Aplicación de insecticidas / fungicidas	Jornal	$ 35.000	4	$ 140.000	0,9%
Aplicación de fertilizantes	Jornal	$ 35.000	8	$ 280.000	1,7%
Aprovechamiento				**$ 4.550.000**	**28,1%**
Cosecha: Corte de forraje manual	Jornal	$ 35.000	20	$ 700.000	4,3%
Cosecha: arranque de raíces	Jornal	$ 35.000	55	$ 1.925.000	11,9%
Pos cosecha: selección raíces por categoría	Jornal	$ 35.000	25	$ 875.000	5,4%
Recolección y acarreos	Jornal	$ 35.000	30	$ 1.050.000	6,5%
Bienes: Insumos Agrícola y Materiales	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	$ 4.687.000	29,0%
Herbicidas				$ 670.000	4,1%
Insecticidas				$ 420.000	2,6%
Fungicidas				$ 16.000	0,1%
Fertilizantes				$ 772.000	4,8%
Fertrilizante Foliar	Litro	$ 32.000	1	$ 32.000	0,2%
Nitrogeno (Urea)	Bulto x 50 kg	$ 120.000	2	$ 240.000	1,5%
Fosforo (DAP)	Bulto x 50 kg	$ 170.000	1	$ 170.000	1,1%
Potasio (KCL)	Bulto x 50 kg	$ 110.000	3	$ 330.000	2,0%
Materiales para Cosecha y Poscosecha				**$ 2.809.000**	**17,4%**
Pita	Rollo	$ 12.000	2	$ 24.000	0,1%
Canastillas	Unidad	$ 12.000	200	$ 2.400.000	14,8%
Empaques	Costal	$ 700	550	$ 385.000	2,4%

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE BATATA					
Costos Indirectos				$ 900.000	5,6%
Servicios y Bienes	Unidad	Costo Unitario	Cantidad	$ 900.000	5,6%
Arriendo de Terreno**	Hectárea	$ 400.000	1	$ 400.000	2,5%
Imprevistos				$ 500.000	3,1%
COSTOS TOTALES				$ 16.167.000	100%
INGRESO BRUTO**				$ 28.800.000	100%
Ingresos: Raíced de batata Categoría I*** (55%)	Tonelada	$ 1.800.000	11	$ 19.800.000	68,8%
Ingresos: Raíces de batata Categoría II**** (45%)	Tonelada	$ 1.000.000	9	$ 9.000.000	45,5%
INGRESO NETO				$ 12.633.000	43,9%
RENTABILIDAD				78%	

* Sistema de autoabastecimiento de semilla para siembra comercial, reemplaza a Costo de Semilla en Insumos

** Costo Unitario de Arriendo de Terreno calculado para ciclo productivo de 4 meses

*** Cálculo basado en rendimiento promedio de 20 toneldas por hectárea de cultivar AGROSAVIA Aurora

**** Cálculo basado en proporciones promedio de categorias de calidad de raíces de cultivar AGROSAVIA Aurora

Fuente: Elaboración propia

Referencias

Aina, A. J., Falade, K. O., Akingbala, J. O., & Titus, P. (2009). Physicochemical properties of twenty- one Caribbean sweet potato cultivars. *International Journal of Food Science & Technology, 44*(9), 1696-1704. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01941.x

Akpapunam, M. A., & Abiante, D. A. (1991). Processing and quality evaluation of sweet potato chips. *Plant Foods for Human Nutrition*, *41*(4), 291-297. https://doi.org/10.1007/BF02310623

Andrade, R., Torres, R., Montes, E., Pérez, O., & Acuña, C. (2009). Obtención de aguardiente a partir de batata (*Ipomoea batatas*). *Temas Agrarios*, *14*(1), 39-48. https://doi.org/10.21897/rta.v14i1.1208

Chandler, L. A., & Schwartz, S. J. (1998). Isomerization and losses of trans-β-carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *36*(1), 129-133. https://doi.org/10.1021/jf00079a033

Díaz, L. M., & Herrera, Y. M. (2013). *Creación de una planta de producción de ponqués a base de batata en el municipio de San Andrés de Sotavento* [Tesis de pregrado, Universidad de Córdoba]. Repositorio Unicórdoba. https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/022e3e77-c8fa-46a9-b66c-58c899e9cffb

Flórez-Martínez, D. H., Uribe-Galvis, C. P., & Contreras-Pedraza, C. A. (2016). *Perspectivas tecnológicas y comerciales para el cultivo de la batata en Colombia.* Corpoica. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13141

Lončarić, A., Svrakačić, B., Nedić Tiban, N., Kopjar, M., & Piližota, V. (2016). Effect of baking and steaming on physicochemical and thermal properties of sweet potato puree preserved by freezing and freeze-drying. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, *8*(2), 90-98. https://doi.org/10.17508/CJFST.2016.8.2.08

Mahmoud, A. H., & Anany, A. M. E. (2014). Nutritional and sensory evaluation of a complementary food formulated from rice, faba beans, sweet potato flour, and peanut oil. *Food and Nutrition Bulletin*, *35*(4), 403-413. https://doi.org/10.1177/156482651403500402

Muñoz-López, M. M., Revelo, M. C., & Pachon, H. (2008). El consumo y la producción de frijol, maíz, yuca, batata y arroz en un municipio rural en Colombia: Evaluación de la posibilidad de implementar la biofortificación de cultivos. *Perspectivas en Nutrición Humana*, *10*(1), 11-21. https://doi.org/10.17533/udea.penh.9362

Nedunchezhiyan, M., Byju, G., & Jata, S. K. (2012). *Sweet potato agronomy, fruit, vegetable and cereal science and biotechnology.* Global Science Books.

Olatunde, G. O., Henshaw, F. O., Idowu, M. A., & Tomlins, K. (2016). Quality attributes of sweet potato flour as influenced by variety, pretreatment and drying method. *Food Science Nutrition*, *4*(4), 623-635. https://doi.org/10.1002/fsn3.325

Panda, S. H., Panda, S., Sethuraman-Sivakumar, P., & Ray, R. C. (2009). Anthocyanin-rich sweet potato lacto-pickle: Production, nutritional and proximate composition. *International Journal of Food Science*, *44*(3), 445-455. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01730.x

Panda, S. H., & Ray, R. C. (2007). Lactic acid fermentation of B-Carotene rich sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) into lacto-juice. *Plant Foods for Human Nutrition*, *62*(2), 65-70. https://doi.org/10.1007/s11130-007-0043-y

Rosero, A., Rodríguez, E., Aguilera-Arango G., Rosero, M. G., Granada, L., Pastrana, I., Martínez, R., Pérez, J. L., Espitia, L., Gómez, E., Rodríguez, T., & Sieber, S. (2022). Assessment of the current state of in situ conservation and use of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in Colombia. *Culture, Agriculture, Food and Environment, 44*(1), 76-89. https://doi.org/10.1111/cuag.12293

Sajeev, M. S., Sreekumar, J., Vimala, B., Moorthy, S. N., & Jyothi, A. N. (2012). Textural and gelatinization characteristics of white, cream, and orange fleshed sweet potato tubers (*Ipomoea batatas* L.). *International Journal of Food Properties*, *15*(4), 912-931. https://doi.org/10.1080/10942912.2010.509895

Santiago, D. M., Matsushita, K., Tsuboi, K., Yamada, D., Murayama, D., Kawakami, S., & Yamauchi, H. (2015). Texture and structure of bread supplemented with purple sweet potato powder and treated with enzymes. *Food Science and Technology Research*, 21(4), 537-548. https://doi.org/10.3136/fstr.21.537

Schwartz, S. J., Walter, W. M., Carroll, D. E., & Giesbrecht, F. G. (1987). Chemical, physical, and sensory properties of a sweet potato french-fry type product during frozen storage. *Journal of Food Science*, *52*(3), 617-619. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06687.x

Singh, S., Raina, C. S., Bawa, A. S., & Saxena, D. C. (2004). Sweet potato-based pasta product: Optimization of ingredient levels using response surface methodology. *International Journal of Food Science & Technology*, *39*(2), 191-200. https://doi.org/10.1046/j.0950-5423.2003.00764.x

Truong, V. D., Avula, R. Y., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2018). Sweetpotato production, processing, and nutritional quality. En M. Siddiq, & M. A. Uebersax (Eds.), *Handbook of vegetables and vegetable processing* (pp. 811-838). John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119098935

Truong, V. D., Walter, W. M., & Bett, K. L. (1998). Textural properties and sensory quality of processed sweetpotatoes as affected by low-temperature blanching. *Journal of Food Science*, *63*(4), 739-743. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15826.x

Vithu, P., Dash, S. K., & Rayaguru, K. (2019). Post-harvest processing and utilization of sweet potato: A review. *Food Reviews International, 35*(8), 726-762. https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600540

Yadav, A. R., Guha, M., Tharanathan, R. N., & Ramteke, R. S. (2006). Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. *LWT-Food Science and Technology, 39*(1), 20-26. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.010



Autoría

Elvia Amparo Rosero Alpala
erosero@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-9670-3047

Magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en Fitomejoramiento, e ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Realizó estudios de Ph. D. en la Universidad Carolina (República Checa), donde obtuvo un título en el área de Anatomía y Fisiología de Plantas. Actualmente se desempeña como investigador Ph. D. asociado en AGROSAVIA. Hizo parte del Centro de Investigación Turipaná durante 10 años, y hoy forma parte del equipo del Centro de Investigación Obonuco. Cuenta con experiencia en investigación en el área de mejoramiento y fisiología de cultivos, donde ha apoyado el desarrollo de variedades comerciales de yuca y batata en Colombia y ha contribuido al conocimiento de dichas especies en el contexto de ambientes subhúmedos.

Jazmín Vanessa Pérez-Pazos
jvperez@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-1889-8248

Bióloga de la Universidad de Nariño y magíster en Ciencias Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Vinculada en actividades de investigación en AGROSAVIA desde el 2015. Tiene experiencia en producción de semilla de calidad mediante técnicas de micropropagación *in vitro* en batata, yuca y plátano, así como en el área de la genética molecular, específicamente en caracterización molecular y análisis metagenómicos para determinar la diversidad microbiana en suelos, plantas y bovinos. Ha realizado estudios de diversidad genética con marcadores moleculares en plantas mediante genotipificación por secuenciación en arroz, cacao, marañón, aguacate, yuca, sacha inchi y batata. Tiene experiencia en el manejo de bases de datos, diseño y análisis estadístico de experimentos de invernadero y vivero, escritura de artículos científicos y medios de divulgación.

Rocío Margarita Gámez
rgamez@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0001-9227-3425

Bacterióloga y microbióloga de la Pontificia Universidad Javeriana. Realizó sus estudios de Doctorado en Biociencias en la Universidad de La Sabana. Ha sido reconocida con el premio "Mujer en la Ciencia" otorgado por L'Oreal Colombia, la Comisión Colombiana de Cooperación con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), Colciencias e Icetex. Ha desarrollado estudios en diversas áreas, como la producción y escalamiento de semillas *in vitro* e indexación, estandarización y desarrollo de protocolos de producción *in vitro* en cultivos como yuca, plátano, banano, ñame, papa, mora y piña. También ha trabajado en la producción masiva a través de sistemas de inmersión temporal (RITAs) a partir organogénesis directa. Además, ha realizado investigaciones sobre la evaluación de microorganismos benéficos como alternativas de biofertilización a partir técnicas moleculares como RNAseq, secuenciación de nueva generación, qPCR, ddPCR (pcr digital) y expresión diferencial de genes en plantas y bacterias. Un logro destacado incluye la secuenciación de los dos primeros genomas de rizobacterias en Colombia para fertilización en plátanos y bananos.

Evelin Gómez Delgado
egomezd@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0003-4183-7539

Ingeniera agropecuaria de la Universidad del Cauca y magíster en Agroecología de la Universidad Internacional de Andalucía, España. Profesional con más de doce años de experiencia apoyando trabajos de investigación en las redes de innovación de Raíces y Tubérculos y Ganadería, y apoyo en el área de transferencia de tecnología desde el Centro de Investigación Motilonia de AGROSAVIA.

José Luis Pérez Gamero
jlperez@agrosavia.co
https://orcid.org/0009-0008-1599-8543

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación de AGROSAVIA, y cuenta con experiencia en multiplicación de semillas, establecimiento y manejo de cultivos de raíces y tubérculos en campo (batata y yuca). También tiene experiencia en la caracterización morfoagronómica en campo de genotipos promisorios de batata, así como en el proceso de evaluación y selección de genotipos en mejoramiento de batata.

Hernando Alberto Araújo Vásquez
haraujo@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0003-3679-3973

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agronómicas, investigador máster de AGROSAVIA con énfasis en fitomejoramiento. Cuenta con conocimientos en estadística aplicada al sector agrícola, así como en conservación, manejo y caracterización de recursos fitogenéticos. Tiene una trayectoria de siete años en investigación agrícola, innovación y desarrollo tecnológico, y vinculación de conocimientos y tecnologías, especialmente en raíces tuberosas (batata), hortalizas de clima cálido (berenjena y ahuyama), cultivos transitorios (maíz, algodón, fríjol y tabaco) y cultivos permanentes (aguacate).

Remberto Rafael Martínez Figueroa
rmartinez@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0001-7188-5609

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba y magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos de la Universidad Internacional de La Rioja, España. Cuenta con experiencia en investigación de técnicas de restauración de suelos en sistemas agroforestales, de selección de variedades promisorias, de técnicas integradas de manejo agronómico y producción de material de siembra de cultivos de raíces y tubérculos del Caribe colombiano (yuca, batata y ñame), así como en transferencia de tecnología (planes de vinculación tecnológica de yuca, de batata y en la Vitrina Apícola Turipaná). En la actualidad se desempeña como profesional de apoyo a la investigación adscrito a la Red de

Innovación de Raíces y Tubérculos en el C. I. Turipaná de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Amaury Aroldo Espitia Montes
aespitia@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-8057-9483

M. Sc. en Biotecnología e ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como investigador máster en AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, donde está vinculado desde 1998. Cuenta con experiencia en investigación en cultivos de tejidos vegetales, micropropagación de plantas, estandarización y desarrollo de protocolos, escalamiento y producción de semilla de calidad de ñame, yuca, batata y plátano, así como en manejo integrado de estos cultivos, fisiología vegetal, recursos genéticos, investigación participativa y abonos orgánicos. Forma parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de AGROSAVIA. Entre sus publicaciones se encuentran los artículos "Enraizamiento in vitro de Dioscorea sp." (*Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 5, n.º 2) y "Reproducción de semilla de batata (*Ipomoea batatas*) var. Agrosavia Aurora en Colombia" (*Agronomía Costarricense*, vol. 45, n.º 1).

Sol Mara Regino Hernández
sregino@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-9325-7336

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación y forma parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná. Cuenta con experiencia en establecimiento y manejo de experimentos de investigación agrícola en cultivos de ñame, yuca y batata, de los cuales se han generado ofertas tecnológicas relacionadas con el manejo integrado de dichos cultivos y la producción de semilla de calidad para siembras comerciales. Publicó el artículo "Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana" (*Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 25, n.º 2).

Eberto Rodríguez Henao
erodriguezh@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-5795-8864

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agrarias, línea de investigación en Mejoramiento Genético Vegetal, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Tiene experiencia en investigación agrícola, en conservación de recursos fitogenéticos con énfasis en germoplasma de frutales de clima cálido y en programas de fitomejoramiento. Actualmente lidera el Programa de Mejoramiento Genético de la Guayaba en AGROSAVIA y participa en actividades de mejoramiento en cultivos de importancia nacional, como yuca, mora y batata, en los cuales ha ejecutado proyectos de investigación encaminados al registro de cultivares comerciales, gracias a lo cual se ha logrado el registro de dos variedades de guayaba y dos variedades de yuca. Es el responsable de los bancos de germoplasma conservados en el C. I. Palmira de AGROSAVIA.

Ricardo Enrique Támara Morelos
rtamara@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-7251-1374

Magíster en Ciencias Agronómicas con énfasis en Ciencias del Suelo e ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Vinculado desde 2016 a la Sede Carmen de Bolívar de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde se desempeña como investigador máster. Tiene experiencia en diseño e instalación de sistemas de riego y drenaje en el sector agropecuario, manejo del recurso hídrico y manejo de cultivos agrícolas de ñame, batata, yuca, ahuyama y hortalizas. Ha sido docente universitario en Ingeniería de Riegos y Drenaje y en Agroclimatología en la Universidad de Córdoba y en Manejo de Suelos Agrícolas y Conservación de Suelos en la Universidad de Sucre. Es coautor del artículo "Efecto de tipo de tutores y densidad de siembra sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir)" (*AVE Sección Ciencias Agrarias*, vol. 17, n.º 2).

Laura Beatriz Espitia Negrete
lespitia@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-0324-8752

Investigador máster de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), adscrita a la Red Raíces y Tubérculos y al grupo de investigación Mejoramiento Genético Vegetal, Uso y Aprovechamiento de la Agrobiodiversidad. Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba y magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Genética y Fitomejoramiento de Plantas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Ha desarrollado actividades en el área de genética y fitomejoramiento de plantas. Tiene experiencia en la caracterización y selección de cultivos de algodón, maíz, batata, arracacha, fique, papa y ají. Coautora de dos variedades de batata para la región Caribe de Colombia.

Katia Vanesa Contreras Valencia
kcontreras@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-5624-4122

Ingeniera agroindustrial de la Universidad del Atlántico y magistra en Agronegocios en la Universidad de La Salle. Profesional con más de diez años de experiencia en el sector agropecuario atendiendo demandas para los sistemas de producción de la región Caribe y el altiplano cundiboyacense, desde las áreas de transferencia de tecnología y mercadeo de AGROSAVIA.

Luis Felipe López Hernández
llopez@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-4967-6955

Ingeniero biológico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, y magíster con honores en Biociencias, con énfasis en Biología Computacional, de la Universidad EAFIT. Actualmente se desempeña como investigador máster en Bioinformática en el centro de investigación La Selva, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Su carrera incluye experiencia internacional tanto en el Reino Unido como en Estados Unidos con énfasis en herramientas de la inteligencia artificial y la ciencia de datos para el estudio de genómica, ecología y premejoramiento en leguminosas y forestales.

María Gladis Rosero Alpala
mroseroa@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0003-0541-5021

Bióloga con énfasis en Ecología de la Universidad de Nariño y magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Su trabajo se inscribe en la línea de investigación en recursos fitogenéticos neotropicales y cuenta con experiencia en áreas de etnobotánica, caracterización de agroecosistemas e investigación participativa, estudios de diversidad y variabilidad fenotípica, y distribución agroecológica de tubérculos y frutales andinos. También cuenta con estudios en otros campos, como la conservación y manejo *ex situ* e *in situ* de germoplasma vegetal, y la valoración de recursos fitogenéticos en la región Andina de Colombia. Actualmente es curadora de las colecciones de campo de los Bancos de Germoplasma para la Alimentación y la Agricultura de la Nación Colombiana en el Centro de Investigación La Selva, y es investigadora máster adscrita a la Red de Raíces y Tubérculos y al grupo de investigación Mejoramiento Genético Vegetal, Uso y Aprovechamiento de la Agrobiodiversidad (MGVA) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Andrés Javier Cortés Vera
acortes@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0003-4178-0675

Genetista vegetal (Ph. D.) de la Universidad de Uppsala, Suecia, y biólogo (BSc Honores, MSc) de la Universidad de los Andes, Colombia, con experiencia en investigación del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CGIAR - CIAT), de la Universidad de Friburgo, Suiza, del Instituto Federal Suizo para la Investigación Forestal y Ambiental (WSL – SLF), y de la Universidad Agrícola Sueca (SLU). Ha investigado el potencial de adaptación genética en plantas y árboles de interés agroecológico usando herramientas genómicas y ecológicas. Para ello, ha explorado tolerancia al estrés abiótico y la diversidad genética en especies de fríjol, herencia mediada por porta-injertos en aguacate, adaptación genética frente al cambio climático en sauces y diversificación adaptativa en distintos linajes vegetales del páramo, ecosistema proveedor del recurso hídrico para el neotrópico.

Jhon Alexander Berdugo-Cely
jberdugo@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-2675-0462

Biólogo egresado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia con maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad de los Andes. Es investigador júnior y tiene experiencia en investigación científica en genética de plantas, particularmente en estudios de diversidad genética de bancos de germoplasma de especies vegetales, entre ellas la papa. Desde AGROSAVIA, trabaja en la integración de información fenotípica y genotípica para identificar genes asociados con características de interés agronómico y genotipos con potencial para su utilización como parentales en programas de mejoramiento genético. Ha publicado artículos relacionados con la genética en el cultivo de papa, enfocados en la caracterización genética utilizando marcadores moleculares tipo SNP, análisis de diversidad genética y establecimiento de colecciones núcleo.

Germán Andrés Aguilera Arango
gaguilera@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0002-3942-4658

Biólogo de la Universidad del Valle y magíster en Ciencias Biológicas, con énfasis en Biotecnología Vegetal, de la Universidad Nacional de Colombia. Desde AGROSAVIA, cuenta con experiencia en investigación en cultivo de tejidos vegetales, propagación de material de siembra, manejo y conservación de recursos fitogenéticos, transferencia de tecnología y extensionismo rural, principalmente en cultivos de clima frío moderado y clima cálido, como lulo, mora, quinua, guayaba, granada, banano, arracacha, maracuyá y yuca.

Lina Vanessa Garavito Morales
lgaravito@agrosavia.co
https://orcid.org/0000-0001-5178-6590

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas y estudiante de la Maestría en Ciencias Agrarias, con línea de investigación en Suelos, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Se ha desempeñado en

el área de asistencia técnica para pequeños y medianos productores en cultivos frutales de clima frío y cálido, enfocada en las áreas de nutrición vegetal y fertilidad de suelos. Es profesional de apoyo a la investigación en el C. I. Palmira de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), donde apoya los proyectos de especies nativas forestales, validación de tecnologías para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca y la generación de tecnologías para mejorar la producción, productividad y calidad de la yuca para consumo fresco y para producción de almidón en el suroccidente colombiano.

Modelo productivo de batata para la costa Caribe colombiana se terminó de editar en octubre de 2025, en Bogotá, Colombia

El presente modelo productivo resulta del esfuerzo de un equipo multidisciplinario que ha estado enfocado en la generación de conocimiento, recomendaciones y tecnologías para fortalecer el uso y valoración de la batata en Colombia. Esta obra busca compilar la información básica del cultivo, abordando temáticas desde el eslabón primario hasta los procesos de adición de valor. Reconocer la batata como una alternativa de diversificación agrícola y potencializar su uso en la bioeconomía de Colombia permite aprovechar las ventajas de hacer parte del centro de origen y diversidad de esta especie. Los grandes aportes que han realizado los diversos equipos de investigación a nivel nacional, incluida AGROSAVIA, permiten crear una base científica para fortalecer esta cadena de valor.



AGROSAVIA
EDITORIAL