



Modelo productivo de las variedades registradas de yuca industrial para el Caribe colombiano



Agricultura



AGROSAVIA
EDITORIAL

Modelo productivo de las variedades registradas de yuca industrial para el Caribe colombiano

Elvia Amparo Rosero Alpala
Editora

Elvia Amparo Rosero Alpala | Amaury Aroldo Espitia Montes
Sol Mara Regino Hernández | Jorge Luis García Herazo
Katia Vanesa Contreras Valencia | Luis Alejandro Taborda Andrade
Rocío Margarita Gámez Carrillo | Hernando Alberto Araujo Vásquez
Rommel Igor León Pacheco | Carlos Alberto Abaunza González
Mónica Trujillo | Carina Cecilia Cordero Cordero | Alfonso Rafael Orozco Guerrero
Martha Liliana Montes Pérez | Gabriel Ernesto Silva Acosta
Julio Ernesto Muñoz Falcón | Víctor Alfonso de la Ossa Albis
Luis Giovanni Mauricio Montejó Núñez | Ricardo Enrique Támara Morelos
Leonardo Andrés López Rebolledo | Shirley Patricia Pérez Cantero
Juan Guillermo Cubillos Hinojosa | Clara Yalexty Delgado Ochica
Remberto Rafael Martínez Figueroa | Thierry Tran | Bernardo Ospina Patiño
Autoras y autores



Modelo productivo de las variedades registradas de yuca industrial para el Caribe colombiano. / Hernando Alberto Araujo Vásquez [y otros veinticinco] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2024.

211 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.
ISBN: 978-958-740-720-4
ISBN e-Book: 978-958-740-723-5

1. Mandioca 2. Variedades de alto rendimiento 3. Taxonomía 4. Factores edáficos 5. Industria 6. Mejoramiento genético 7. Propagación de plantas 8. Indicadores económicos 9. Caribe (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

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

Esta publicación se deriva del proyecto "Convenio para impulsar el subsector productivo de la yuca industrial como polo de desarrollo regional, a través del fomento de cadenas completas de suministro en las zonas productoras de yuca-Fase I y II", Convenio 20220440 y MADR-312-2023 entre MADR-AGROSAVIA, Plan Yuca País.

Colección Alianzas AGROSAVIA

Tipología: Modelo productivo

Fecha de recepción: 21 de julio de 2023

Fecha de evaluación: 9 de septiembre de 2023

Fecha de aceptación: 20 de noviembre de 2023

Primera edición: 500 ejemplares

Impreso en Bogotá, Colombia, 2024

Printed in Bogota, Colombia

editorial@agrosavia.co

Líder editorial:

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Jorge Enrique Beltrán

Corrección de estilo:

Alejandro Merlano Aramburo

Diseño y diagramación:

Mónica Cabiatiava Daza

Ilustraciones (cubierta e internas):

Juan Felipe Martínez Tirado

Impresión: DGP Editores S.A.S.

Citación sugerida: Rosero Alpala, E. A. (Ed). (2024). *Modelo productivo de las variedades registradas de yuca industrial para el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7407235>

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

Agradecimientos	9
Presentación	10
Introducción	12

Capítulo 1.	
Origen y taxonomía de la yuca	14

Hernando Alberto Araujo Vásquez

Origen y distribución	14
Descripción taxonómica	15
Descripción de la planta	15

Capítulo 2.	
Condiciones edafoclimáticas para la producción de yuca industrial	22

Rommel Igor León Pacheco, Carlos Alberto Abaunza González
y Elvia Amparo Rosero Alpala

Condiciones edafoclimáticas	22
Aptitud ambiental para el cultivo de yuca en Colombia	30



Capítulo 3.
**Principales usos de la yuca industrial
y su potencial en la bioeconomía** 32

Katia Vanesa Contreras Valencia, Luis Alejandro Taborda
Andrade, Elvia Amparo Rosero Alpala y Mónica Trujillo

Almidón nativo	32
Almidones modificados	33
Almidón agrio (fermentado)	33
Trozos secos de yuca	34
Precios y flujos de materia prima por segmento de la cadena de valor	34

Capítulo 4.
**Aportes del mejoramiento genético
al desarrollo de variedades industriales** 41

Elvia Amparo Rosero Alpala

Variedades registradas	41
Instituciones y procesos para la generación de variedades	44

Capítulo 5.
**Descripción de las variedades industriales
más cultivadas** 47

Elvia Amparo Rosero Alpala y Jorge Luis García Herazo

Corpoica Tai	47
Corpoica Ropain (GM 273-57)	49

Corpoica Sinuana (SM 1411-5)	51
Corpoica Belloti (SM 2775-4)	53
Comportamiento de variedades industriales en pruebas semicomerciales	55

Capítulo 6. **Fisiología del cultivo de la yuca industrial**

Rommel Igor León Pacheco, Carina Cecilia Cordero Cordero, Alfonso Rafael Orozco Guerrero, Martha Liliana Montes, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Julio Ernesto Muñoz Falcón y Elvia Amparo Rosero Alpala	
Etapas fenológicas del cultivo	59
Acumulación de materia seca en yuca industrial	61
Parámetros fisiológicos del cultivo de yuca	62

Capítulo 7. **Proceso de producción de material vegetal de yuca micropropagado *in vitro* y sus fases de multiplicación para producción de semilla de alta calidad**

Rocío Margarita Gámez Carrillo, Amaury Aroldo Espitia Montes y Sol Mara Regino Hernández	
Tipos de propagación en plantas	64
Metodología para la introducción y distribución del germoplasma de yuca	66
Aclimatación de plántulas de yuca <i>in vitro</i> en invernadero	78

Producción de material vegetal de categoría superélite (SE)	80
Producción de material vegetal de categoría élite	84
Trasplante a sitio definitivo o campo	84
Establecimiento del lote para la producción de semilla	85

Capítulo 8.
Manejo del cultivo de yuca industrial 88

Sol Mara Regino Hernández, Amaury Aroldo Espitia Montes, Jorge Luis García Herazo y Víctor Alfonso de la Ossa Albis	
Condiciones edafoclimáticas y preparación de suelos	88
Establecimiento del cultivo de yuca	89
Manejo agronómico del cultivo de yuca	93
Fertilización en el cultivo de yuca	95

Capítulo 9.
Manejo del recurso hídrico para el cultivo de yuca industrial 97

Luis Giovanni Mauricio Montejo Núñez, Ricardo Enrique Támara Morelos y Leonardo Andrés López Rebolledo	
Requerimientos hídricos	97
Sistemas de riego aptos para el cultivo de yuca	99

Capítulo 10.

Manejo integrado de enfermedades

111

Juan Guillermo Cubillos Hinojosa y Clara Yalaxy Delgado Ochica

Mancha angular de la yuca	112
Pudrición de las raíces de la yuca	114
Pudrición radical o marchitez de la yuca	116
Mancha foliar de la yuca	118
Pudrición del almidón de la yuca	120
Antracnosis de la yuca	122
Podredumbre rosada de la yuca	124

Capítulo 11.

Manejo integrado de insectos plaga

126

Shirley Patricia Pérez Cantero, Juan Guillermo Cubillos Hinojosa y Clara Yalaxy Delgado Ochica

Barrenador del tallo	126
Gusano cachón de la yuca	130
Trips o raspadores de la yuca	134
Ácaros o arañitas	136
Chisas	139
Plagas secundarias	142

Capítulo 12.
Cosecha y poscosecha de yuca industrial 144

Luis Alejandro Taborda Andrade, Thierry Tran, Bernardo Ospina
y Elvia Amparo Rosero

Cosecha, pesaje y alistamiento de raíces de yuca	144
Producción de trozos secos de yuca	147
Procesamiento del almidón fermentado	153

Capítulo 13.
**Viabilidad económica de la producción de
raíces frescas de yuca para procesos
de almidón** 166

Katia Vanesa Contreras Valencia
y Remberto Rafael Martínez Figueroa

Referencias	174
Autoría	194

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del proyecto Plan Yuca País, en sus fases I y II, que han permitido un estrecho acercamiento con los productores de la región Caribe, así como también el desarrollo, la implementación y la validación de tecnologías que fortalecen la cadena de valor de la yuca en el eslabón primario.

Un enorme agradecimiento a los diferentes actores de la cadena de valor, especialmente a los productores, quienes en los diferentes espacios han permitido consolidar la base de información de brechas y necesidades sentidas, lo cual ha sido un insumo clave para la realización de documentos técnicos que buscan dar respuesta y orientar al productor sobre la toma de decisiones para mejorar la rentabilidad de su sistema de producción.

Se extiende un especial agradecimiento a los diferentes aliados que desde diversos espacios de encuentro han apoyado el fortalecimiento y la apropiación de conocimiento técnico por parte de los productores, así como también la generación de documentos técnicos que servirán de consulta de recomendaciones técnicas para mejorar el sistema productivo.

Presentación

El siguiente documento fue desarrollado en el marco del proyecto Plan Yuca País, el cual fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). A través de sus fases I y II, el plan unió esfuerzos técnicos, científicos y tecnológicos para impulsar el subsector productivo de la yuca industrial y de consumo fresco, como polo de desarrollo local, mediante la promoción de capacidades de producción, transformación y mercadeo por parte de organizaciones de pequeños productores de yuca en diferentes departamentos de Colombia.

El trabajo recopila información base sobre el desarrollo del sistema productivo de yuca industrial en el Caribe colombiano. Este modelo productivo inicia con el capítulo 1, sobre la taxonomía y botánica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), con información básica sobre la especie cultivada, sus centros de origen y su diversidad. El capítulo 2 aborda las condiciones edafoclimáticas para la producción de yuca industrial. La descripción de la cadena de valor de la yuca industrial, que conecta diferentes segmentos, se realiza en el capítulo 3, donde se resaltan los usos de las variedades registradas de yuca industrial en el Caribe. Luego, los avances obtenidos gracias al mejoramiento genético de la yuca se abordan en el capítulo 4, y en el capítulo 5 se presenta una descripción detallada de las variedades industriales más cultivadas y las zonas de cultivo. El capítulo 6 recoge información valiosa sobre la fisiología de la yuca, y el capítulo 7 aborda la producción de semilla de alta calidad de yuca, y

describe los procesos vigentes y la normativa para la producción de semilla de diferentes categorías. Los capítulos 8, 9, 10 y 11 abordan, respectivamente, el manejo del cultivo, el uso del recurso hídrico, el manejo integrado de enfermedades y el control de insectos plaga en el cultivo de yuca industrial. El capítulo 12 brinda recomendaciones para la cosecha que se deben considerar en la producción de materia prima en diferentes industrias y describe los procesos agroindustriales en poscosecha. Finalmente, el capítulo 13 trata sobre los costos de producción y la viabilidad económica del cultivo de yuca industrial.



Introducción

El cultivo de la yuca ocupa un lugar importante en la economía y seguridad alimentaria en Colombia; sus más de 200.000 hectáreas sembradas así lo demuestran. Con más de 7.000 hectáreas sembradas, la yuca industrial es materia prima en diferentes segmentos de la cadena de valor, y abastece la agroindustria de almidón nativo, fermentado y de trozos secos. Sin embargo, en todas estas líneas de transformación y comercialización, la demanda aún no se encuentra satisfecha, lo cual significa una gran oportunidad para el eslabón primario de producción de raíces frescas.

El cultivo de yuca industrial en el Caribe ha sido fortalecido desde la perspectiva tecnológica debido a que los esfuerzos de investigación se han hecho tangibles con la liberación de variedades adaptadas a las condiciones ambientales y a los perfiles determinantes en la eficiencia de la transformación, así como con la generación de recomendaciones sobre el uso de semilla de alta calidad, la fertilización, el manejo de plagas y enfermedades, la cosecha y la poscosecha.

La importancia de la yuca industrial en el Caribe se fundamenta en las condiciones climáticas de esta región de Colombia, así como en el emprendimiento de diversas agroindustrias rurales y el empuje de la inversión privada y estatal, que han permitido completar la cadena de valor en los diferentes segmentos de transformación y comercialización.

Este documento recoge todo el conocimiento generado para el manejo óptimo del cultivo de yuca industrial en el Caribe. El uso de estas tecnologías en los sistemas de producción busca incrementar la rentabilidad, disminuir los costos de producción unitarios y aumentar, de esta forma, la cantidad y calidad de la materia prima disponible para la agroindustria.



Capítulo 1.

Origen y taxonomía de la yuca

Hernando Alberto Araujo Vásquez

Origen y distribución

La familia Euphorbiaceae está compuesta por unas 2.700 especies, representadas por numerosas malezas, plantas ornamentales y otras de valor medicinal. En el género más importante está *Manihot*, que solo se encuentra en las Américas. De las 98 especies pertenecientes a este género, solo la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) tiene relevancia económica y es cultivada (Allem, 1995).

La yuca, cuyo nombre fue dado originalmente por Crantz en 1766, se clasificó en dos especies diferentes (Pohl, 1827 y Pax, 1910), según si se trataba de yuca amarga: *M. utilisima*, o dulce: *M. aipi*. Finalmente, se propuso que la especie *M. esculenta* se clasificara en tres subespecies: *M. esculenta*, *M. flabellifolia* y *M. peruviana*, siendo las dos últimas formas silvestres de la versión cultivada *M. esculenta* una subespecie *esculenta* (Allem, 1995).

Su origen, según la hipótesis que realizó en 1967 el botánico y geógrafo de plantas Augustin Pyrame de Candolle, es del noroeste de Brasil, por las evidencias que demuestran la antigüedad del cultivo y la diversidad de especies silvestres en dicha región (Simmonds, 1976). Numerosas evidencias apuntan a que el sitio de domesticación de la yuca comprende un amplio territorio: desde México hasta Brasil, y se atribuye a los grupos de cazadores recolectores que habitaban

en la región amazónica. Esto se sabe gracias a los primeros hallazgos arqueológicos, que sugieren que el cultivo de la yuca comenzó hace 5.000-10.000 años, lo que lo hace uno de los cultivos más antiguos de la civilización humana (Shigaki, 2016).

Descripción taxonómica

La yuca pertenece a la familia Euphorbiaceae. Cerca de 7.200 especies constituyen esta familia, que es reconocida por el desarrollo de vasos laticíferos. Por otra parte, el género *Manihot* es el único que se originó en las Américas, un género confirmado por aproximadamente 200 especies, de las cuales solo la yuca es cultivada comercialmente en diferentes latitudes (Núñez et al., 2018).

El Sistema Integrado de Información Taxonómica (2020) ubica taxonómicamente a la especie en el reino Plantae, subreino Viridiplantae, subdivisión Embryophyta, división Tracheophyta, clase Magnoliopsida, suborden Rosanae, orden Malpighiales, familia Euphorbiaceae, género *Manihot* y especie *Manihot esculenta*.

Descripción de la planta

Este cultivo es perenne, con porte arbustivo y monoico, y puede alcanzar entre 1 y 5 metros de altura. La planta se puede propagar vegetativamente, con fines comerciales, y sexualmente, en programas de mejoramiento genético.

Tallo

Los tallos son importantes, ya que por ellos se multiplica la yuca de manera asexual, mediante porciones lignificadas comúnmente llamadas estacas o cangres. El tallo maduro

**Figura 1.1.** Tallo de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm (figura 1.1). Sus colores pueden ser gris plateado, morado y amarillo verdoso. Tanto el diámetro como el color de los tallos varían significativamente, por la edad y la variedad de la planta. Los tallos tienen nudos, que son los puntos en los que las hojas se unen a los tallos, y también tienen entrenudos, que son las porciones del tallo comprendidas entre dos nudos sucesivos, cuya longitud depende de la variedad y de otros factores, como la edad, la fertilidad, un posible ataque severo de trips en las yemas axilares de la planta, y los periodos de sequía en el territorio. El centro del tallo lo componen células parenquimatosas que forman una médula prominente. Al pasar el tiempo, se acumulan grandes cantidades de xilema que hacen que el tallo maduro tenga una consistencia leñosa, ya que el súber o corcho reemplaza la epidermis de un tallo joven (Tironi et al., 2019).

Hojas

Las hojas son caducas, es decir, envejecen, mueren y se desprenden de la planta a medida que esta se desarrolla. El número de hojas por planta depende de la variedad y de los factores bióticos y abióticos. Sus hojas son simples y están compuestas por un peciolo y una lámina foliar palmeada y profundamente lobulada, que tiene de tres a nueve lóbulos (figura 1.2). Estos miden entre 4 y 20 cm de longitud, y entre 1 y 6 cm de ancho; los lóbulos centrales tienen mayor tamaño que los laterales. El tamaño de la hoja también depende de la variedad, el estado fenológico de la planta y las condiciones ambientales. Durante los tres primeros meses, las hojas



Figura 1.2. Hojas de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

son más grandes que las del cuarto mes y los meses subsiguientes. Su color puede ser púrpura, verde oscuro o verde claro. El peciolo de la hoja puede tener una longitud entre 9 y 20 cm, y es delgado y de una pigmentación variable, que puede ser verde o morada (Buitrago, 1990). Las hojas de la yuca hacen parte de algunos de los vegetales verdes que tienen mayor concentración proteica, siendo su composición proximal promedio la siguiente: 77% de agua; 8,2% de proteína cruda; 3,3% de carbohidratos solubles; 1,2% de grasa, y 7,2% de fibra cruda (Johnson & Raymond, 1965).

Inflorescencia

La inflorescencia puede presentarse en panícula, en racimo o en ambas (figura 1.3). Las flores tienen cinco sépalos y diez estambres. Las flores unisexuales masculinas y femeninas en una bráctea primaria y una bractéola dentro de una misma planta hacen de la yuca una especie monoica. No todas las variedades florecen, porque florecer es una característica que depende de las condiciones ambientales y del hábito de crecimiento, ya que en general cada nivel de ramificación genera una inflorescencia. Por ello, las plantas que no ramifican escasamente florecen. Ocasionalmente, estas plantas se desarrollan a partir de las yemas, en las axilas de las hojas de la parte superior de la planta. Las variedades que florecen presentan protoginia, lo cual favorece la exogamia (Domínguez et al., 1983), de ahí su alta tasa de heterosis. La

estructura básica de la inflorescencia es el racimo; las flores femeninas ocupan las posiciones basales, y las flores masculinas, las distales. En general, la apertura de las posiciones basales sucede más temprano que la apertura de las distales. Estas últimas son más pequeñas y generalmente más numerosas que las femeninas. La flor masculina presenta un pedicelo recto y muy corto, a diferencia del pedicelo de la flor femenina, que es más grueso y largo. La flor masculina tiene una forma esférica, con un diámetro de aproximadamente 0,5 cm, mientras que la flor femenina es ligeramente más grande que la masculina, sobre todo en su eje longitudinal. Ninguna de las dos flores presenta cáliz o corola, sino una estructura indefinida llamada perianto, compuesto de cinco tépalos (algo intermedio entre los sépalos y los pétalos en las flores completas). Los tépalos pueden ser amarillos, rojizos o morados.

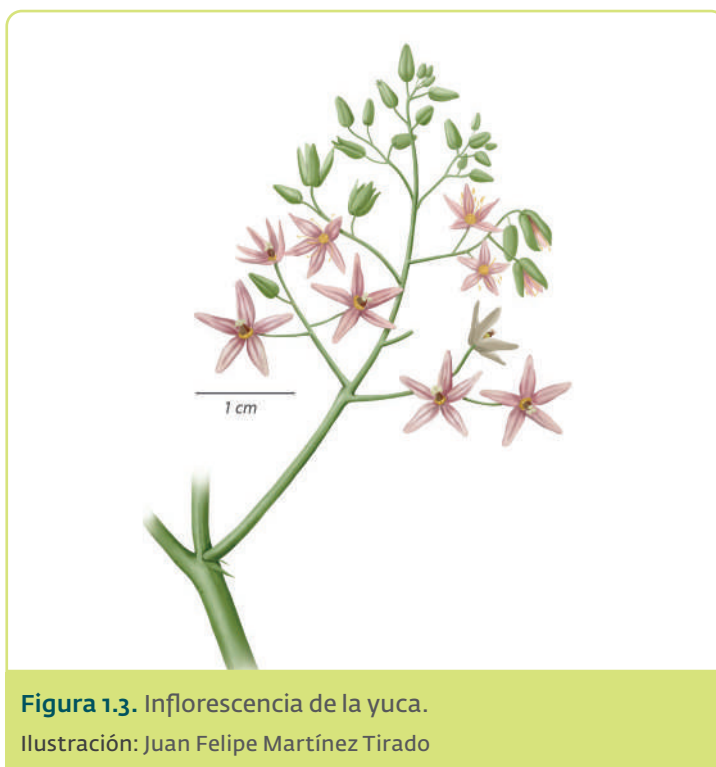


Figura 1.3. Inflorescencia de la yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Fruto

Después de la polinización y la subsiguiente fertilización, el ovario se desarrolla para formar el fruto, el cual toma entre tres y cinco meses para completar su maduración. El fruto es una cápsula dehiscente y trilocular de forma ovoide o globular, de 1 a 2 cm de diámetro, y seis aristas longitudinales, estrechas y prominentes (figura 1.4). Al madurar la semilla, el epicarpio y el mesocarpio se secan. El endocarpio, que es de consistencia leñosa, se abre bruscamente, cuando el fruto está maduro y seco, para liberar y dispersar a cierta distancia las semillas (Suárez & Mederos, 2011).

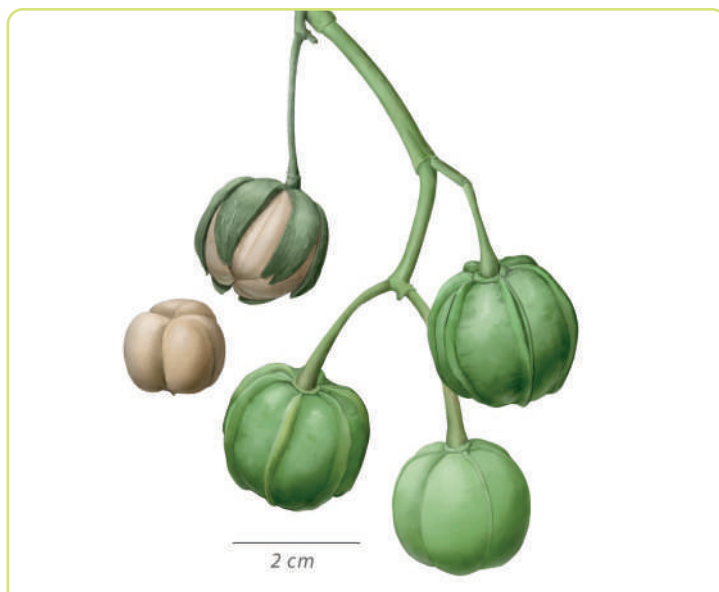


Figura 1.4. Fruto en formación de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Semilla

La semilla es el medio de reproducción sexual de la planta y es indispensable para los programas de mejoramiento del cultivo, pues es a través de la reproducción sexual como se

producen nuevos cultivares genéticamente superiores. La semilla es de forma ovoide-elipsoidal y mide alrededor de 1 cm de largo, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor (figura 1.5). La testa es lisa, de color café, con moteado gris (Ceballos & De la Cruz, 2014).

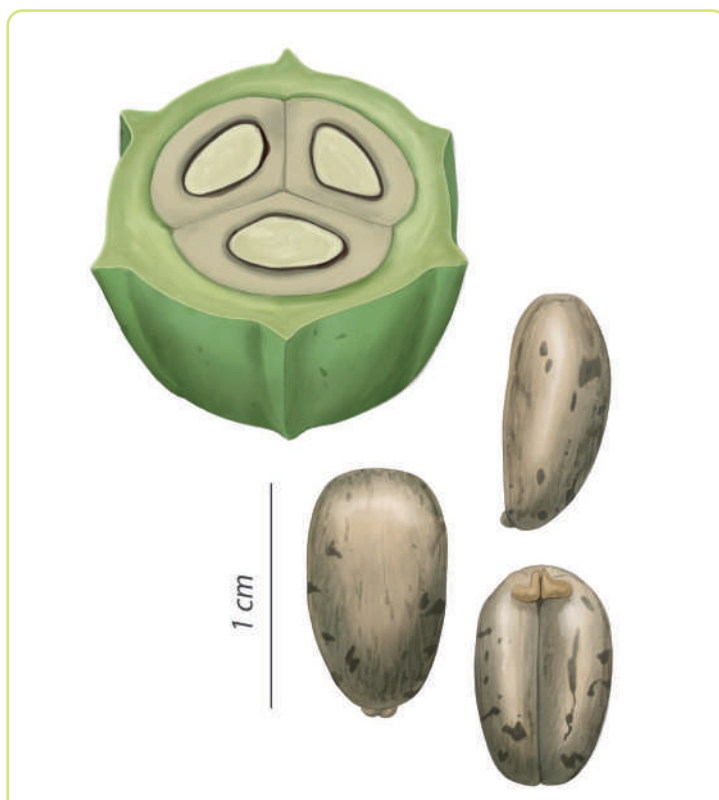


Figura 1.6. Semilla botánica de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Raíz

Las raíces son fibrosas; tiempo después, una parte de ellas se agranda, debido a la acumulación de almidón, y por eso se denominan raíces de almacenamiento, siendo el órgano de la planta de mayor interés agronómico (Borrero, 2019). En

su primer estadio, este tipo de raíz es morfológica y anatómicamente igual a las raíces fibrosas, y la principal diferencia entre estas raíces y las fibrosas radica en el crecimiento radial, cuando se inicia la acumulación de almidones (Mederos, 2006). El número, el tamaño, la forma y los diversos colores en la pulpa, la corteza y otras partes son características varietales con una gran influencia genética (Njoku et al., 2015) (figura 1.6). Si la planta proviene de semilla sexual, se desarrollan una raíz primaria pivotante y varias de segundo orden. Sin embargo, cuando la planta es multiplicada por estacas, sus raíces son adventicias, las cuales se forman en la base inferior cicatrizada de la estaca y las yemas de la estaca que están bajo la tierra (Njoku et al., 2015).

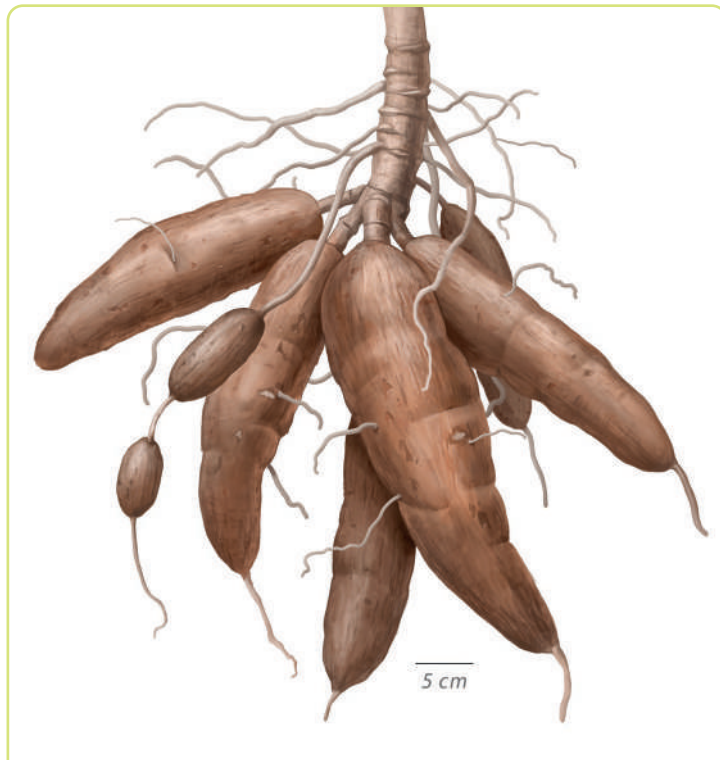


Figura 1.6. Raíces reservantes de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

Capítulo 2.

Condiciones edafoclimáticas para la producción de yuca industrial

Rommel Igor León Pacheco, Carlos Alberto Abaunza
González y Elvia Amparo Rosero Alpala

Condiciones edafoclimáticas

Altitud

El cultivo de yuca requiere, idealmente, ser sembrado en pisos térmicos de 0 a 800 m s. n. m., siendo el rango de 300 a 700 m s. n. m. la altitud que ofrece condiciones más estables de temperatura y precipitación (Casaca, 2005). Sin embargo, suele sembrarse hasta los 2.200 m s. n. m. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2016). A medida que se incrementa la altitud, el ciclo de cultivo tarda más tiempo (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a altitud

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
Altitud (m s. n. m.)	0-800	800-1.500	1.500-2.200	>2.200

Fuente: Elaboración propia

Fotoperiodo y radiación

El cultivo requiere fotoperiodos de 10 a 12 horas (tabla 2.2). A bajas temperaturas, se comporta como una especie de día neutro (12 h), mientras que a altas temperaturas se comporta como planta de día largo (Onwueme & Charles, 1994). Sin embargo, el proceso de iniciación de llenado de raíces es de día neutro (Fukai, 1985) y se torna menos productivo cuando el fotoperiodo excede las 12 horas (Segreda Rodríguez et al., 1983; Van Heemst, 1988). Este factor también influye en la floración, por lo que algunos cultivares presentan floración temprana en días cortos y otros presentan floración tardía en días largos (Onwueme & Charles, 1994).

Tabla 2.2. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a fotoperiodo y radiación

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
Fotoperiodo (horas)	10-12	8-10	6-8	<6

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la radiación, la yuca se considera una planta que crece en ambientes con total exposición al sol (FAO, 1994; Acuña et al., 2002).

Temperatura

La temperatura óptima para el cultivo de la yuca se encuentra en el rango de 24 a 30°C (DANE, 2016; Del-Rosario-Arellano et al., 2022; Onwueme & Charles, 1994; Santacruz & Santacruz, 2007). Sin embargo, en temperaturas inferiores a 16°C, que en Colombia se presentan debido a la altitud (alturas mayores a 800 m.s.n.m.), el ciclo se extiende a más de 12 meses (Casaca, 2005). Por su parte, en regiones donde durante algunas épocas del año se pueden presentar temperaturas superiores a los 36°C, las plantas de yuca pueden

sufrir condiciones de estrés que pueden afectar el rendimiento (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la temperatura

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
Temperatura (°C)	24-30	20 a 24 30 a 34	16-20 34-38	<16 >38

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el ciclo del cultivo, se ha encontrado que, para la inducción de brotes desde los cangres o estacas sembrados en campo, la temperatura mínima es de 13°C, mientras que la máxima es de 34-38°C, y la óptima es de 28,5-30°C (Keating & Evenson, 1979; Fukai, 1985). Para la etapa de desarrollo, la temperatura mínima es de 10°C (Veltkamp, citado por Van Heemst, 1988).

La temperatura es un factor importante en el proceso fotosintético de la yuca. La tasa fotosintética no muestra diferencias entre 25 y 40°C (El-Sharkawy et al., 1984). Sin embargo, en temperaturas por fuera de este rango, la tasa fotosintética declina hasta prácticamente cero cuando la temperatura supera los 40°C, mientras que, por debajo de los 12°C, la tasa fotosintética declina hasta llegar al 40% (Onwueme & Charles, 1994).

Precipitación

Para una producción óptima de yuca, debe contarse con 1.000-2.500 mm de precipitación bien distribuida durante el año, siendo 600 mm el límite inferior de precipitación anual, y 3.000 mm el límite superior (Casaca, 2005; DANE, 2016; Del-Rosario-Arellano et al., 2022; Onwueme & Charles, 1994) (tabla 2.4).

Condiciones de estrés hídrico se empiezan a observar en límites marginales mínimos de menos de 600 mm, por lo que la presencia de 6-7 meses secos, con precipitaciones inferiores a 50-60 mm durante el año, dificulta o hace imposible el cultivo de la yuca (Onwueme & Charles, 1994). Una precipitación marginal máxima sería de más de 5.000 mm. En general, una lluvia demasiado abundante deteriora las raíces de la yuca, y esta tampoco puede darse en regiones donde se prolonga demasiado la sequía (Del-Rosario-Arellano et al., 2022; Santacruz y Santacruz, 2007).

La yuca muestra resistencia a la sequía gracias a sus mecanismos fisiológicos de adaptación, como la reducción de la lámina foliar y los lóbulos, el cierre de estomas y una menor conductancia estomática, lo que impide la pérdida de agua y genera una menor transpiración, una mayor toma de nutrientes y la profundización de las raíces en búsqueda de agua dentro del suelo, lo cual le permite desarrollarse en climas con régimen de lluvia monomodal y en veranos prolongados, como ocurre en la zona de la Orinoquía y en algunas áreas de la costa Atlántica (DANE, 2016; El-Sharkawy et al., 1992, 1993).

Tabla 2.4. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la precipitación

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
Precipitación (mm/año)	1.000-2.500	600-1000 2.500	2.500-5.000	<300 >5.000

Fuente: Elaboración propia

En el Caribe colombiano, el establecimiento del cultivo en las zonas productoras se realiza en los meses en los que la precipitación es superior a la evapotranspiración, con precipitaciones óptimas entre 500 y 1.250 mm. Sin embargo, pueden presentarse épocas en las que se requiere riego, sobre todo si se quiere enfrentar la estacionalidad en la producción, que está determinada por los requerimientos de una adecuada humedad en el suelo durante la siembra y el establecimiento.

Humedad relativa

La baja humedad relativa puede causar un prolongado cierre de estomas, con efectos negativos sobre el rendimiento, por lo cual la condición ideal para la producción de yuca requiere que la humedad relativa sea lo suficientemente alta, entre el 50 % y el 90 % (tabla 2.5), con un valor adecuado entre el 70 % y el 85 % (DANE, 2016). Sin lugar a duda, la etapa siembra-brotación requiere una alta humedad atmosférica, para evitar el desecado de los cangres y las yemas que emergen. En otras etapas de desarrollo, la humedad relativa alta puede ser perjudicial al favorecer la distribución y severidad de varias plagas y enfermedades (Onwueme & Charles, 1994), especialmente la bacteriosis y el superalargamiento. Por otra parte, condiciones de baja humedad, como las encontradas en el Caribe en los primeros meses del año, provocan una menor eficiencia fotosintética y, por lo tanto, una reducción en la producción final de raíces.

Tabla 2.5. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la humedad relativa

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal
Humedad relativa (%)	70-85	50-70 85-90	90-100

Fuente: Elaboración propia

Profundidad del suelo

La yuca requiere suelos de profundidad media (FAO, 1994), idealmente superior a los 50 cm (Del-Rosario-Arellano et al., 2022). La tabla 2.6 muestra los valores de profundidad del suelo para el cultivo de yuca.

Tabla 2.6. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la profundidad del suelo

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal
Profundidad de suelos (cm)	>50	25-50	<25

Fuente: Elaboración propia

Textura del suelo

La yuca se puede desarrollar satisfactoriamente en suelos de textura media (FAO, 1994), siendo los suelos ligeros de textura franca o franco-arenosa los más apropiados para su cultivo (Barragán Buitrago, 2018; González, 1984) (tabla 2.7). Sin embargo, entre las texturas medias-ligeras se encuentra una gama de texturas que podría considerarse adecuada para el cultivo de la yuca: las texturas franco-arenosa muy fina, franca, franco-limosa, limosa, franco-arcillosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillo-limosa y arcillo-arenosa (Del-Rosario-Arellano et al., 2022). Algunos reportes también han mostrado que los mejores suelos son los de textura arcillo-arenosa, arenosa o franca (Casaca, 2005; Santacruz & Santacruz, 2007).

Tabla 2.7. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la textura del suelo

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal
Textura del suelo	Franca, franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa, franco-arcillo-arenosa y franco-arenosa	Limosa y franco-limosa	Arcillosa, arcillo-limosa y arenosa

Fuente: Elaboración propia

En suelos de textura pesada, durante la época de lluvias fuertes existe un alto riesgo de presencia de condiciones anaeróbicas para las raíces, cuyo desarrollo se ve retardado.

Esto hace que estos suelos sean inapropiados para el cultivo de yuca (Onwueme & Charles, 1994).

Drenaje

El cultivo de yuca requiere buen drenaje, ya que no tolera los encharcamientos (Del-Rosario-Arellano et al., 2022; FAO, 1994; González, 1984; Santacruz& Santacruz, 2007). La tabla 2.8 muestra los rangos de drenaje apropiados y marginales para el cultivo de yuca.

Tabla 2.8. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto al drenaje

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
Drenaje	Moderado, bien drenado y moderadamente excesivo	Excesivo	Pobre e imperfectamente drenado	Muy pobre

Fuente: Elaboración propia

pH del suelo

El cultivo de la yuca se desarrolla en un rango de pH de 4,5 a 9,0, aunque el nivel óptimo es entre 5,5 y 7,0 (Casaca, 2005; FAO, 1994). Los valores de pH para el cultivo de yuca se presentan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto al pH del suelo

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal	No apto
pH	5,5-7,0	4,0-5,4 7,1-7,8	3,5-3,9 7,9-8,5	<3,4 >8,6

Fuente: Elaboración propia

Salinidad

La yuca presenta una ligera tolerancia a la salinidad (FAO, 1994), mostrando una aptitud óptima cuando la salinidad es menor de 4 dS/m (Del-Rosario-Arellano et al., 2022). Los valores de salinidad para el cultivo de yuca se presentan en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la salinidad

Variable	Óptimo	Moderado	Marginal
Salinidad/sodicidad (CE)	<4 dS/m	4-5 dS/m	>5 dS/m

Fuente: Elaboración propia

Fertilidad

Aunque el cultivo de yuca ha sido reconocido por su altísima tolerancia al estrés edáfico (Howeler, 1977), la fertilización química, aunque en niveles bajos, es necesaria (Casaca, 2005). El calcio es el único producto que debe aplicarse antes de la siembra y generalmente se usa en forma de cal dolomítica. Se recomienda una fertilización a partir de los 30-60 días después de la siembra, aplicando 35-50 kg de nitrógeno, 70-74 kg de fósforo y 70-100 kg de potasio (Carmona Hidalgo & Zapata Herrera, 2002; Casaca, 2005; Howeler, 1981; Santacruz y Santacruz, 2007). La tabla 2.11 muestra los valores de nitrógeno para el cultivo de yuca.

Tabla 2.11. Escala de aptitud para el cultivo de yuca respecto a la fertilidad del suelo

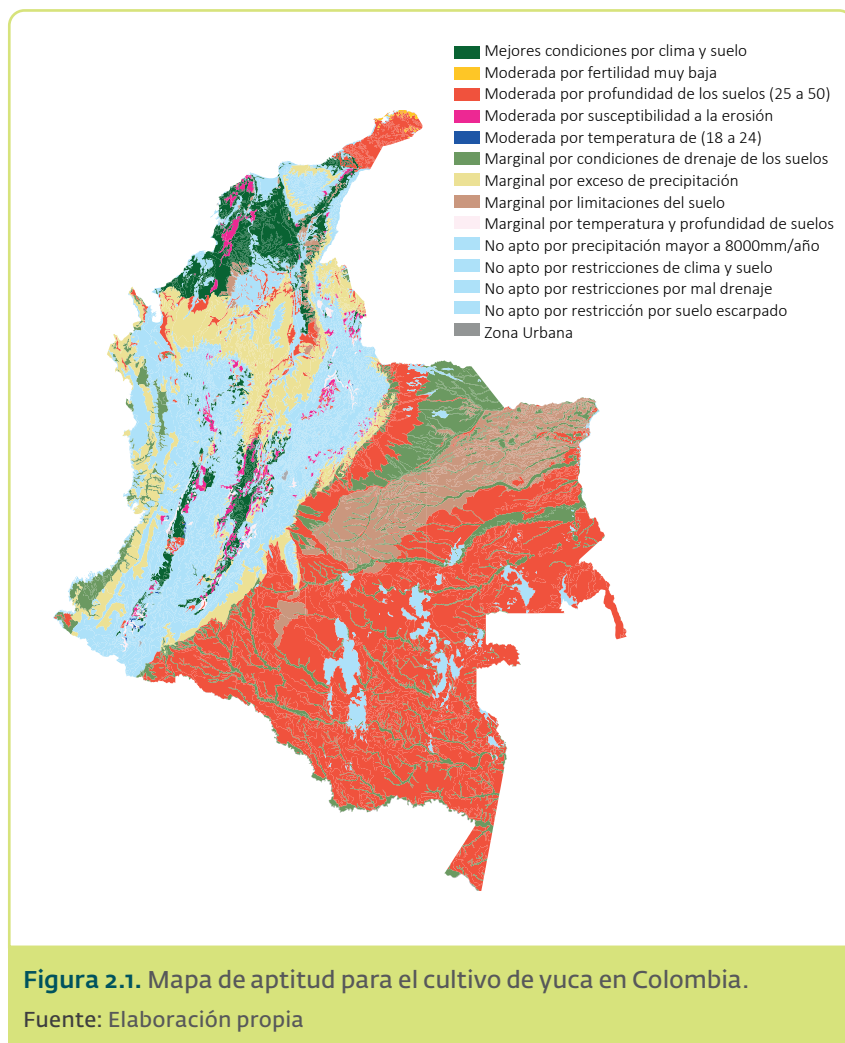
Variable	Óptimo	Moderado	Marginal
N (porcentaje total)	>0,1	0,5-1,0	<0,5

Fuente: Elaboración propia

La yuca tiene un menor requerimiento de nitrógeno; la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados estimula el crecimiento del follaje y reduce la síntesis del almidón, por lo cual se recomienda aplicarlo en niveles bajos (Howeler, 1981). Por otra parte, la deficiencia de zinc (Zn) es la más frecuente entre los elementos menores (Howeler, 1981). Por último, es necesario tener en cuenta que la yuca extrae grandes cantidades de macronutrientes, por lo cual requiere suelos con buena fertilidad, y se recomienda fertilizar por restitución para evitar que los suelos pierdan la calidad por su uso inadecuado.

Aptitud ambiental para el cultivo de yuca en Colombia

Con base en la información edafoclimática, se construyó un mapa de aptitud óptima para el cultivo de la yuca en Colombia (figura 2.1). Esto permitió inferir las zonas potenciales para el cultivo, las cuales están comprendidas principalmente en los departamentos de Magdalena, Cesar, Atlántico, Sucre, Córdoba, Santander, Tolima, Quindío, Cauca, Valle del Cauca y Huila, aunque las plantas de procesamiento de almidón están concentradas en unas pocas regiones del país. Este comportamiento es de suma importancia porque a futuro se podría proyectar una estrategia de construcción de plantas de procesamiento de almidón, con el fin de apalancar la producción en otros departamentos y, de esta forma, disminuir la importación de almidón al país.



Capítulo 3.

Principales usos de la yuca industrial y su potencial en la bioeconomía

Katia Vanesa Contreras Valencia, Luis Alejandro Taborda Andrade, Elvia Amparo Rosero Alpala y Mónica Trujillo

Almidón nativo

La extracción de almidón nativo se realiza en diferentes etapas, las cuales pueden diferir de una empresa a otra, según su capacidad y nivel tecnológico. Las agroindustrias como Almidones de Sucre e Ingredion son más grandes y tienen un mayor nivel tecnológico que otras. Por otra parte, en el nivel artesanal, se encuentran las rallanderías, que son pequeñas empresas que producen almidón fermentado. A pesar de las diferencias entre las agroindustrias y las rallanderías, todas estas empresas desarrollan una secuencia básica: lavado, extracción, separación y secado.

El almidón nativo (dulce) es aquel que, en su estado inicial, es extraído de las raíces de la yuca sin sufrir ninguna modificación ni alteración. Este almidón nativo extraído de la yuca posee características morfológicas del grano (aparición, forma, tamaño y distribución) que lo diferencian de los almidones de otras materias primas, como el maíz o la papa (Medina & Salas, 2020). Estas características les dan ciertas funcionalidades a los almidones que los convierten en una materia prima muy atractiva para la industria de alimentos.

Almidones modificados

Los almidones modificados se obtienen mediante procedimientos físicos, químicos o enzimáticos, con el objetivo de modificar algunas de las propiedades fisicoquímicas del almidón nativo. En la práctica, el almidón modificado tiene las mismas aplicaciones que el almidón nativo; sin embargo, se mejoran algunas de sus características específicas para poder usarlo como aditivo alimentario. Por ejemplo, en general se usa como espesante, aglutinante, emulgente y estabilizador (“Diferencias entre el almidón...”, 2021).

Almidón agrio (fermentado)

El proceso de obtención de almidón agrio es el mismo que el del almidón nativo, más la fermentación, la cual se realiza en tanques plásticos o fabricados con enchapes de cerámica. La fermentación puede tardar entre 30 y 120 días, y en promedio 90 días. El almidón agrio se utiliza principalmente para la producción de amasijos colombianos (Taborda, 2018). La calidad del almidón se monitorea mediante pruebas de expansión, las cuales consisten en hacer y hornear pandebonos. Entre más tiempo de fermentación tenga el almidón, mejor será su calidad y más expansión tendrá el almidón de prueba.

El epicentro de producción de almidón agrio en el país es el Cauca. En este departamento operan cerca de 60 rallanderías de diferentes capacidades y niveles tecnológicos (Taborda, 2018). Sin embargo, el suministro de raíces frescas ha sido un histórico cuello de botella en el Cauca. Actualmente, algunas rallanderías del departamento con mayor capacidad económica han construido o alquilado plantas de procesamiento en Sucre o Córdoba, donde se puede encontrar un mayor suministro de raíces de yuca industrial. De esta forma, extraen el almidón nativo *in situ* y lo transportan para continuar con el proceso de fermentación bajo las

condiciones del Cauca. Hasta el momento, se han registrado cerca de 27 rallanderías en el departamento de Sucre, de las cuales 15 operan regularmente.

Trozos secos de yuca

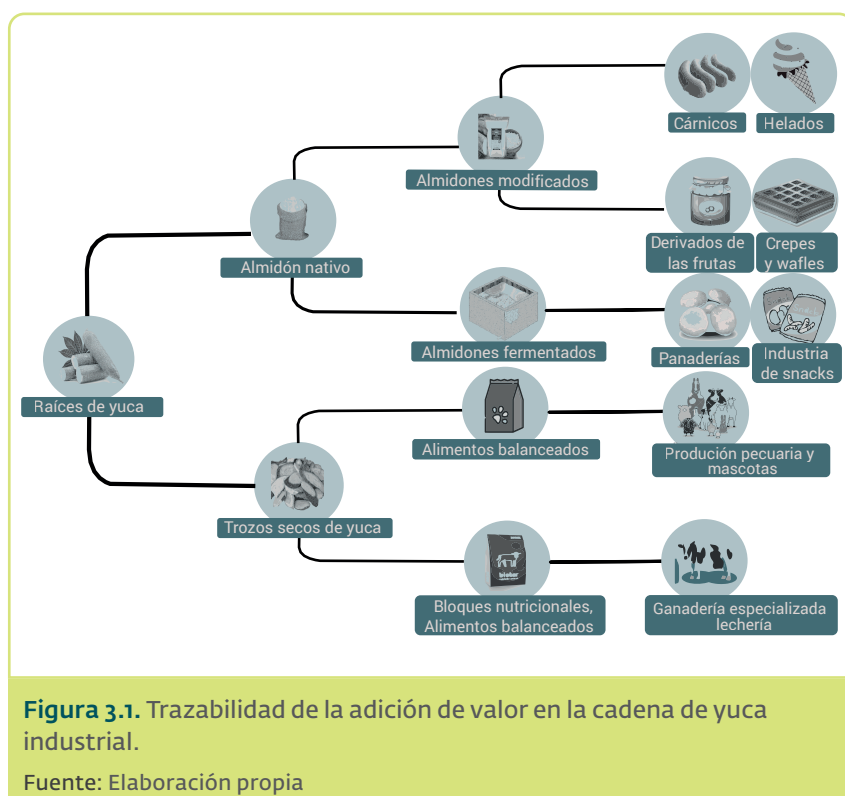
Para obtener trozos secos de yuca, las raíces deben ser lavadas, troceadas y posteriormente esparcidas en patios de secado solar, hasta alcanzar un 12 % de humedad. El tamaño de los trozos secos depende de la configuración de la máquina, específicamente de la potencia y velocidad del motor, y la forma de las cuchillas. Un requisito general de todas las empresas fabricantes de alimentos balanceados es que los trozos de yuca no tengan una humedad superior al 12 %, para evitar la contaminación microbiológica (como las aflatoxinas). Otro requisito es evitar la contaminación por materiales como piedras, trozos de madera y otras impurezas que se incorporan a los trozos durante el secado y el transporte.

Los trozos secos de yuca son empleados para la elaboración de alimentos balanceados para las explotaciones pecuarias: la piscicultura, la avicultura, la porcicultura, la ganadería de carne, la ganadería especializada (lechería), las mascotas, entre otras.

Precios y flujos de materia prima por segmento de la cadena de valor

En la figura 3.1 se esquematiza la trazabilidad de la adición de valor de la yuca industrial en los principales segmentos del mercado. La figura permite identificar tres niveles de adición de valor: un primer nivel, en el que la yuca es transformada en trozos y en almidón nativo; un segundo nivel, en el que estas materias primas son modificadas, fermentadas o convertidas en pélets, y un tercer nivel, en el cual estas materias primas transformadas son transformadas en productos para

la alimentación animal y humana, en otros productos como cervezas y bioplásticos, u otros productos, no incluidos en el esquema, que hacen parte de la industria no alimentaria, farmacéutica, cosmética, entre otras (figura 3.1).



Con la visión de la bioeconomía, es importante destacar que el afrecho (subproducto de la elaboración del almidón) y las hojas de la planta de la yuca también son insumos importantes para obtener nuevos productos alimenticios, especialmente para el ganado. Los bloques nutricionales incluyen afrecho y hojas de yuca por su valor nutricional (Canales & Trujillo, 2021).

Una limitación importante para la industria es la estacionalidad en el suministro de las raíces, el cual depende

principalmente de las épocas de lluvia, pues en estas épocas se siembran las raíces. En la figura 3.2 se exponen las temporadas del año en las que se encuentra baja, moderada y alta disponibilidad de raíces de yuca. Por lo general, entre los meses de julio y octubre la industria tiene baja disponibilidad de raíces. Una alternativa para esto es el uso de una variedad de cosecha extendida; sin embargo, debe validarse su factibilidad, en vista de que la cosecha en estos meses podría ser más costosa, pues es época de lluvias (figura 3.2).

En la figura 3.3 se muestra la ubicación de las principales industrias que demandan raíces frescas de yuca para los segmentos de transformación y mercado, previamente descritos. La figura devela una de las principales brechas para el desarrollo de la cadena de valor de yuca: el elevado costo del transporte de materias primas en Colombia, debido a su topografía montañosa.

En la figura 3.4 se exponen los materiales más utilizados por los productores de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba. La variedad MTAI es, según los compradores, la más sembrada (78%).

En la línea de uso de la yuca en la producción de trozos secos, se recoge en muchos casos la producción de variedades industriales, así como las variedades de consumo humano; Corpoica Belloti y Corpoica Tai son las principales variedades de yuca industrial usadas para este propósito (figura 3.5). Sin embargo, también es importante resaltar la participación de variedades como la Venezolana, Cogollo Verde y Chirosa, especialmente en los patios de secado establecidos en el departamento de Sucre.

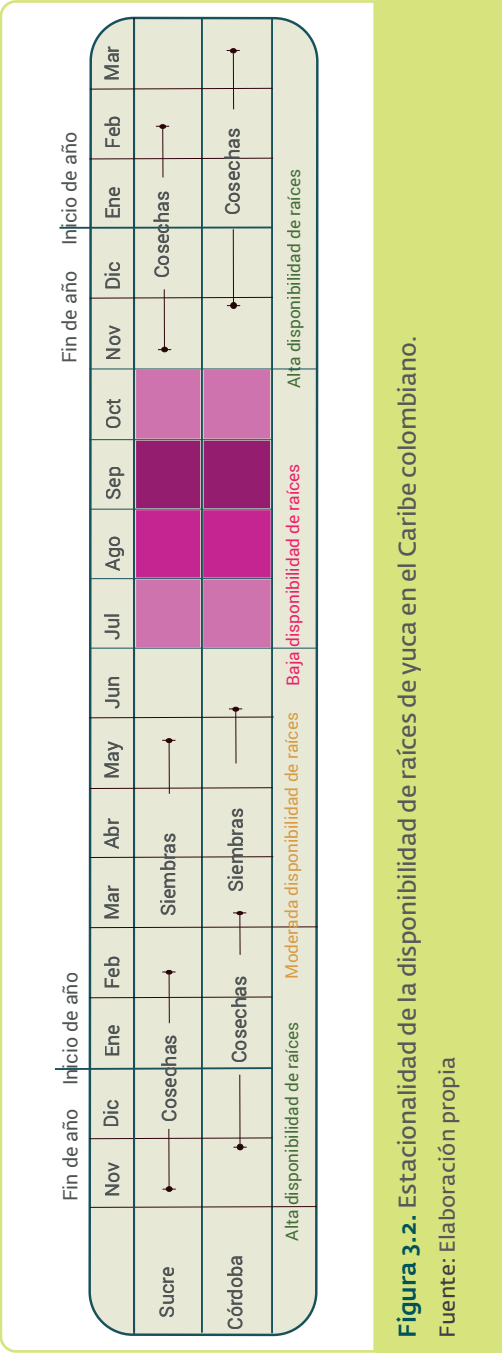




Figura 3.3. Ubicación de las principales industrias compradoras de raíces y trozos secos de yuca.

Fuente: Elaboración propia

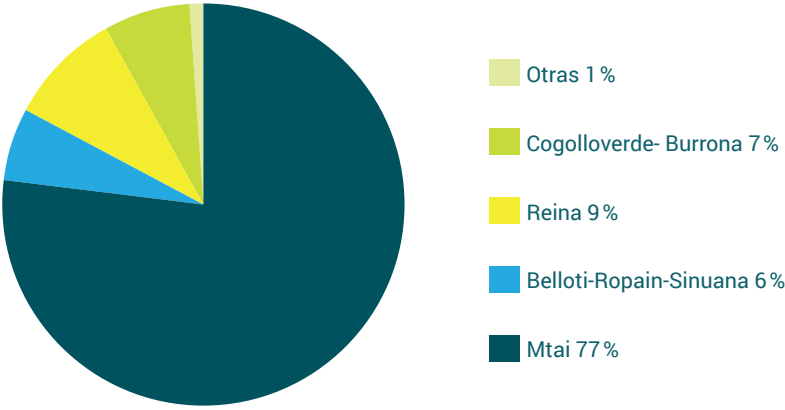


Figura 3.4. Distribución porcentual del uso de las variedades de yuca industrial en el Caribe, de acuerdo con las entrevistas realizadas a los compradores de las raíces.

Fuente: Elaboración propia

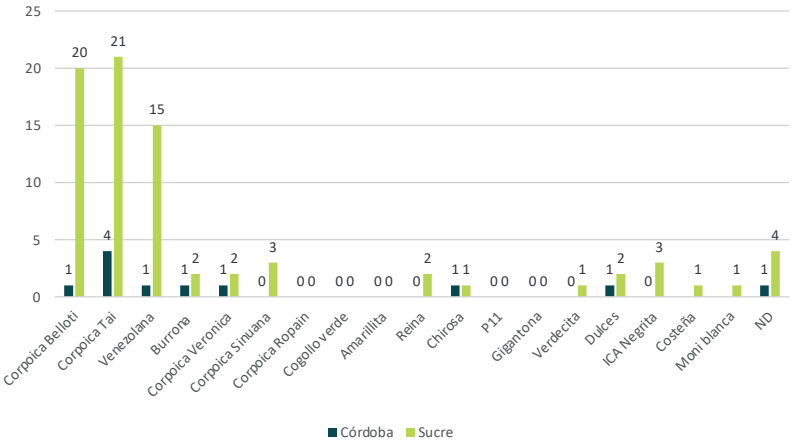


Figura 3.5. Variedades usadas en la producción de trozos secos de yuca.

Fuente: Elaboración propia

La yuca en la visión de la bioeconomía

La bioeconomía se posiciona como una de las estrategias más poderosas para avanzar hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, a través del uso de los recursos biológicos (productos agropecuarios, forestales, forestales no maderables, micro/macroorganismos, residuos orgánicos, entre otros), sustituyendo las materias primas fósiles, imitando los principios y procesos de la naturaleza, por medio de la sostenibilidad, la innovación y la circularidad.

En el marco de la bioeconomía, se busca generar productos y servicios no solo para la alimentación humana, sino para múltiples usos e industrias, como la alimentación animal, los biomateriales, los bioplásticos, los cosméticos, los farmacéuticos, los textiles, la bioenergía, entre otros usos. En este contexto, la yuca se posiciona como uno de los productos agropecuarios con mayor potencial para la bioeconomía de Colombia (Canales & Trujillo, 2021) por su versatilidad. Es clave destacar el papel del almidón, la harina y el afrecho de yuca en este proceso, ya que tienen un alto potencial de mercado para la alimentación humana especializada, los bloques nutricionales para los animales y la generación de biomateriales y bioplásticos. Estas son alternativas económicas que pueden promover el desarrollo rural, los ingresos y el empleo, si se garantiza la sostenibilidad en los procesos, la circularidad y la innovación.

Capítulo 4.

Aportes del mejoramiento genético al desarrollo de variedades industriales

Elvia Amparo Rosero Alpala

Variedades registradas

El cultivo de la yuca industrial, que generalmente se produce como materia prima para la producción de almidón nativo, almidón fermentado y trozos secos de yuca, representa un área de alrededor de 12.000 ha, con una producción de más de 200.000 t de raíces frescas, y se localiza principalmente en la costa Caribe y en el departamento del Cauca. La colaboración entre AGROSAVIA y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), establecida hace varias décadas, ha permitido la producción de una amplia lista de variedades adaptadas a diferentes condiciones agroclimáticas. Sin embargo, solamente durante la década de los noventa se fue generando a nivel nacional la necesidad de satisfacer las exigencias para el uso de la yuca como materia prima para la producción de almidón nativo, balanceados y alcohol carburante. Por esta razón, desde ese entonces fueron desarrolladas variedades con doble propósito: para consumo humano (fresco) y con fines industriales para el Caribe. La principal característica de la yuca industrial es su mayor contenido de materia seca, que es la medida indirecta del contenido de almidón. Algunas variedades de yuca industrial presentan un contenido de glucósidos cianogénicos, medidos en la forma de ácido cianhídrico (HCN), que resulta perjudicial para la salud humana si es consumido (a pesar de someter las raíces de yuca a cocción), y por esta razón son conocidas como variedades amargas. Sin embargo, este atributo no es

generalizado para las variedades industriales registradas, e incluso existen variedades con altos contenidos de materia seca y de HCN (<90 ppm), denominadas como de doble propósito.

En el año 2000 se liberaron en la subregión Caribe dos variedades dirigidas a las necesidades de la industria de almídonos y concentrados para alimentación animal: Corpoica Colombiana (CM 3306-19) y Corpoica Sucreña (CM 3555-6) (López Montes et al., 2000a, 2000b), y dos variedades doble propósito: Corpoica Caribeña (SG 765-2) y Corpoica Rojita (SG 765-4) (López & Jaramillo, 2000a, 2000b).

En 2004 se liberaron dos variedades doble propósito: Corpoica Caiseli (SMB 2446-2) y Corpoica Orense (CM 9021-2) (López Montes et al., 2004). Simultáneamente, se liberaron tres variedades de uso industrial exclusivo (raíces amargas, por su alto contenido de glucósidos cianogénicos): Corpoica Tai (Rayong 60), Corpoica Ginés (CM 4838-1) y Corpoica Verónica (CM 4919-1).

Finalmente, en 2016 se liberaron las variedades industriales Corpoica Belloti (SM 2775-4), Corpoica Sinuana (SM 1411-5) y Corpoica Ropain (GM 273-57) (Rosero et al., 2017) (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Variedades de yuca inscritas en el registro nacional de cultivos en Colombia

Variedad	Año de registro	Rendimiento (t/ha)	Materia seca (%)	HCN (µg/g de peso fresco)	Zona de recomendación
Doble propósito					
Corpoica Caribeña	2000	17,4	37,7	—	Caribe húmedo
Corpoica Rojita	2000	15,5	36,5	—	Caribe húmedo
Corpoica Caiseli	2004	23,5	36,6	—	Caribe húmedo y seco
Corpoica Orense	2004	18,25	33,8	—	Caribe húmedo y seco
Industriales					
Corpoica Colombiana	2000	26,8	36,8	154	Caribe húmedo
Corpoica Sucreña	2000	26,0	39,7	129	Caribe húmedo
Corpoica Verónica	2004	32,95	34,9	—	Caribe húmedo y seco
Corpoica Tai	2004	29,4	34	112	Caribe seco
Corpoica Gines	2004	29,4	36,2	—	Caribe húmedo y seco
Corpoica Belloti	2016	30,3	35-39	69	Caribe húmedo y seco
Corpoica Ropain	2016	28,4	30-33	49	Caribe húmedo y seco
Corpoica Sinuana	2016	31,8	32-37	73	Caribe húmedo y seco

Fuente: Elaboración propia

Instituciones y procesos para la generación de variedades

El desarrollo de nuevas variedades de yuca a nivel nacional se da principalmente por parte del CIAT y AGROSAVIA. Estas instituciones siguen la normativa vigente para la evaluación e inscripción de variedades en el Registro Nacional de Cultivos Comerciales del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), cuya resolución vigente es la número 067516 del 11 de mayo de 2020. Esta resolución define los procedimientos y requisitos para cultivos transitorios, por lo cual le aplica al cultivo de yuca.

En general, el proceso de obtención de nuevas variedades inicia con la identificación de progenitores donantes de características deseables, como las siguientes: buen rendimiento, buen contenido de materia seca, buen tipo de planta, baja afectación de plagas y enfermedades, y adaptación a la región natural de interés.

Una vez se han seleccionado los progenitores, se realizan cruzamientos dirigidos o se establecen en lotes de policruzamientos, proceso mediante el cual se obtiene semilla sexual. Cada una de las semillas representa un genotipo diferente, por lo cual la observación de su comportamiento es vital en las diferentes etapas de selección. Una descripción completa de este proceso fue realizada previamente por Ceballos et al. (2023), por lo que en este capítulo se describirá solamente de forma general cada uno de los ciclos de selección.

Las semillas sexuales producen plántulas que son transferidas a campo; una vez alcanzan los seis meses de edad, se recoge el material de siembra para establecer la población de la generación filial 1 y el ciclo 1 (F_1C_1). A partir del material vegetal producido en este ciclo, se establece el ensayo en surco sencillo. Se debe anotar que en cada uno de los ciclos en campo se realiza una evaluación integral de las plantas,

para apoyar la selección, y solamente las plantas que expresan un buen perfil pasan al siguiente ciclo (tabla 4.2). En general, cada ciclo de selección tiene un número determinado de genotipos para evaluar, y dependiendo de la disponibilidad de semilla se va incrementando el tamaño de la parcela (número de plantas) y el número de repeticiones. Tanto el ensayo preliminar como el ensayo avanzado y las pruebas regionales se realizan con evaluaciones multilocales, lo que permite evidenciar la adaptación y estabilidad de las posibles nuevas variedades.

Tabla 4.2. Ciclos de selección para la obtención de nuevas variedades

Etapas	Número de genotipos	Diseño (plantas por parcela × repeticiones)	Ambientes (localidades × ciclos de cultivo)
F1	20.000	1	1
F1C1	8.000-12.500	3	1
Ensayo en surco sencillo (ESS)	1.500-2.500	6	1
Ensayo preliminar de rendimiento (EPR)	150-250	20 × 3	2-3
Ensayo avanzado de rendimiento (EAR)	60-80	20 × 3	2-3
Pruebas regionales (PR)	15-20	25 × 3	3 × 2
Pruebas de evaluación agronómica (PEA)	5-8	25 × 4	5 × 1
Prueba semicomercial	1-2	5.000 m²	3 × 1

Fuente: Ceballos et al. (2021)

Finalmente, los genotipos con perfiles promisorios, ya sea por su superioridad en el desempeño agronómico o por sus características especiales en términos de calidad o resistencia a enfermedades, son sometidos al proceso de evaluación supervisado por el ICA; de esta forma, las pruebas de evaluación agronómica se desarrollan siguiendo la normativa vigente, la cual sugiere como mínimo cuatro localidades por subregión natural. Los genotipos aceptados para ser inscritos como nuevas variedades son, finalmente, sometidos a una evaluación semicomercial en al menos tres localidades de la subregión natural. Los resultados de esta última fase permiten recibir la aprobación para el registro y la liberación de la nueva variedad.

El ICA, en su Resolución 067516 de 2020, sugiere la evaluación de los genotipos experimentales de yuca en diferentes departamentos, según la subregión natural en la cual se desea registrar una nueva variedad de propagación clonal de yuca por su adaptación, cubriendo todo el territorio nacional en el cual se produce yuca, de la siguiente manera: para la subregión Caribe, en Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre, Norte de Santander, el norte de Antioquia y Urabá, el Magdalena Medio y Santander, con lo cual se cubren las condiciones del Caribe húmedo y el Caribe seco; el ICA solicita la siembra de pruebas agronómicas en cuatro localidades (municipios o departamentos) por cada subregión.

Capítulo 5.

Descripción de las variedades industriales más cultivadas

Elvia Amparo Rosero Alpala y Jorge Luis García Herazo

Corpoica Tai

Este clon proviene del cruzamiento realizado en Tailandia entre la variedad colombiana MCOL1684 y la variedad regional Rayong 1; su nombre comercial en Tailandia es Rayong 60 y fue liberada en ese país en 1987. La introducción a Colombia fue realizada en 1986 a través del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y registrada con el código experimental MTAI 8, formado con las iniciales del país en el que se hizo la introducción de este clon (Tailandia). Cuando fue registrado ante el ICA como nueva variedad, se asignó este nombre que se había popularizado entre los agricultores de la región Caribe.

Esta variedad se destaca por la buena arquitectura, ya que presenta una altura total de 200 cm y una altura a la primera ramificación de 120 cm, lo que garantiza una buena producción de material de siembra para el siguiente ciclo y un buen espacio para realizar las labores del cultivo (figura 5.1).

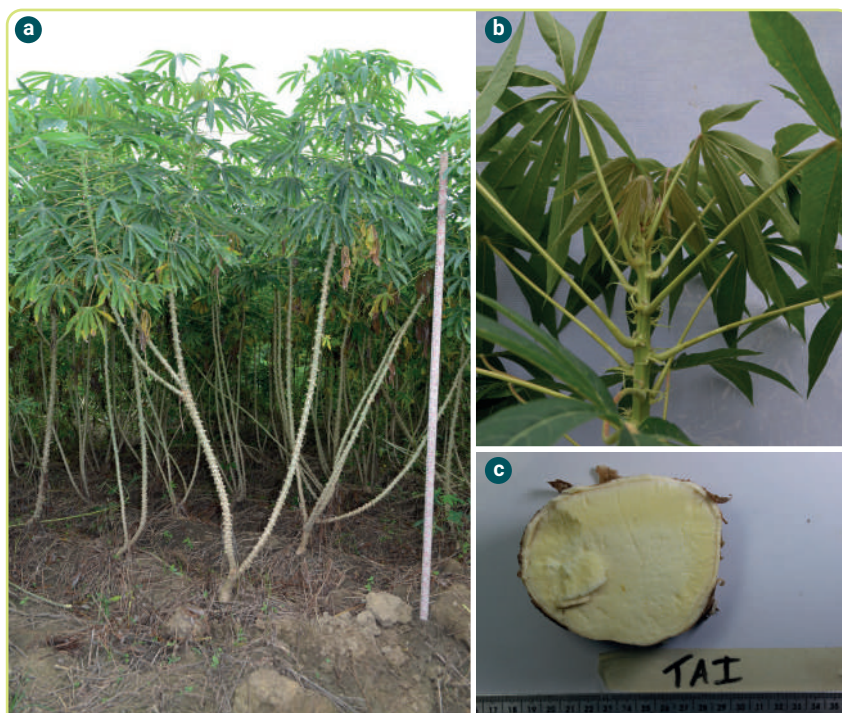


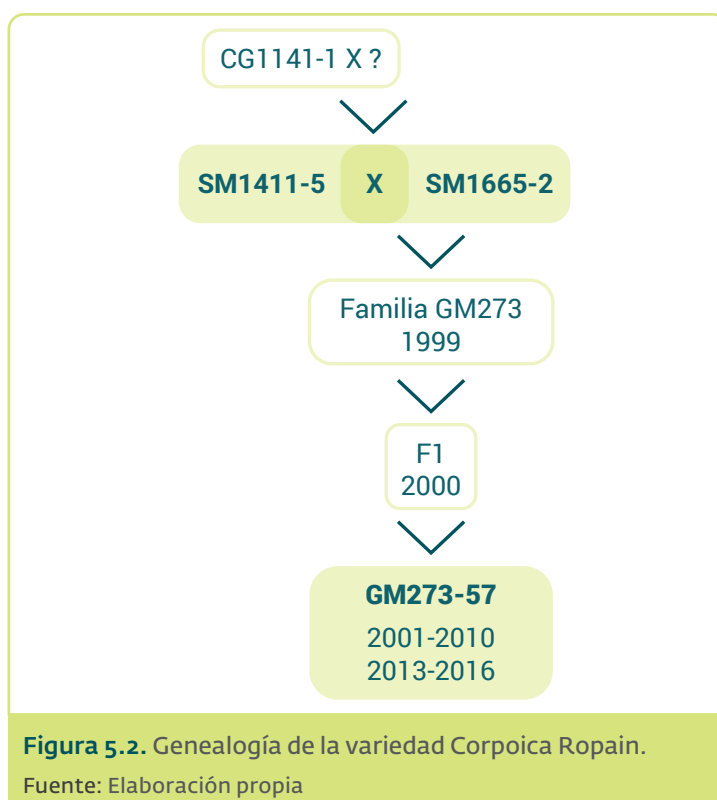
Figura 5.1. Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Tai. a. Arquitectura de la planta; b. Hojas; c. Raíces y tallos de los genotipos.

Fotos: Jorge Luis García Herazo

El promedio de rendimiento de raíces es de 29,45 t/ha, aunque, según las condiciones agroclimáticas, se puede presentar un mayor o menor rendimiento. En general, el cultivo presenta un rendimiento de 10 t/ha de raíces secas, ya que su contenido de materia seca promedio es del 34 %. Sin embargo, cuando esta variedad es sometida a cosecha extendida, es decir, la cosecha después del inicio de lluvias, tiende a disminuir su porcentaje de materia seca debido al abundante rebrotamiento.

Corpoica Ropain (GM 273-57)

GM 273 es una familia de hermanos completos que utilizó como progenitores a los genotipos SM 1411-5 (que proviene de una polinización abierta cuyo progenitor femenino fue CG 1141-1) y SM 1665-2 (también proveniente de una policruza cuya madre fue MCOL 1505). Estos progenitores fueron seleccionados por su alto contenido de materia seca y baja afectación ante las enfermedades y plagas más limitantes en la costa Caribe. Los cruzamientos que dieron origen al genotipo GM 273-57 se realizaron durante el año 1999 e iniciaron el proceso de evaluación como un ensayo F₁ trasplantado en la estación experimental del CIAT en Palmira en el año 2000 (figura 5.2).



El promedio de rendimiento de raíces frescas fue de 26,9 t/ha, oscilando entre 21,9 y 36,6 t/ha. El contenido de materia seca tuvo un promedio del 32,78%, variando entre el 30,73% y el 35,45%. El rendimiento de raíces en base seca, que es una combinación entre el rendimiento de raíces frescas y el contenido de materia seca, tuvo un promedio de 8,9 t/ha, que varía desde 6,7 hasta 12,2 t/ha. El genotipo GM 273-57 presenta valores significativamente más altos para rendimiento de raíces frescas y rendimiento de raíces en base seca en comparación con los genotipos control. La arquitectura de la planta de GM 273-57, sin embargo, muestra una calificación promedio (3,33). Debe recordarse que en la calificación de tipo de planta, el 1 representa excelencia, y el 5, un tipo de planta muy indeseable (figura 5.3).

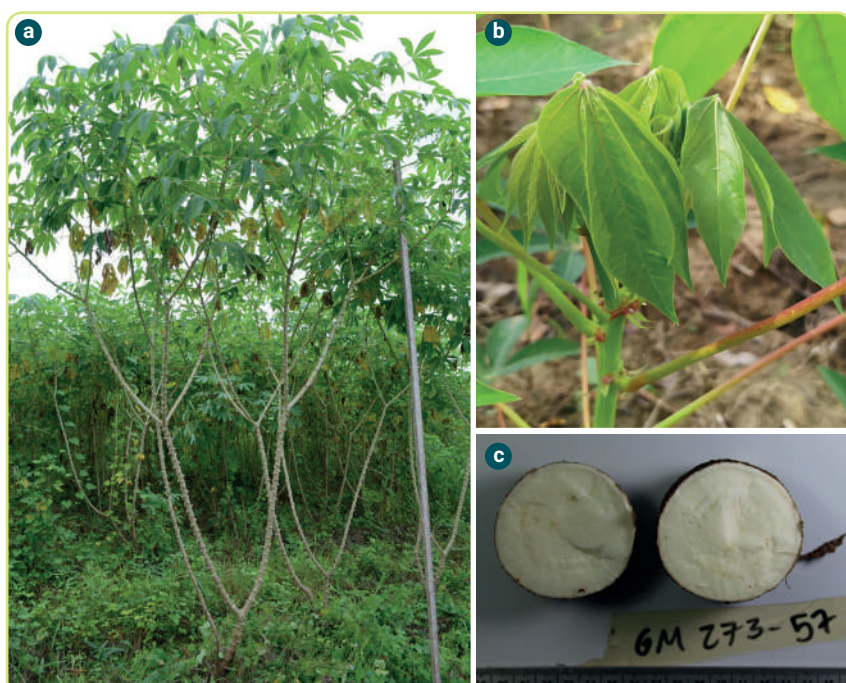


Figura 5.3. Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Ropain. a. Arquitectura de la planta; b. Hojas; c. Raíces y tallos de los genotipos.

Fotos: Jorge Luis García Herazo

Corpoica Sinuana (SM 1411-5)

SM 1411 es una familia de medio hermanos, y, por lo tanto, solo se conoce que su progenitor femenino fue CG 1141-1 (el que a su vez se originó del cruzamiento entre MMEX 11 y MCOL 65). Se trata de un material que ha sido evaluado por bastante tiempo, desde que fuera trasplantado al vivero F1 en el año 1991. Estos progenitores fueron seleccionados por su alto contenido de materia seca y su baja afectación ante las enfermedades y plagas más limitantes en la costa Caribe (figura 5.4).

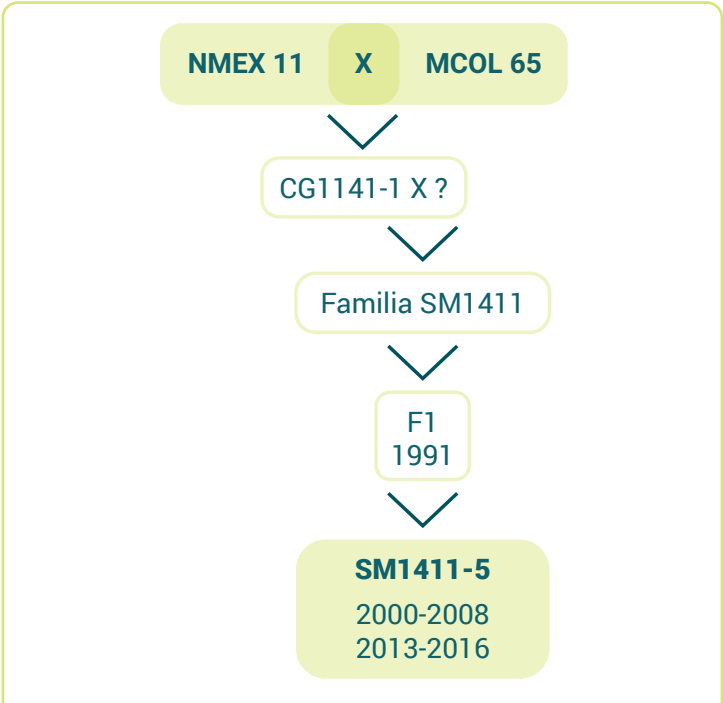


Figura 5.4. Genealogía de la variedad Corpoica Sinuana.

Fuente: Elaboración propia

El promedio de rendimiento de raíces frescas fue de 30,8 t/ha, encontrándose en un rango desde 14,3 hasta 50,8 t/ha. El contenido de materia seca tuvo un promedio del 34,9%,

variando entre el 27,6 y el 45,1%. El rendimiento de raíces en base seca tuvo un promedio de 11,1 t/ha, que varía desde 4,4 hasta 18,9 t/ha. El genotipo SM 1411-5 presentó valores promedio comparables con las variedades testigo en cuanto a rendimiento de raíces frescas (31,8 t/ha) y rendimiento de raíces en base seca (11,4 t/ha). El contenido de materia seca de SM 1411-5 fue excelente, equivalente al del testigo Corpoica Verónica y superior al de Corpoica Tai. El tipo de planta fue muy bueno, con un promedio de 2,22. El índice de cosecha fue relativamente bajo (0,56), pero para esta característica este valor es perfectamente aceptable (figura 5.5).

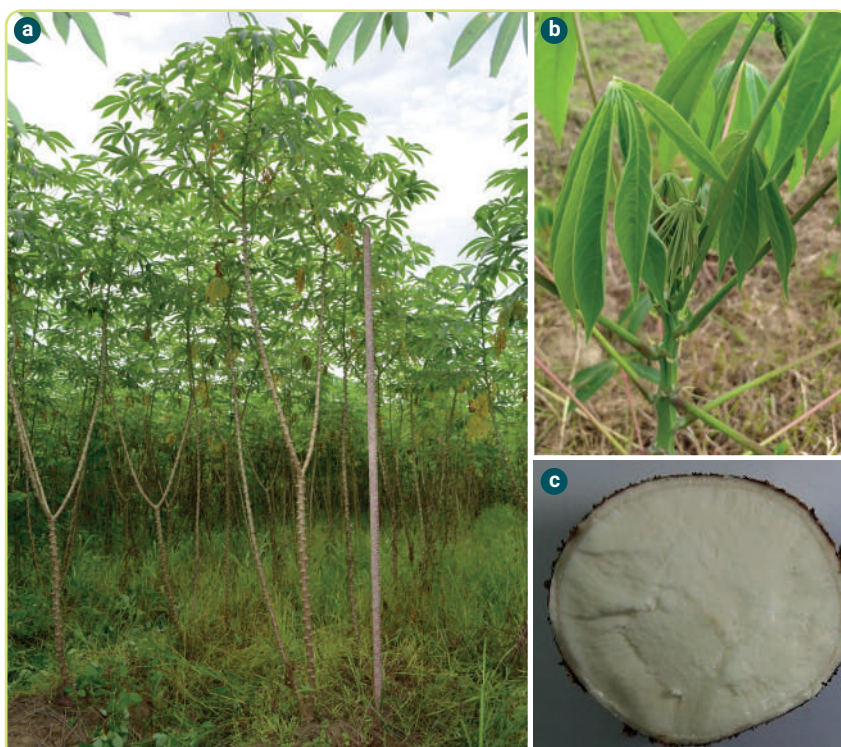
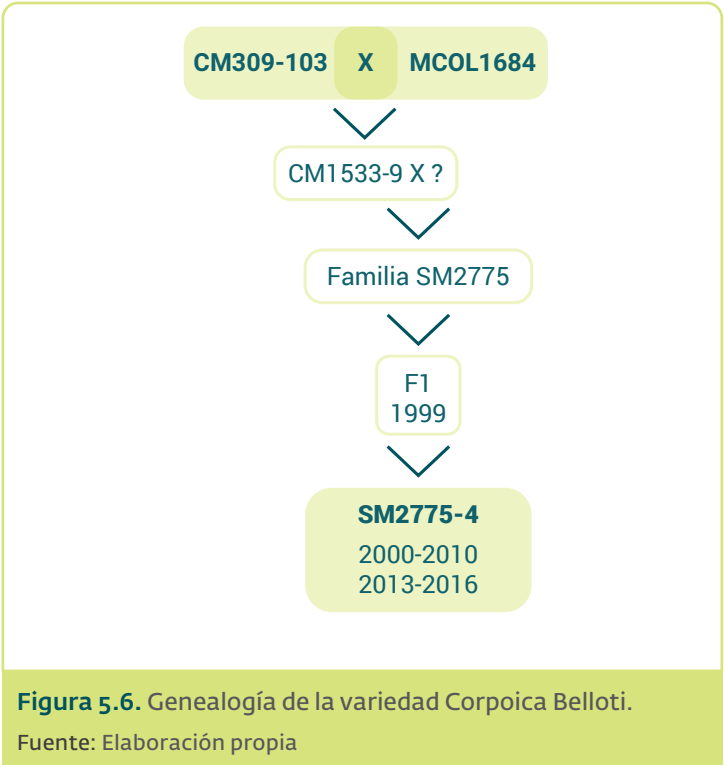


Figura 5.5. Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Sinuana. a. Arquitectura de la planta; b. Hojas; c. Raíces y tallos de los genotipos.

Fotos: Jorge Luis García Herazo

Corpoica Belloti (SM 2775-4)

SM 2775 es una familia de medio hermanos, y, por lo tanto, solo se conoce que su progenitor femenino fue CM 1533-9 (el que a su vez se originó de un cruzamiento dirigido entre CM 309-163 y MCOL 1684). Los cruzamientos que dieron lugar a esta familia se realizaron en el año 1997, y la semilla resultante fue germinada y trasplantada al vivero F1 en 1999. Estos progenitores fueron seleccionados por su alto contenido de materia seca y su baja afectación ante las enfermedades y plagas más limitantes en la costa Caribe (figura 5.6).



El promedio de rendimiento de raíces frescas fue de 28,9 t/ha, con un rango desde 14,7 hasta 36,4 t/ha. El contenido de materia seca tuvo un promedio del 33,7%, variando entre el

30,6 y el 36,4 %. El rendimiento de raíces en base seca tuvo un promedio de 9,8 t/ha, que varía desde 4,9 hasta 12,4 t/ha. El genotipo SM 2775-4 presentó el más alto valor de rendimiento de raíces frescas (30,3 t/ha), junto con Corpoica Tai, y el rendimiento de raíces en base seca fue el más alto. El mejor promedio de contenido de materia seca de SM 2775-4 fue particularmente notable en comparación con el promedio de Corpoica Tai (35,6 % frente al 32,5 %). El tipo de planta del genotipo SM 2775-4 fue bueno (2,51) y no presenta diferencias estadísticas con la calificación de Corpoica Tai (2,55). El índice de cosecha fue relativamente bajo (0,55), pero para esta característica este valor es perfectamente aceptable y el promedio no fue estadísticamente diferente con respecto al resto de los materiales (figura 5.7).

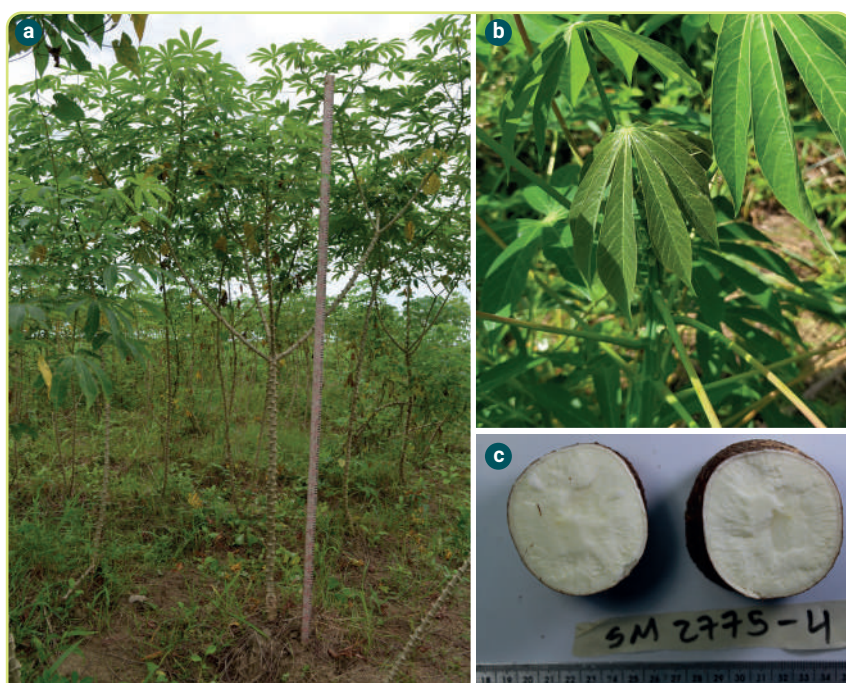


Figura 5.7. Características morfoagronómicas de la variedad Corpoica Belloti. a. Arquitectura de la planta; b. Hojas; c. Raíces y tallos de los genotipos.

Fotos: Jorge Luis García Herazo

Comportamiento de variedades industriales en pruebas semicomerciales

En pruebas semicomerciales, las variedades Corpoica Ropain, Corpoica Sinuana y Corpoica Belloti presentaron un comportamiento agronómicamente deseable, con un buen vigor a los tres meses después de establecimiento. La altura de la planta es comparable con las variedades actualmente cultivadas en la región. La altura de la primera ramificación en los tres genotipos fue superior a los 90 cm, característica que garantiza un adecuado espacio para el manejo cultural de malezas. Adicionalmente, esta arquitectura de planta de las variedades Corpoica Ropain y Belloti permite una producción de material de siembra comparable con las variedades actualmente cultivadas. En cuanto al peso del follaje, los genotipos presentaron una baja producción de biomasa en el follaje en el momento de la cosecha; sin embargo, esta característica no afecta el rendimiento final de raíces (tabla 5.1).

Tabla 5.1. Parámetros relacionados con la arquitectura de la planta de los genotipos GM 273-57, SM 1411-5 y SM 2775-4, y las variedades actualmente cultivadas

Genotipo	Vigor de la planta	Altura de la planta (cm)	Altura de la primera ramificación (cm)	Estacas/planta	Peso del follaje (kg/planta)
GM 273-57	Vigorosa	330,5a	92,2ab	18,6ab	0,78a
SM 1411-5	Vigorosa	322,2a	133,0a	11,5b	0,71a
SM 2775-4	Vigorosa	299,2a	146,2a	21,0a	0,72a
Corpoica Tai	Vigorosa	305,0a	—	19,6ab	2,27b
Corpoica Verónica	Vigorosa	321,3a	81,67ab	19,2ab	3,05b

Nota: las diferentes letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Otras características morfológicas distintivas son el color verde claro de las hojas apicales en los genotipos GM 273-57 y SM 1411-5, mientras que el genotipo SM 2775-4 presenta un color verde oscuro similar a Corpoica Tai (figura 5.1). Las hojas adultas, al igual que las nervaduras, son de color verde, similar a lo observado en Corpoica Tai, pero diferente en comparación con el color púrpura de la nervadura exhibido en Corpoica Verónica. Los genotipos GM 273-57 y SM 2775-4 presentan lóbulo central de forma oblongo-lanceolada, mientras que SM 1411-5 tiene forma elíptica. El genotipo GM 273-57 presenta peciolo de color verde con rojo; SM 1411-5, de color verde con morado, y SM 2775-4, de color verde. Los tallos adultos demuestran un hábito de crecimiento recto, con color externo plateado, y la longitud de los entrenudos es corta.

Los genotipos GM 273-57, SM 2775-4 y SM 1411-5 presentaron características altamente deseables: la longitud de la raíz fue de 15-30 cm en el genotipo SM 2775-4 y superior a los 30 cm en el caso de los genotipos GM 273-57 y SM 1411-5. La longitud del pedúnculo en estos genotipos reduce las pérdidas asociadas con el corte inadecuado en el momento de separar las raíces del vástago, ya que presentan longitudes intermedias y largas. El color de la pulpa de la raíz en los genotipos GM 273-57, SM 2775-4 y SM 1411-5 es completamente blanco, característica que garantiza una excelente calidad como materia prima para la extracción de almidón. Finalmente, las raíces de los genotipos GM 273-57 y SM 1411-5 presentan forma cilíndrica, mientras que el genotipo SM 2775-4 presenta raíces cónico-cilíndricas (tabla 5.2).

Tabla 5.2. Características de las raíces de los genotipos GM 273-57, SM 1411-5 y SM 2775-4, y las variedades actualmente cultivadas

Genotipo	Longitud de las raíces	Longitud del pedúnculo	Color de la raíz	Color de la pulpa	Forma de las raíces
GM 273-57	Largas	Largo	Café claro	Blanco	Cilíndricas
SM 1411-5	Largas	Largo	Café claro	Blanco	Cilíndricas
SM 2775-4	Intermedias	Intermedio	Café oscuro	Blanco	Cónico-cilíndricas
Corpoica Tai	Largas	Largo	Blanco	Crema	Cónico-cilíndricas
Corpoica Verónica	Intermedias	Largo	Café oscuro	Crema	Cónico-cilíndricas

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a parámetros de rendimiento, a pesar de no encontrarse diferencias significativas entre los genotipos GM 273-57, SM 1411-5, SM 2775-4 y las variedades actualmente cultivadas en el peso de las raíces por planta, los resultados muestran valores superiores en estos tres genotipos. Además, estos presentaron valores de rendimiento significativamente superiores a las variedades testigo. Los genotipos evaluados no presentaron diferencias significativas en cuanto al contenido de materia seca, aunque el genotipo SM 2775-4 presentó, en promedio, un alto contenido. En términos de rendimiento de raíces frescas, los genotipos evaluados presentaron un rendimiento en materia seca significativamente superior al obtenido por las variedades testigo (tabla 5.3).



Tabla 5.3. Parámetros de rendimiento obtenidos en los genotipos GM 273-57, SM 1411-5 y SM 2775-4, y las variedades actualmente cultivadas

Genotipo	Peso de las raíces (kg/planta)	Rendimiento de raíces frescas (t/ha)	Contenido de materia seca (%)	Rendimiento de materia seca (t/ha)
GM 273-57	3,60a	35,37a	32,47a	11,46a
SM 1411-5	3,18a	31,13ab	32,78a	10,20ab
SM 2775-4	3,16a	31,62ab	34,86a	11,09ab
Corpoica Tai	2,62a	19,29b	32,08a	7,29ab
Corpoica Verónica	2,31a	22,16ab	33,10a	6,12b

Nota: las diferentes letras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).
Fuente: Elaboración propia

Según los datos reportados para la región Caribe, las variedades testigo presentan un rendimiento promedio alrededor de 20 t/ha, valor igualmente reportado en estudios para las variedades industriales cultivadas en la región (Aguilera-Díaz, 2012). Al respecto, los genotipos recomendados superan significativamente este rendimiento reportado en las condiciones climáticas de la región Caribe.

Capítulo 6.

Fisiología del cultivo de la yuca industrial

Rommel Igor León Pacheco, Carina Cecilia Cordero Cordero, Alfonso Rafael Orozco Guerrero, Martha Liliana Montes, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Julio Ernesto Muñoz Falcón y Elvia Amparo Rosero Alpala

En América Latina, aproximadamente el 45% del área total de cultivo de yuca corresponde a áreas con poca disponibilidad de agua o con lluvias esporádicas (Toñño et al., 2008). A pesar de esto, la planta de yuca es susceptible a la sequía en el inicio de la fenología, durante la cual el déficit hídrico provoca afectaciones en el enraizamiento, la brotación, el crecimiento vegetativo, la producción y la calidad de las raíces. El estrés hídrico por calor y radiación aumenta la resistencia global a la difusión del vapor de agua al cerrar los estomas, reduciendo así la respiración y el aporte de CO_2 para la fotosíntesis (Nogueira, 1997).

Etapas fenológicas del cultivo

La planta de yuca cumple su ciclo de desarrollo en cinco fases fisiológicas: cuatro activas y una inactiva (Gomes, 2015; Ternes, 2002) (figura 6.1). En la primera fase, llamada surgimiento de raíces o enraizamiento, en condiciones favorables de humedad y temperatura, se generan las primeras raíces fibrosas, lo cual ocurre después del séptimo día de la siembra.

En la segunda fase continúa la formación de las raíces, también fibrosas, y se da la brotación y producción del tejido foliar inicial; esta fase dura unos setenta días.

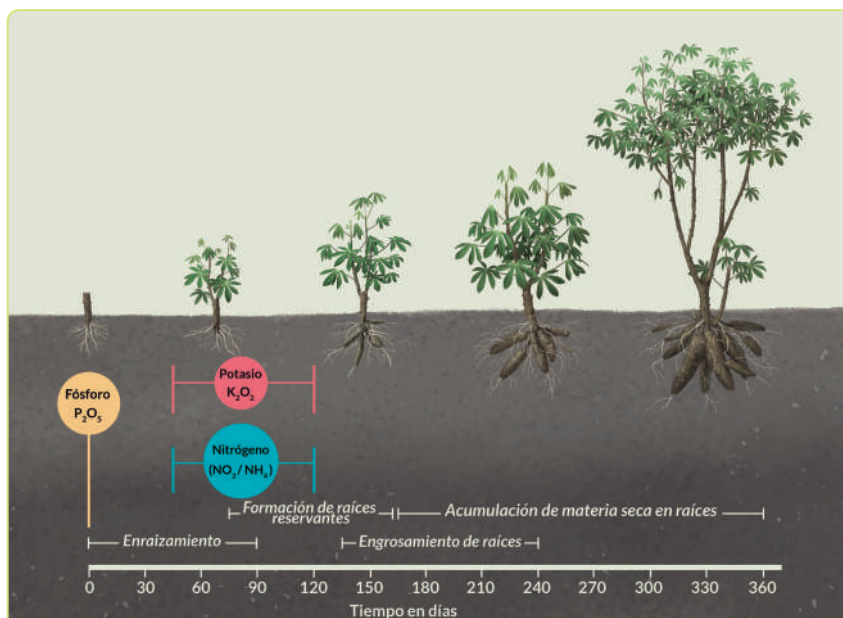


Figura 6.1. Etapas fenológicas de la yuca.

Fuente: Espitia Montes et al. (2022)

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

En la tercera fase se da el desarrollo de ramificaciones (dependiendo de la variedad) o de órganos foliares; esta fase dura unos noventa días. Durante esta fase comienza la acumulación de almidón en las raíces fibrosas.

En la cuarta fase se da el llenado de las raíces, que corresponde a la migración de las sustancias de reserva desde las hojas hasta las raíces de almacenamiento; esta fase comienza en el quinto mes. En esta etapa no hay un mayor crecimiento de las raíces en cuanto a longitud, pero sí en cuanto a diámetro, por la deposición del almidón.

En la quinta y última fase, llamada de reposo, la planta pierde el follaje naturalmente, por lo que cierra su actividad vegetativa y se mantiene únicamente la migración de sustancias de reserva hacia las raíces. Es durante esta fase que la planta de yuca almacena la reserva máxima de almidón en

las raíces. Después de este periodo de descanso, se da una nueva etapa de crecimiento en la que se reinicia la formación de ramas y hojas a expensas del almidón almacenado en los tallos y las raíces durante la etapa de crecimiento anteriormente descrita.

Acumulación de materia seca en yuca industrial

Las variedades de yuca industrial cultivadas en la costa Caribe colombiana muestran, en general, el proceso fenológico descrito previamente (Gomes, 2015; Ternes, 2002). La brotación se presenta entre 15 y 30 días después de la siembra, y responde a factores ambientales y de la variedad. En muchos casos, la eficiencia en el crecimiento inicial de órganos foliares, como el número de hojas, está asociada a la precocidad en la acumulación de almidón en las raíces, ya que esta etapa fenológica comienza cuando las plantas de yuca tienen por lo menos 21 hojas totalmente expandidas; de esta forma, las variedades que producen hojas más rápidamente son aquellas que comienzan más pronto la acumulación de almidón (Rós et al., 2011).

En general, las variedades de yuca industrial en el Caribe presentan un ciclo productivo de nueve meses, tiempo en el cual se encuentra la mayor producción de raíces con altos contenidos de materia seca. Debido a la temporalidad de esta región, este tiempo de cosecha coincide con la época de verano; sin embargo, este periodo de cosecha se puede extender a más de diez meses, con lo cual, al llegar las lluvias, las plantas inician su reactivación, presentándose una severa disminución en el contenido de materia seca en las raíces. Así, las variedades más cultivadas, Corpoica Tai y Corpoica Verónica, muestran un descenso significativo en el contenido de materia seca a partir del décimo mes después de siembra, el cual no es recuperado sino hasta los quince meses (figura 6.2).

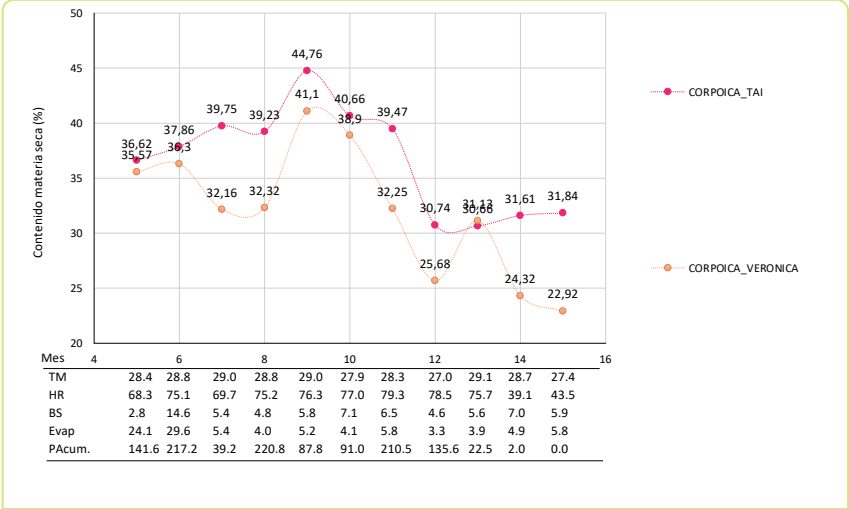


Figura 6.2. Contenido de materia seca en variedades de yuca industrial a través del tiempo.

Fuente: Elaboración propia

En general, la cosecha extendida produce un efecto significativo en la calidad de las raíces en términos de contenido de materia seca, y los periodos lluviosos están relacionados con la disminución del contenido de materia seca en las raíces de yuca, como respuesta a la translocación de almidones almacenados en las raíces hacia el crecimiento de nuevos brotes. Este fenómeno representa grandes pérdidas en las variedades actualmente cultivadas, ya que las plantas que no pueden ser cosechadas antes de la época lluviosa tienden a perder significativamente su contenido de materia seca.

Parámetros fisiológicos del cultivo de yuca

Las variables de transpiración (E) durante dos épocas fenológicas mostraron valores que, a los cinco meses, oscilaron entre 1,27 y 3,9 mol de H₂O/m²/s en localidades del Caribe. Este amplio rango de respuesta estuvo relacionado con el

comportamiento de adaptación específico a cada región. A los siete meses, momento en el que se presenta la máxima acumulación de almidones en las raíces, cambió el comportamiento, con valores promedio de 2,9 a 5,8 mol de $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$. De forma similar, en diferentes genotipos de yuca industrial se registraron, a los 3-4 meses de edad, tasas de asimilación de CO_2 que oscilaron entre 19,9 y 24,7 μmol de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$; la conductancia estomática osciló entre 0,38 y 0,66 mol de $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$; la transpiración osciló entre 7,04 y 9,35 mmol de $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$; el déficit de presión de vapor osciló entre 1,81 y 2,23 kPa, y la temperatura interna de la hoja osciló entre 35,06 y 35,69 °C.

Para la medición de estos parámetros ecofisiológicos se utilizó una radiación fotosintéticamente activa de 1.500 μmol de fotones/ m^2/s y CO_2 de referencia de 400 μmol CO_2 (datos no publicados). Los máximos valores de tasas de asimilación de CO_2 obtenidos en localidades del Caribe fueron similares a los reportados previamente (Carmona et al., 2007; León et al., 2014, 2016), comportamiento de suma importancia debido a que la planta ajusta su eficiencia fotosintética con respecto a la fluctuación de factores como la máxima intensidad lumínica, la temperatura, el estado fisiológico, factores genéticos y la regulación estomática, dependiente del estado hídrico del continuo suelo-planta-atmósfera (Mejía de Tafur, 2002). El éxito de la yuca para soportar el estrés abiótico es su capacidad para regular rápidamente numerosos procesos metabólicos frente a cambios de condiciones ambientales favorables o desfavorables (León et al., 2016; Tofiño et al., 2008).

Capítulo 7.

Proceso de producción de material vegetal de yuca micropropagado *in vitro* y sus fases de multiplicación para producción de semilla de alta calidad

Rocío Margarita Gámez Carrillo, Amaury Aroldo Espitia Montes y Sol Mara Regino Hernández

La biotecnología agrícola es aquella que se emplea para la mejora de cultivos y plantas. En general, se centra en la investigación y desarrollo de las plantas con o sin modificaciones genéticas, con la finalidad de mejorar sus características —haciéndolas resistentes a condiciones de estrés biótico o abiótico—, mejorar su productividad y aumentar su producción, así como el número y calidad de las semillas, principalmente.

Tipos de propagación en plantas

- **Macropropagación:** es un método aplicado bajo cobertura o en campo, en el cual se elimina la dominancia apical y se producen hijos. Se puede aplicar decapitación parcial o total. Utiliza métodos tradicionales, como plantaciones a partir de rizomas, corte de raíces, acodos, etc.
- **Micropropagación:** en condiciones asépticas y controladas, es una técnica con la cual se manipulan, aíslan e incuban órganos, tejidos o células para producir poblaciones de plántulas. Cada una de las plántulas que se produce puede crecer y ser fenotípica y genotípicamente idéntica a la planta original de la que se deriva (Villalobos, 1991),

así como generar plantas completas a partir de la clonación de la planta madre (Njukwe et al., 2007).

Ventajas de la propagación de plantas *in vitro*

- Permite una producción a gran escala y más rápida que la propagación convencional.
- Permite la transferencia de genes con rasgos deseables.
- Permite la generación de plantas genéticamente modificadas, con características agrónomicamente mejoradas, como un rendimiento superior, mejor calidad nutricional y mayor resistencia a enfermedades.
- Permite la síntesis de metabolitos secundarios o sustancias químicas de interés económico.
- Permite la conservación de plantas en estado vegetativo, con funcionamiento metabólico ralentizado (Lambardi et al., 2008) o a través de crioconservación (García-González et al., 2010).
- Debido a sus ventajas, esta técnica constituye la tecnología más utilizada para la clonación de especies de interés económico.
- Hay un incremento de la eficiencia en la micropropagación por las estrategias para aumentar los coeficientes de multiplicación y el volumen de material por área de cultivo, así como por la automatización o semiautomatización de algunas etapas (Orellana, 1998; Pérez et al., 1998).

Desventajas de la propagación de plantas *in vitro*

A escala comercial, el costo de la mano de obra se considera una desventaja de esta técnica (Perez-Barraza et al., 2000; Ziv, 1989), así como el elevado gasto por energía

eléctrica, el uso de agar como agente gelificante en el medio de cultivo y la capacidad limitada de los frascos. En algunas especies micropropagadas, los coeficientes de multiplicación son bajos, lo cual también incrementa los costos de producción y disminuye la eficiencia en el proceso (Pérez et al., 1998; Vasil, 1994).

La necesidad de producir material de alta calidad, rejuvenecido fisiológicamente y disponible para los productores de yuca ha requerido la búsqueda de alternativas para incrementar la eficiencia en los métodos de propagación y, por lo tanto, la aplicación de las técnicas biotecnológicas. Al respecto, se han desarrollado protocolos para la propagación *in vitro* por organogénesis de este cultivo (Medero, 1995; Roca et al., 1984).

Metodología para la introducción y distribución del germoplasma de yuca

En 1980, el banco de germoplasma de yuca fue introducido en un banco de germoplasma *in vitro*. Así, se produjeron cultivos estériles desde plantas madre libres de enfermedades; para esto, el uso de termoterapia y el cultivo de meristemas permitieron avanzar en la producción de plantas libres de virus de importancia cuarentenaria. Los envíos se realizaron en tubos de ensayo empacados junto con los siguientes documentos: a) el Acuerdo Normalizado de Transferencia de Material (ANTM), b) un certificado fitosanitario emitido por la autoridad colombiana, c) una lista de materiales, d) instrucciones de manejo de los cultivos al ser recibidos, e) la información del pasaporte, f) una evaluación morfológica y bioquímica, y g) el permiso de importación (Roca et al., 1989).

Según el acuerdo entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Órgano Rector del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Tirfaa) de la FAO, el Banco de Germoplasma del CIAT (operado por el Programa de Recursos Genéticos) tiene el mandato para distribuir materiales de las colecciones en fideicomiso, según las indicaciones aprobadas por los mismos países. En estas instalaciones, el germoplasma de yuca clasificado como libre de patógenos se encuentra disponible para su distribución internacional de manera gratuita, con previa solicitud. El germoplasma se transfiere con una declaración de sanidad, un certificado fitosanitario y una copia del ANTM. Los fines de distribución aprobados tienen que ver con objetivos de alimentación y agricultura que incluyan producción comercial, conservación, mejoramiento, enseñanza e investigación. Para el buen funcionamiento de los bancos de germoplasma, hay unos principios fundamentales que explican por qué y para qué se conservan los recursos fitogenéticos; estos principios constituyen la base para establecer las normas y los criterios esenciales para una buena gestión de un banco de germoplasma. Los principios fundamentales inherentes a la conservación son:

- **Identidad de las accesiones:** se debe velar por que la identidad de las accesiones de las semillas conservadas en bancos de germoplasma se mantenga a lo largo de los distintos procesos: desde la adquisición hasta el almacenamiento y la distribución.
- **Mantenimiento de la viabilidad:** todos los procesos de los bancos de germoplasma deben aplicar las normas necesarias para garantizar que se mantengan niveles aceptables de viabilidad. Por tanto, debe prestarse especial atención a las metodologías aplicadas sobre adquisición, procesamiento y almacenamiento de germoplasma.
- **Mantenimiento de la integridad genética:** la necesidad de mantener la integridad genética está estrechamente relacionada con el mantenimiento de la viabilidad y

la diversidad de la muestra original recogida. Durante la adquisición, deberán obtenerse muestras de semillas suficientemente representativas, de buena calidad y en cantidad suficiente.

- **Mantenimiento de la sanidad de las semillas:** los bancos de germoplasma deben esforzarse por garantizar, en la medida de lo posible, que las semillas que conservan y distribuyen estén libres de plagas cuarentenarias reglamentadas (bacterias, virus, hongos e insectos).
- **Seguridad física de las colecciones:** la seguridad de las estructuras físicas de las instalaciones del banco de germoplasma es un requisito fundamental, pues allí se conservan las accesiones y se protegen los materiales contra factores externos, como desastres naturales, a partir de la refrigeración. Asimismo, los bancos de germoplasma deben asegurar que los materiales estén duplicados.
- **Disponibilidad y uso del germoplasma:** el material conservado siempre debe estar disponible para su uso.
- **Disponibilidad de la información:** con el fin de garantizar la comunicación de la información y la rendición de cuentas, toda la información deberá registrar los movimientos y las transferencias en tiempo real.
- **Gestión proactiva de los bancos de germoplasma:** la conservación sostenible y eficaz de los recursos genéticos depende de la buena gestión del material de germoplasma conservado. Dicha gestión debe garantizar que los materiales se conserven de manera eficiente y se pongan a disposición en tiempo oportuno y en cantidad suficiente para su uso posterior por parte de los fitomejoradores, agricultores e investigadores, entre otros usuarios.

Por la naturaleza del trabajo y la expansión de las colecciones, el Banco de Germoplasma del CIAT no es un centro de multiplicación de material para terceros. AGROSAVIA es la entidad que suplente este requerimiento, pues tiene la capacidad

de producir y escalar semilla a partir de los pocos individuos suministrados por el CIAT. Sin embargo, es importante enfatizar que hay algunos materiales de siembra que se introducen al país o a una región de manera no formal. En esos casos, estos cultivares deben ser seleccionados y enviados al CIAT para que este les aplique los procesos de limpieza e indexación.

La producción de semillas vegetativas limpias partiendo de materiales iniciales certificados generados por técnicas de multiplicación *in vitro* constituye una importante alternativa de producción de materiales de siembra de alta calidad. Las estrategias de vinculación tecnológica desarrolladas por AGROSAVIA han permitido escalar la producción de semilla élite en proyectos agroindustriales, con beneficios como los siguientes:

- Aumentos de productividad sobre variedades comerciales.
- Disminución en costos de producción.
- Reducción de impactos ambientales por sustitución de agroquímicos y siembra de cultivos a partir de semilla sana.

Se debe tener en cuenta que importantes cultivos agrícolas del trópico se han visto limitados por problemáticas fitosanitarias asociadas con plagas y enfermedades.

Por todo lo anterior, AGROSAVIA ha desarrollado procesos de innovación con énfasis en el escalamiento tecnológico, para aumentar significativamente la competitividad de los sistemas de producción. El cultivo de tejidos permite obtener grandes cantidades de plantas, seleccionadas en campo por su alto rendimiento, libres de plagas y enfermedades, y con ventajas comparativas respecto a las sembradas a partir de semilla tradicional.

Gracias a estos proyectos, clientes comerciales o aliados estratégicos pueden acceder a varios tipos de materiales producidos por AGROSAVIA:

- **Material inicial o *in vitro*:** plantas producidas en el laboratorio de cultivo de tejidos o micropropagación.
- **Semillas super-élite o *ex vitro*:** plantas enraizadas y endurecidas en el invernadero núcleo.
- **Semillas élite:** plantas establecidas en el vivero.

A partir de estas semillas, los clientes de AGROSAVIA también pueden aplicar escalamiento tecnológico, endureciendo las plantas y multiplicando la semilla para su establecimiento en el sitio definitivo.

El establecimiento de este tipo de semilla, producida a partir de procesos biotecnológicos, requiere cuidados y condiciones ambientales especiales para garantizar su viabilidad y un excelente comportamiento productivo en campo. Solo si se atienden cuidadosamente las indicaciones sobre su manejo, se garantiza que la semilla mantenga la calidad.

Material vegetal inicial

El material vegetal puede tener diferentes fuentes de origen, como bancos de germoplasma vegetal, otros laboratorios y centros de investigación; sin embargo, cuando se quiere propagar un material, ya sea por preferencia de los productores o la industria, o para programas de investigación, se pueden seleccionar plantas madre con buenas características (buen rendimiento, ausencia de problemas fitosanitarios, etc.), a las cuales se les cortan los tallos, de los que se extraen estacas de 30 cm de largo, con 15 entrenudos, para luego ser enviadas al CIAT para su limpieza e indexación. Estos materiales libres de virus son devueltos al laboratorio de AGROSAVIA para su micropropagación *in vitro*.

Recepción del material de siembra

En el laboratorio del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA se reciben los materiales que provienen de otros laboratorios; las plántulas llegan en tubos de ensayo o frascos rotulados y sellados (figura 7.1). Los recipientes con las vitroplantas se ubican en el cuarto de crecimiento en condiciones de 26-32°C de temperatura, con 16 horas luz y 8 de oscuridad de fotoperiodo. Posteriormente, se abre la hoja de vida del material inicial en el Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) de AGROSAVIA, y se estipula una etiqueta dependiendo de la variedad. El material permanece en observación durante 2-4 semanas, para realizar un seguimiento de la presencia de contaminación y del desarrollo de las plantas. Si durante el tiempo de incubación se observa alguna contaminación o cualquier característica de no conformidad en los materiales, se debe reportar en el Registro de Productos No Conformes (PNC), ubicar el material en el sitio asignado para PNC y llevar a cabo el manejo respectivo.

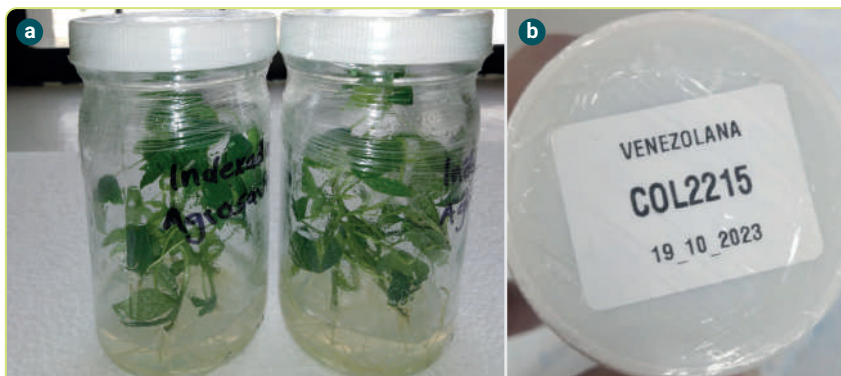


Figura 7.1. Material vegetal. a. Material vegetal del CIAT; b. Indexado y rotulado de plantas, para entrega a AGROSAVIA mediante acuerdos de transferencia de material (ATM).

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes y Rocío Margarita Gámez Carrillo

Micropropagación *in vitro*

Transcurrido el tiempo de observación, los tubos con material vegetal se llevan al área de transferencia. Cuando el material cuenta con el tamaño ideal, inicia el proceso de multiplicación de acuerdo con el protocolo estandarizado por AGROSAVIA.

Obtención de explantes

En cabinas de flujo, con ayuda de pinzas y un bisturí, las plantas se extraen de los tubos o contenedores, y se ubican sobre servilletas o papel estéril, o directamente sobre las cajas Petri (figura 7.2). Se procede a quitar las hojas secas, las raíces y parte del tallo para obtener un explante de aproximadamente 1 cm de largo, con mínimo una y máximo tres yemas (figura 7.3); igualmente, se deben separar los explantes apicales de los axilares.



Figura 7.2. Plántulas listas para su división en explantes. a. Plántulas listas para su división en explantes o nudos; b. El material *in vitro* alcanza alturas cercanas a los 5 cm, con raíces y hojas, llenando y alcanzando el borde del contenedor.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

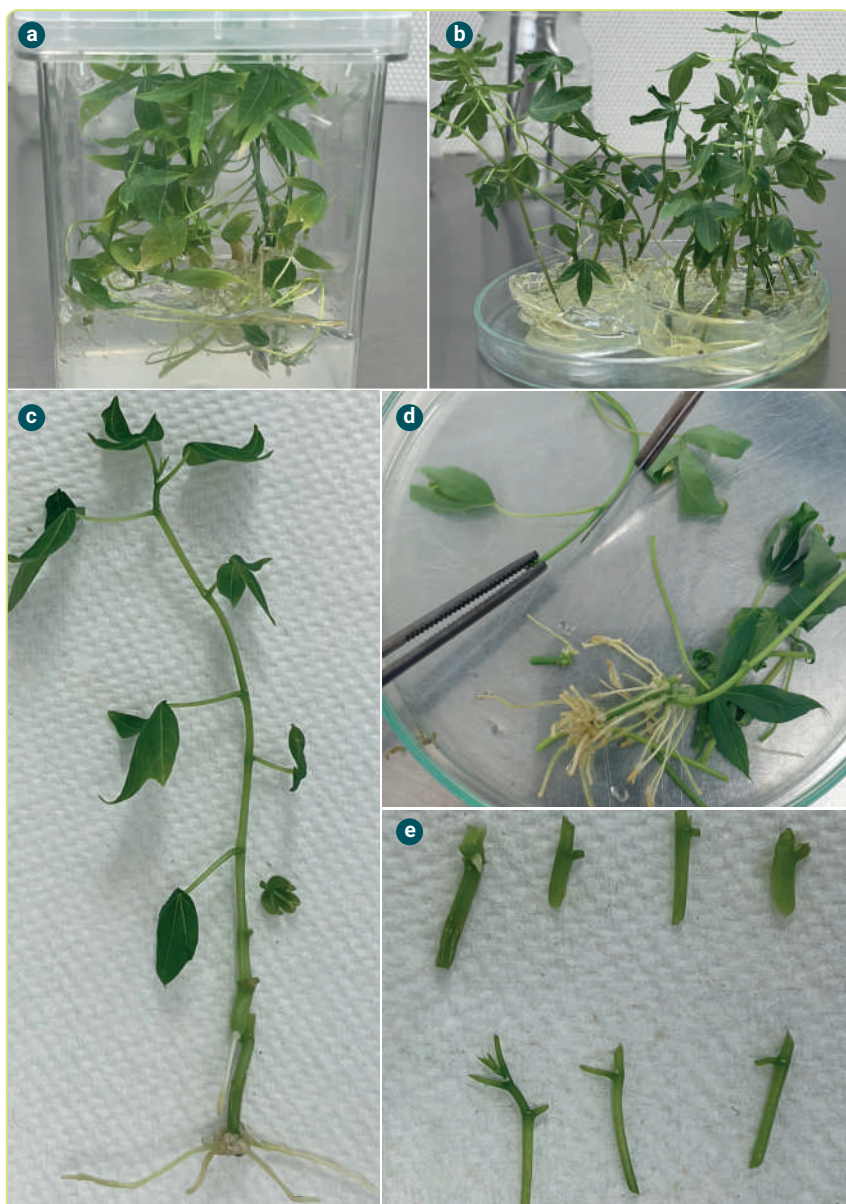


Figura 7.3. Fraccionamiento de la plántula para la obtención de explantes. a, b y c. Secuencia de la selección de las plántulas; d y e. Fraccionamiento e individualización de los nudos o explantes, para el escalamiento de nuevas plántulas *in vitro*. Raíces y hojas son eliminadas.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo y Amaury Aroldo Espitia Montes

Preparación del medio de cultivo

El medio de cultivo ajustado para el establecimiento contiene sales MS (Murashige & Skoog, 1962); está complementado con 1 mg de tiamina, 100 mg de m-inositol, 30 g de sacarosa, 6 g de agar (o 2 g de phytigel), con pH de 5,8, y es esterilizado durante 20 minutos para su posterior tapado y sellado en condiciones de asepsia.

Para el proceso de multiplicación, se prepara el medio de cultivo específico, que contiene MS (Murashige & Skoog, 1962), 1 mg de tiamina, 100 mg de myoinositol, 30 g de sacarosa, 0,5 mg de ácido 1-naftalenacético (ANA), 6 g de agar y un pH de 5,8, y se realiza la siembra en los contenedores.

Siembra de explantes

Los explantes obtenidos son establecidos en contenedores de 750 mL con medio de cultivo para multiplicación; en cada contenedor caben de 10 a 15 explantes (figura 7.4). Después, los contenedores se marcan con la etiqueta asignada al material vegetal. Posteriormente, se llevan a cuarto de crecimiento para incubación por 3-6 semanas, a 26-32°C de temperatura, con 10-16 horas de fotoperiodo (figura 7.5). Los contenedores son ubicados en el estante respectivo, y se registra el movimiento realizado en la hoja de vida del material vegetal.

Desde el mismo momento en que el material es trasladado al cuarto de crecimiento hasta el siguiente cambio de fase, se debe monitorear frecuentemente el comportamiento de los explantes para cerciorarse de que presenten una respuesta positiva en cuanto a formación de plántulas con buen desarrollo y vigor. Si durante el tiempo de incubación se observa contaminación o cualquier característica de no conformidad en los materiales, se debe reportar en el Registro de PNC y realizar el manejo respectivo vigente. Se debe

repetir el procedimiento anterior cada 3-6 tres semanas,
hasta obtener la cantidad de plantas requerida.



Figura 7.4. Siembra de explantes de yuca en contenedores.

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes



Figura 7.5. Plántulas de yuca en cuartos de crecimiento, con el fotoperiodo requerido.

Fotos: Jhon Jairo Roperó Rodríguez

Material micropropagado

Al cumplir las cantidades programadas, se deben seleccionar contenedores con plantas bien desarrolladas (5-10 cm de altura, buen desarrollo de la parte aérea y adecuado sistema radicular) y llevarlos al área de preparación del material vegetal. Después, se sacan las raíces del contenedor y se lavan cuidadosamente con agua limpia, para eliminar residuos del medio; además, se sumergen en una solución fúngica a base de oxiclورو de cobre por tres minutos (figura 7.6). Luego, las plántulas se clasifican por tamaño, se envuelven en papel húmedo y se llevan al invernadero para iniciar el proceso de endurecimiento (figura 7.7).



Figura 7.6. a. Plántulas de yuca para endurecimiento, retirando el agar del medio de cultivo; b. Proceso de desinfección en una solución antifúngica.

Fotos: Jhon Jairo Ropero Rodríguez



Figura 7.7. Plántulas provenientes de laboratorio para llevar a invernadero.

Foto: Amaury Aroldo Espitia Montes

Cuando el material se va a enviar a los invernaderos en las diferentes ciudades, se ubican 50-100 plantas por contenedor de 750 mL y se agregan aproximadamente 100 mL de agua. Posteriormente, se sellan con vinipel y se coloca una etiqueta con la identificación según el código del material. Los contenedores se empaquetan en cajas debidamente rotuladas. Por último, se hace el envío a la ciudad de destino para iniciar el proceso de endurecimiento en el invernadero núcleo.

Aclimatación de plántulas de yuca in vitro en invernadero

Preparación del sustrato

El sustrato le brindará a la planta anclaje y provisión de nutrientes, por lo que se recomienda hacer una mezcla de aluviación, arena y lombricompuesto en proporción del 85 %, 10 % y 5 %, respectivamente; luego, se llenan bandejas de 24 alveolos con dicho sustrato (aproximadamente 8,2 kg de sustrato)

y se desinfecta con una solución de 2.0 mL L⁻¹ 1.3 Diformil 3 Propano) (figura 7.8).



Figura 7.8. Desarrollo y crecimiento de las plántulas provenientes del laboratorio, aclimatadas en el invernadero y establecidas en un sustrato específico debidamente desinfectado. a. Estadios iniciales de crecimiento; b. Planta desarrollada y aclimatada a condiciones externas.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Sin embargo, también se han encontrado las siguientes opciones para los sustratos en condiciones de invernadero:

- **Opción 1:** aluvión, ceniza de cascarilla de arroz y lombriabono, en proporción del 85%, 10% y 5%, respectivamente.
- **Opción 2:** arena y lombriabono, en proporción del 75% y 25%, respectivamente, recomendada para endurecimiento.
- **Opción 3:** arena, aluvión y lombriabono, en proporción del 50%, 30% y 20%, respectivamente, recomendada para multiplicación.
- **Opción 4:** lombriabono y arena, en proporción del 50% y 50%, respectivamente.

Para la desinfección, se encuentran las siguientes opciones:

- **Opción 1. Solarización:** el sustrato preparado se esparce sobre un plástico negro, manteniendo una capa de 10 cm de espesor, en un área sin sombra; el sustrato se humedece y se cubre con el plástico, a fin de alcanzar una temperatura promedio de 70 °C, necesaria para la eliminación de microorganismos patógenos. Este proceso requiere de 21 a 45 días, dependiendo de las condiciones ambientales.
- **Opción 2. Química:** se prepara la solución desinfectante utilizando 5 mL/L de agua. Diez litros de esta solución alcanzan para cubrir un volumen de 0,3 m³ de sustrato. La aplicación de la solución desinfectante se hace con una regadera o fumigadora, y con ayuda de la pala se mezcla el sustrato para asegurar que la preparación haga contacto con todas las partículas que lo componen. Se deja actuar por 24 horas.

Producción de material vegetal de categoría superélite (SE)

Con ayuda de una espátula, se abre en el sustrato un orificio de aproximadamente 3 cm, se ubica la planta y, para asegurar que la raíz quede totalmente cubierta, se presiona el sustrato.

El endurecimiento de las plántulas se hace gradualmente, y para ello se tienen definidas dos fases:

La fase 1 comprende desde el momento de la siembra hasta las 3-6 semanas después. Dado que la primera semana es la más crítica, ya que se debe acondicionar la planta de condiciones *in vitro* a *ex vitro*, se usa en primer lugar el sarán o polisombra, con 27%-30% de luz, y en segundo lugar el sistema de riego por nebulización y manejando frecuencias

definidas; se cuida que la temperatura y la humedad relativa se mantengan en rangos de 28 a 34°C y del 80 % al 95 %, respectivamente. Los riegos iniciales se realizan a intervalos de 3 a 12 minutos, con frecuencias de 3 a 12 segundos. En esta fase se recomienda el uso de una cobertura que permita mantener la humedad al menos por una semana. A partir de la segunda semana de endurecimiento, se deja filtrar el 40 % de luz solar, se conserva la humedad relativa superior al 80 % y se aplica fertilizante compuesto NPK al sustrato. Se deben hacer monitoreos constantes para identificar la presencia de plagas y enfermedades, y, en caso de ser necesario, se aplica tiametoxam, en dosis de 2 g/L de agua, y azoxystrobin, en dosis de 1 mL/L de agua.

La segunda fase comprende entre la tercera y la sexta semana de endurecimiento; en esta etapa, el sarán o polisombra debe permitir un 60 %-70 % de luz, y se cuida que la temperatura y la humedad relativa se mantengan en rangos de 34 a 38°C y del 60 % al 80 %, respectivamente. Los riegos se realizan a intervalos de 5 a 30 minutos, con frecuencias de 5 a 20 segundos. Se realizan aplicaciones de fungicida y fertilizante, las cuales se repiten una vez por semana en dosis de 2 g y 2 mL/L de agua, respectivamente. En este punto, las plantas deben tener un tamaño de 8-10 cm, para iniciar el proceso de escalamiento.

Escalamiento de plantas de yuca superélite (etapa de invernadero)

El proceso de escalamiento no es más que la regeneración de nuevas plantas superélite, lo cual se consigue mediante repiques del tallo de las plantas base, cortando la sección apical con la ayuda de una tijera y dejando esquejes con dos o tres yemas, a los cuales se les aplica, en su parte basal, la hormona enraizadora ANA (ácido naftalenacético); posteriormente, se siembran en bandejas, en un sustrato previamente desinfectado. Este proceso debe repetirse, cada

cuatro o cinco semanas, en las plantas regeneradas y las bases; se recomienda realizar dos repiques por planta. Una vez cumplida esta tasa de multiplicación, las plantas deben ser trasladadas a viveros o directamente a campo, según el caso (figura 7.9).

Para esta actividad existen dos opciones. La primera consiste en contabilizar el número de plantas por multiplicar para, con base en ellas, y según el coeficiente de multiplicación, calcular el número de conos requeridos para la siembra de los segmentos apicales. Se procede a la preparación del sustrato y al llenado de las bandejas siguiendo las indicaciones descritas anteriormente. Con ayuda de una tijera o bisturí,



Figura 7.9. Multiplicación de semilla superélite de yuca en invernadero núcleo. a. Plantas ya aclimatadas; b. Se realiza corte de apical al que se le aplica hormona enraizadora; c. Se siembra en un nuevo sustrato; d. Así se obtiene semilla superélite de yuca.

Fotos: Rocío Margarita Gámez Carrillo

se corta la parte apical de la planta, de forma que se producen dos segmentos (basal y apical). De cada segmento se cortan las hojas, cuidando que solo quede una. Cada segmento apical se sumerge en una solución fungicida durante un minuto y se deja escurrir; luego, la parte inferior de cada segmento apical se introduce en polvo hormonal; posteriormente, cada segmento apical se introduce en un cono de la bandeja y se presiona el sustrato para asegurar que no queden cámaras de aire. Después, se realiza el manejo del material sembrado siguiendo las indicaciones previas. Esta labor se repite una vez más, de tal forma que se asegure que la tasa de multiplicación esté en una proporción de 1:8. De cuatro a seis semanas después, la planta multiplicada está apta para las condiciones de vivero o campo.

Para la segunda opción también se contabiliza el número de plantas por multiplicar para, con base en ellas, y según el coeficiente de multiplicación, calcular el número de conos requeridos para la siembra de los segmentos apicales. Luego, se procede a la preparación del sustrato y al llenado de las bandejas siguiendo las indicaciones descritas previamente. En este caso, con ayuda de una tijera o bisturí, se corta la planta separando la parte apical de los segmentos axilares, de forma que se obtengan de 3 a 5 segmentos (axilares y apical), más el basal, que queda en la bandeja de origen. De cada segmento apical se cortan las hojas, cuidando que solo quede una. Todos los segmentos obtenidos del corte se sumergen en una solución fungicida durante un minuto y se dejan escurrir; después, la parte inferior de cada segmento se introduce en polvo hormonal; luego, cada segmento se introduce en un cono de la bandeja y se presiona el sustrato para asegurar que no queden cámaras de aire. Posteriormente, se realiza el manejo del material sembrado siguiendo las indicaciones previas. Esta labor se repite una vez más, de tal forma que se asegure que la tasa de multiplicación esté en una proporción de 1:8. De cuatro a seis semanas después, la planta multiplicada está apta para las condiciones de vivero o campo.

Producción de material vegetal de categoría élite

Los materiales vegetales que salen del invernadero núcleo y pasan a viveros locales o directamente a campo reciben el nombre de plantas élite (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015), las cuales se encuentran aclimatadas a las condiciones ambientales. Para realizar el envío del material procedente del invernadero núcleo a otros lugares, se debe diligenciar un formato de envío y un recibo a conformidad del material entregado, el cual debe cumplir con características deseables en cuanto al estado de la raíz y las hojas, el tamaño, el color y la posibilidad de mantener la trazabilidad de las plantas.

Vivero

En ocasiones, las plantas que se producen en el invernadero núcleo pueden ser llevadas a viveros locales de asociaciones de productores, donde se pueden mantener durante 30-40 días para que terminen su proceso de endurecimiento, manteniendo una luminosidad del 60%, regándolas manualmente por la mañana y por la tarde (en caso de que no se cuente con sistema de riego) y aplicando fertilizantes granulados al sustrato, en dosis de 1 g/planta.

Trasplante a sitio definitivo o campo

Una vez las plantas cumplen con las condiciones adecuadas en las etapas de invernadero y vivero, deben ser trasplantadas en campo siguiendo la Resolución 3168 del ICA (2015). En consecuencia, las plantas élite sembradas en campo originan semilla de categoría básica (primera generación); la siembra de semilla de categoría básica produce semilla de categoría registrada (segunda generación), y la siembra de semilla de categoría registrada produce semilla certificada.

(tercera generación). Para tal fin, se requiere de condiciones de manejo diferentes a las aplicadas para la producción comercial, las cuales se presentan a continuación.

Establecimiento del lote para la producción de semilla

Selección, preparación del terreno y siembra

Para la inscripción y siembra de un lote productor de semilla, su manejo debe ser diferente al de un lote destinado a la producción de raíces, por lo que se recomienda que el lote no proceda de siembras de yuca anteriores y que esté al menos a 500 m de distancia de otros lotes de yuca (ICA, 2015). Los suelos deben ser de textura liviana y estar bien drenados y aireados. Para determinar la oferta nutricional del suelo, se deben tomar muestras para realizar un análisis de fertilidad completo y, con base en sus resultados, establecer el plan de fertilización del cultivo (figura 7.10). La densidad de siembra debe ser de 10.000 plantas/ha.

Mantenimiento del cultivo

Es importante que el cultivo permanezca libre de malezas los primeros noventa días, que corresponde al periodo crítico en que estas compiten con el cultivo, por lo que se recomienda, inicialmente, utilizar un herbicida preemergente y, posteriormente, uno posemergente, combinados con controles manuales. Para el manejo de plagas y enfermedades, se deben realizar monitoreos para observar a tiempo su presencia y, en caso de que se presenten afectaciones, aplicar moléculas con acción insecticida y fungicida.

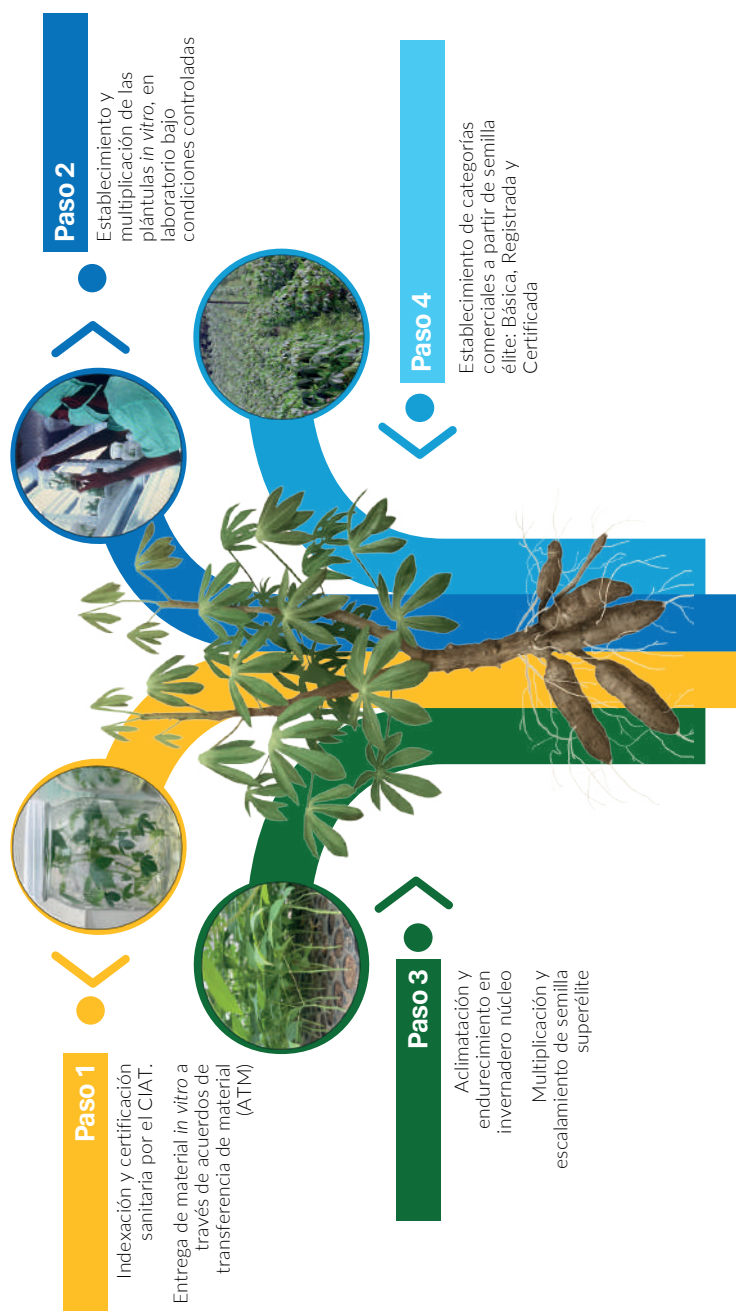


Figura 7.10. Establecimiento del cultivo.

Foto: Rocío Margarita Gámez Carrillo

Suministro de riego

El ciclo productivo de la yuca requiere en promedio de 1.400 mm de agua; en caso de que las precipitaciones no aporten esta cantidad, se puede hacer uso de riego complementario para garantizar la calidad de la semilla.

Cosecha y poscosecha

Según la Resolución 3168 de 2015 del ICA, los tallos de yuca deben poseer la madurez fisiológica adecuada a una edad entre 7 y 12 meses después la siembra y estar libres de afectaciones por plagas y enfermedades. Para la cosecha, se deben arrancar las plantas completas, para evaluar el estado fitosanitario de las raíces. Esto se debe realizar bajo la supervisión de los funcionarios del ICA, con el fin de obtener por parte de ellos la certificación para la elaboración de marbetes y códigos de acuerdo con la categoría de semilla para la cual se registró el lote. Esta labor de evaluación de las raíces es importante, ya que si se tienen porcentajes de afectación superiores al 5 %, no se emite la certificación y se rechaza el lote como productor de semilla.

Por otro lado, es importante ratificar que el almacenamiento de la semilla no puede superar los treinta días después de la cosecha, para evitar la deshidratación, el deterioro fisiológico y la pérdida de viabilidad de brotación, que debe estar por encima del 85 %.

Capítulo 8.

Manejo del cultivo de yuca industrial

Sol Mara Regino Hernández, Amaury Aroldo
Espitia Montes, Jorge Luis García Herazo
y Víctor Alfonso de la Ossa Albis

Condiciones edafoclimáticas y preparación de suelos

El manejo del suelo y la fertilización son factores significativos en la ejecución de las actividades agrícolas, fundamentalmente en las primeras etapas fenológicas de la planta. Para el cultivo de yuca, el órgano de aprovechamiento se encuentra en las raíces, las cuales crecen por debajo de la superficie del suelo, y por tal razón se requiere dar un manejo agronómico adecuado, en función de las condiciones del suelo y las necesidades del cultivo. Antes de realizar la labranza del suelo, se deben evaluar sus condiciones físicas; de este modo, suelos compactados deben manejarse mediante labranza vertical, con el fin de romper las capas endurecidas, y otra opción es el arado de discos, aunque hay que hacerlo con mucha precaución para no invertir el perfil del suelo. Para suelos con mal drenaje, se deben realizar caballones y adecuar canales de desagüe para evitar la saturación del suelo y la pudrición de las raíces por la humedad.

Establecimiento del cultivo de yuca

Selección del terreno

Para establecer el cultivo de yuca con fines agroindustriales, es necesario disponer de un suelo plano o semiondulado, profundo, poroso, ligero y con un pH entre 5,5 y 8,5. No se recomiendan capas densas de suelo, ya que impiden el desarrollo normal de las raíces. Antes de la siembra se deben tomar muestras de suelo que representen el terreno para analizarlo, conocer los nutrientes y proceder a calcular la cantidad de fertilizantes que se debe aplicar.

Siembra

Previo a realizar la siembra, se debe proveer de una semilla madura, sana y vigorosa.

Procesamiento de la semilla

Las estacas para la siembra deben provenir de lotes destinados para este fin, con lo cual se obtiene material fisiológicamente maduro y sano. Estos tallos deben ser cortados transversalmente, con una longitud de 20 cm, para lo cual se recomienda utilizar una sierra o segueta (figura 8.1a). Luego, se prepara una solución de insecticida y de fungicida vigentes, según la dosis referidas por el asistente técnico; y se desinfectan las estacas sumergiéndolas por 10 minutos (figura 8.1b). Para el caso de la siembra mecanizada, las varas deben sumergirse completamente en un tanque con la solución (figura 8.1c).

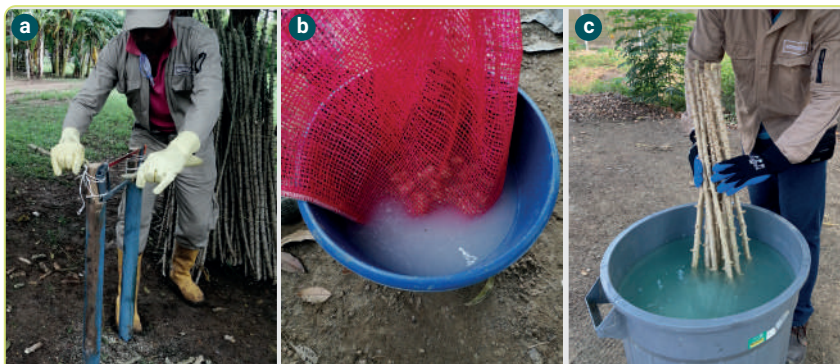


Figura 8.1. Preparación del material de siembra de yuca.

- a. Corte transversal para producir los cangres (semilla para siembra);
- b. Desinfección de los cangres para siembra manual;
- c. Desinfección de las varas para siembra mecanizada.

Fotos: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández

Siembra manual

Para que esta labor sea más eficiente, se deben dividir los operarios en dos grupos: el primero se encargará en distribuir las estacas sobre las hileras, y el segundo se encargará de sembrar las estacas verticalmente, enterrándolas en el suelo a unos 5-10 cm (figura 8.2).

Siembra mecanizada

Para realizar la siembra mecanizada, se debe disponer de una sembradora (figura 8.3). Para poder operarla correctamente, inicialmente se le debe hacer la calibración de la distancia entre surcos y entre plantas, de acuerdo con la densidad de siembra; paralelamente, se calibra el tamaño de la estaca, que está determinado por la variedad, ya que el espacio entre los entrenudos puede variar de una a otra, lo que condiciona el tamaño de las varas. Además, los tallos deben ser desinfectados completamente, sumergiéndolos en tanques con la solución anteriormente detallada. Por otro lado, dos operadores introducen los tallos (varas) de yuca en el módulo de la sembradora, el cual se encarga de cortarlos. Aparte de esto,



Figura 8.2. Siembra manual de yuca.

Fotos: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández



Figura 8.3. Siembra mecanizada de yuca.

Foto: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández

la sembradora, con la ayuda de un disco, traza en el suelo un surco en sentido de la siembra, donde son depositadas las estacas en forma horizontal, y luego las cubre con suelo.

La eficacia de esta labor depende de una adecuada preparación del terreno y del relieve. Así, se recomienda este tipo de siembra en suelos con topografía plana o ligeramente ondulada. Ospina y Ceballos (2002) indican que las sembradoras semimecanizadas marcan una tendencia de rendimiento de 6 ha/día.

Densidad óptima

La distancia entre plantas e hileras depende, por ejemplo, del relieve del suelo, la arquitectura de la planta, la topografía del terreno, el sistema de plantación y las especificaciones de tamaño y grosor de las raíces exigidas por el mercado. En Colombia, por lo general, la distancia entre plantas y entre hileras es de 1 m. Sin embargo, para las variedades de uso industrial se recomienda, un marco de plantación con una distancia entre hileras de 1 m y entre plantas de 0,76 m, lo que da como resultado una densidad de plantación de 13.000 plantas/ha (figura 8.4).



Figura 8.4. Terreno de siembra con una densidad de 13.000 plantas/ha.

Fotos: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández

Manejo agronómico del cultivo de yuca

Manejo de malezas

Un mal manejo de las malezas puede llegar a ocasionar inconvenientes de importancia en el cultivo de la yuca al limitar el normal desarrollo de la planta, ya que compiten por luz, espacio y nutrientes; todo esto se puede reflejar en disminuciones en el rendimiento de las raíces. Por otro lado, este cultivo tiene un periodo crítico de competencia de malezas durante los primeros sesenta días, por lo que es recomendado disminuir la presión de malezas en este periodo; si no se realiza esta labor, los rendimientos se ven reducidos hasta en un 50% en comparación con cultivos con un buen manejo durante el periodo crítico (Calle, 2002). Existen diversos métodos de control de malezas:

1. **Control cultural:** se basa en seleccionar adecuadamente la variedad por sembrar; utilizar semilla de buena calidad, con el fin de obtener una buena brotación, y evitar espacios entre surcos y plantas que puedan ser repoblados por las malezas.
2. **Control manual:** el operario utiliza una herramienta manual, como el machete o azadón, para eliminar las malezas en el surco del cultivo; por lo general, este control se combina con el control químico (figura 8.5).
3. **Control mecánico:** se emplean equipos, como guadañas, para eliminar las malezas.
4. **Control químico:** consiste en la utilización de herbicidas, que pueden ser preemergentes o posemergentes:
 - **Preemergentes:** con la aplicación de estas moléculas químicas se busca impedir el desarrollo e incremento de las malezas por un periodo de 45-50 días,

etapa en la cual el follaje de la yuca aún no ha cerrado los surcos. Cabe resaltar que el principio activo de estas moléculas actúa por vía de la raíz y el hipocótilo, por lo cual las malezas no alcanzan a emerger. Luna-Castellanos et al. (2018) recomiendan, para un mejor control preemergente de malezas, la combinación de productos vigentes registrados para este cultivo, ya que presenta una buena eficiencia y una menor tasa de mortalidad de plantas.

- **Posemergentes:** este grupo de herbicidas va después del anterior manejo, y se debe aplicar de forma dirigida, es decir, entre los surcos, con la ayuda de una boquilla deflectora, con el fin de efectuar un óptimo control y evitar daños al cultivo de yuca. El número de aplicaciones de herbicidas posemergentes en el cultivo de yuca depende de la presión de las malezas; de igual forma, se recomienda que esta labor la realice un operario con experiencia en este tipo de controles (figura 8.6).

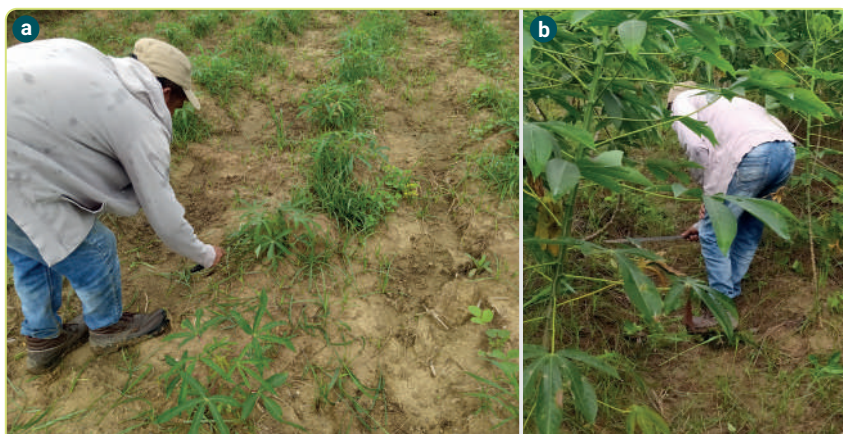


Figura 8.5. Control manual de maleza en cultivos de yuca. a. Lote con plantas jóvenes; b. Lote con plantas desarrolladas.

Fotos: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández



Figura 8.6. Control químico de malezas usando posemergentes.

Fotos: Jorge Luis García Herazo y Sol Mara Regino Hernández

Fertilización en el cultivo de yuca

La fertilización es un mecanismo de manejo para mantener, restaurar y al mismo tiempo sostener la fertilidad del suelo con el fin de incrementar la producción de los cultivos. Para llevar a cabo una buena fertilización, se deben considerar las necesidades de fertilización del cultivo establecido, teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes del suelo, la eficiencia del fertilizante aplicado y las necesidades nutricionales ponderadas del cultivo, por lo que se debe realizar un diagnóstico del suelo por trabajar, el cual da información sobre la disponibilidad de nutrientes y las limitaciones o excesos que puedan afectar al cultivo (Cadavid, 2002).

La siembra de yuca sin ninguna aplicación de fertilizantes es común, pero se sabe, por estudios previos, que la planta responde positivamente a la fertilización, alcanzando resultados óptimos mediante la utilización de prácticas adecuadas (Howeler, 1981).

Para mantener la fertilidad del suelo, es necesario aplicar por lo menos la misma cantidad de nutrientes que el cultivo

de yuca haya extraído en la cosecha anterior. En general, se conoce que por cada tonelada de raíces producidas la yuca extrae en promedio 4,42 kg de nitrógeno, 0,67 kg de fósforo y 3,58 kg de potasio (Rosero Alpala et al., 2017).

Cabe anotar que el cultivo de yuca es un gran extractor de nutrientes, principalmente de elementos mayores, por lo que se recomienda también la aplicación de abonos verdes. Según Magaña Valenzuela et al. (2020), la aplicación de abonos verdes reduce la aplicación de fertilizantes de síntesis química, mejora las propiedades físicas del suelo y disminuye la erosión; además, la incorporación de leguminosas como la crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) aporta nitrógeno al suelo.

Teniendo en cuenta los altos costos de los fertilizantes químicos, estudios realizados por Pérez-Pazos et al. (2018) sugieren la aplicación de biofertilizantes comerciales basados en micorrizas, pues pueden potencializar la fertilización química a base de nitrógeno, fósforo y potasio en bajas cantidades.

Así, se puede concluir que la combinación de todas estas estrategias puede generar un mejor desarrollo y lograr mejores rendimientos en el cultivo de yuca.

Capítulo 9.

Manejo del recurso hídrico para el cultivo de yuca industrial

Luis Giovanni Mauricio Montejó Núñez,
Ricardo Enrique Támara Morelos y Leonardo Andrés
López Rebolledo

Requerimientos hídricos

La yuca en Colombia es uno de los cultivos que aún se continúa sembrando sin establecer un sistema de riego, por lo que suele sembrarse en la época de lluvias; al ser un cultivo altamente tolerante a la sequía debido a sus mecanismos fisiológicos de adaptación, logra desarrollarse bajo estas condiciones. Sin embargo, las condiciones climáticas son cada día más desafiantes y difíciles de predecir, por lo cual el sistema de riego se convierte en una herramienta útil y necesaria para mejorar los rendimientos y disminuir las pérdidas en los proyectos agrícolas.

El requerimiento promedio de agua para el cultivo de yuca es de 1.400 mm durante el ciclo del cultivo, siendo la etapa más crítica el primer mes de establecimiento del cultivo. Se han encontrado relaciones directamente proporcionales entre la disponibilidad de agua y el rendimiento, el contenido de almidón y la altura de la planta (Fernández & Cerrato, 2017).

Los estudios sobre requerimientos hídricos en yuca son escasos, pero algunas experiencias refieren que durante el primer mes de establecimiento se requiere un riego permanente; del segundo al cuarto mes se requiere un riego constante, y a partir del quinto mes se requieren riegos puntuales, dependiendo de la variedad y la suma de las variables edafoclimáticas (Ospina & Ceballos, 2002).

En la tabla 9.1 se muestra una distribución promedio de riego durante el ciclo de cultivo, sugerida para yuca de consumo fresco, en porcentaje y en lámina por aplicar para alcanzar los 1.400 mm.

Tabla 9.1. Distribución sugerida de la lámina de agua para un ciclo de cultivo

Mes	Porcentaje de aplicación	Lámina por aplicar para 1.400 mm (mm)
1	25	350
2	20	280
3	20	280
4	15	210
5	10	140
6	5	70
7	5	70

Fuente: Elaboración propia

En Colombia, la yuca es un cultivo que contribuye a la seguridad alimentaria y que cuenta con un consumo per cápita de 38 kg/persona, con un rendimiento promedio de 13 t/ha y un área entre 200.000 y 250.000 ha/año, de las cuales un 90 % no tiene riego (Cadavid, 1988). Así, se tiene la expectativa de que, con un uso eficiente del riego, las variedades comerciales logren expresar al máximo su potencial y se logre incrementar los rendimientos a 20-25 t/ha en yuca de consumo fresco (Cadavid, 2011).

Los sistemas de riego para el cultivo de la yuca van desde el más antiguo y poco eficiente en cuanto al uso del recurso, que es la inundación por surcos; pasando por los de aspersión, como el cañón o los aspersores, que son denominados riegos de alta presión; hasta los de precisión, como los sistemas de goteo, que buscan optimizar el uso del recurso agua y son denominados de baja presión. A continuación,

se presentan algunos modelos que se pueden utilizar en el cultivo de yuca, con sus costos de implementación, con los mínimos requerimientos para una hectárea (suponiendo un área regular), ajustados a junio de 2023.

Sistemas de riego aptos para el cultivo de yuca

En la figura 9.1 se muestra un esquema general de los distintos sistemas de riego que existen. Hay dos grandes métodos o sistemas de riego: por gravedad (o superficiales) y presurizados (o a presión). Estos dos grandes sistemas de riego constan de subsistemas con los cuales se puede aplicar el agua. Por ejemplo, dentro del sistema de riego por gravedad, o superficial, se encuentran los subsistemas de riego por surco y los de melgas; dentro del sistema de riego presurizado está el subsistema de aspersión, que tiene varias modalidades dependiendo de la presión de funcionamiento, y está el de goteo.

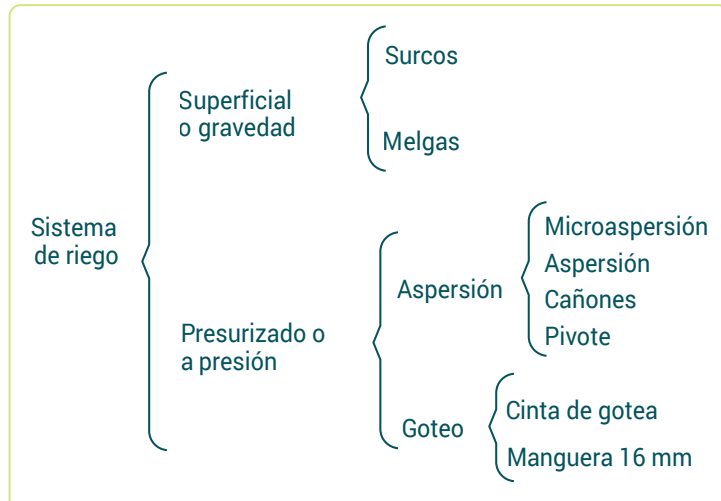


Figura 9.1. Sistemas de riego usados en agricultura.

Fuente: Elaboración propia

Sistema de riego por surcos

Es el sistema más antiguo y de menor eficiencia en el uso del agua. Consiste en inundar las calles o surcos permitiendo que el agua avance por gravedad desde la cabecera hasta el pie de la calle. Requiere de una fuente de agua continua y constante, con valores de caudal de 3 a 10 L/s o superiores, dependiendo del área por inundar. Es un sistema poco eficiente en el manejo del recurso hídrico, pues requiere trabajos de nivelación y, la mayoría de las veces, un aporque de las plantas; además, presenta lavado de nutrientes y genera bastante proliferación de enfermedades y malezas en el cultivo. Su eficiencia es del 50 %-60 %.

Sistema de riego por cañón

Es uno de los más utilizados en Colombia. Existen diversos tipos de cañones, que se clasifican según su radio de aspersión (varían de 16 a 36 m), su descarga de aplicación (de 40 a 200 L/min) y el área de cubrimiento (de 600 a 3.000 m²). Requieren de una motobomba diésel de alta potencia (10-22 hp) para impulsar el agua a alta presión; los consumos de agua son elevados, y requieren de un reservorio o tanque de almacenamiento y de una fuente continua de agua, de 1-2 L/s, dependiendo del área por regar y el tiempo de riego. Este sistema puede ser móvil, es decir, se puede trasladar dentro del lote. La presión de trabajo promedio para este sistema es de 2 a 8 bares, aproximadamente, con una eficiencia del 75% (figura 9.2).

En general, los mayores costos están representados por la motobomba, las mangueras y el cañón (tabla 9.2).

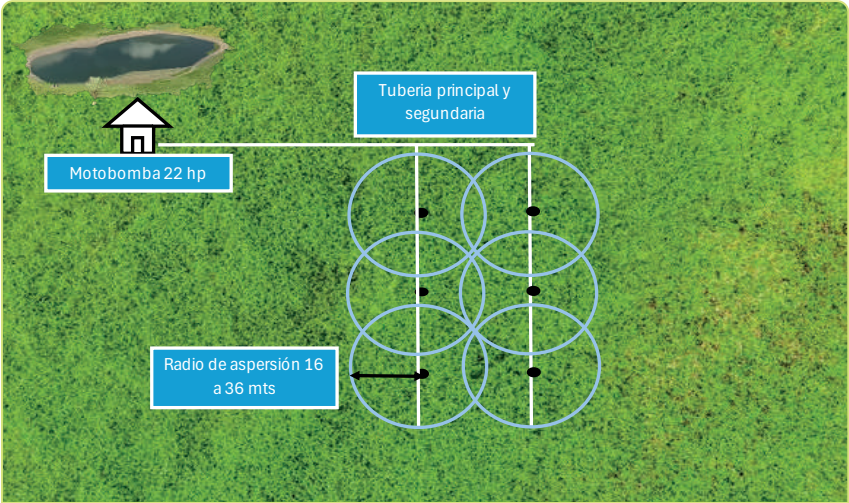


Figura 9.2. Sistema de riego por cañón para 1 ha.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.2. Materiales requeridos para un sistema de riego por cañón

Artículo	Cantidad
Manguera de 2" × 100 m	2
Manguera de polietileno de 3" × 50 m	2
T de polietileno de 3", con reducción a 2"	2
Registro roscado de 2"	2
Acople macho roscado con manguera de 3"	2
Tapón roscado de polietileno de 3"	2
Acople macho roscado de polietileno de 2"	9
Tapón roscado de manguera de 2"	2
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 3"	8
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 2"	10
Unión de polietileno de 3"	2
Unión de polietileno de 2"	4

Tanque de geomembrana de 10.000 L	1
Jornales para el montaje del sistema de riego	6
Adaptador macho de 2" de pvc	20
Adaptador hembra de 2" de pvc	10
TPVC de 2" con salida a 1,5"	8
Pegante de pvc de 1/4	1
Inserto de 1,5" para manguera en pvc	12
Cañón circular sectorial de 1,5"	6
Acople rápido de aluminio hembra y macho de 3"	1
Filtro de anillos de 3"	1
Accesorios externos de la motobomba	1
Motobomba diésel de 16 hp	1

Fuente: Elaboración propia

Sistema de riego por aspersores convencionales o tipo sombrilla

En el mercado existe una variedad de implementos con diferentes formas y tamaños para estos sistemas. Los más utilizados son los de entrada de $\frac{3}{4}$ y dos salidas, con un radio de mojado de 13 a 15 m metros, y los de entrada de $\frac{1}{2}$, con un radio de mojado de 10 a 12 m. En un lote se pueden hacer arreglos de líneas según la capacidad de la motobomba (5-10 hp) y la capacidad del reservorio; para su funcionamiento se requiere de una fuente de agua, y su capacidad depende del área por sembrar, con un caudal continuo de 1-2 L/min. Este sistema se puede dejar fijo o móvil, para abaratar los costos. El caudal de aplicación de cada aspersor varía de 20 a 30 L/min, dependiendo de la marca y modelo. La presión de trabajo promedio es de 55 psi, con una eficiencia del 80 % (figura 9.3).

En este sistema, los mayores costos se generan por la motobomba, el tanque de geomembrana y las mangueras (tabla 9.3).

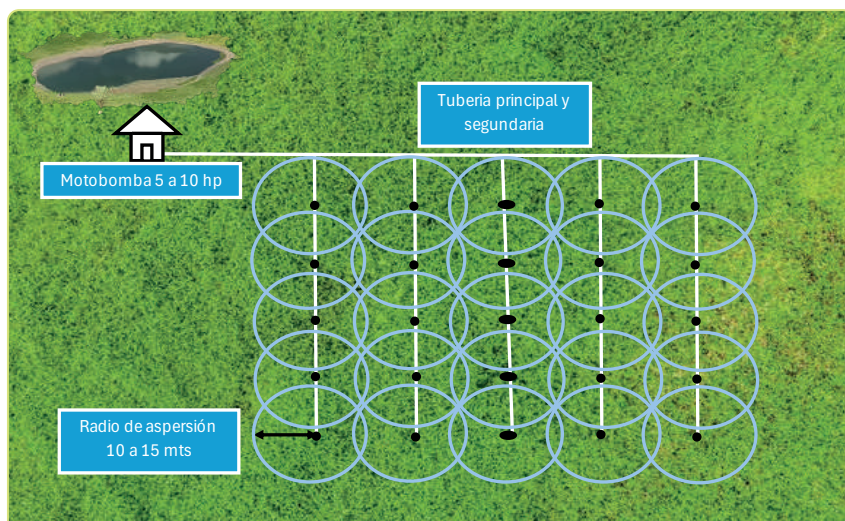


Figura 9.3. Sistema de riego por aspersores para 1 ha.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.3. Materiales requeridos para un sistema de riego por aspersión

Artículo	Cantidad
Manguera de 1,5" × 100 m	6
Manguera de polietileno de 3" × 50 m	2
T de polietileno de 3", con reducción a 1,5"	6
Registro roscado de 1,5"	6
Acople macho roscado con manguera de 3"	4
Tapón roscado de polietileno de 3"	2
Acople macho roscado de polietileno de 1,5"	14
Tapón roscado de manguera de 1,5"	8
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 3"	18
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 1,5"	45
Unión de polietileno de 3"	3

Unión de polietileno de 1,5"	7
Tanque de geomembrana de 10.000 L	1
Jornales para el montaje del sistema de riego	6
Adaptador macho de 3/4" de pvc	14
Adaptador hembra de 3/4" de pvc	14
T de pvc de 1,5"	14
Reducción de 1,5 a 3/4" pvc	14
Inserto de 1,5" para manguera en pvc	28
Aspersores tipo sombrilla de 3/4"	14
Acople rápido de aluminio hembra y macho 3"	1
Filtro de anillos de 3"	1
Accesorios externos de la motobomba	1
Motobomba diésel de 10 hp	1

Fuente: Elaboración propia

Sistema de riego con cinta lluvia

Es considerado un sistema de riego por aspersión. En este caso, por lo general se hacen arreglos cada 10 m, pero cada fabricante tiene sus propias especificaciones según el diámetro de la cinta, el rango de aspersión y la trayectoria. Tiene como ventajas que presenta una alta resistencia, es fácil de instalar, el taponamiento por suciedad es mínimo, cuenta con filtro uv (para una mayor durabilidad bajo la intemperie) y el riego es uniforme. Para su correcto funcionamiento, se necesita una presión mínima de 10 psi y una máxima de 30 psi, la cual es bastante baja con respecto a los sistemas por aspersión. El caudal promedio es de 68,3 L/min, con una eficiencia del 85 % (figura 9.4).

Los mayores costos de este sistema están representados por la motobomba, el tanque de geomembrana, las mangueras y la cinta lluvia (tabla 9.4).

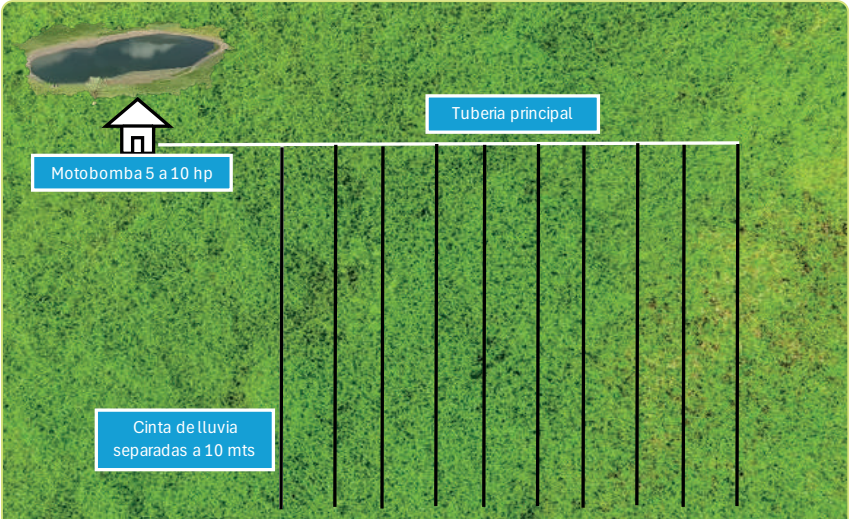


Figura 9.4. Sistema de riego con cinta lluvia para 1 ha.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.4. Materiales requeridos para un sistema de riego con cinta lluvia

Artículo	Cantidad
Cinta lluvia × 100 m × 1,5"	10
Manguera de polietileno de 3" × 50 m	2
Manguera de polietileno de 2" × 100 m	1
T de polietileno de 3" con reducción a 2"	2
T. de polietileno de 2"	2
Registro roscado de 2" de pvc	2
Acople macho roscado con manguera de 2"	8
T de polietileno de 2" con reducción a 1,5"	10
Acople macho roscado de manguera de 3"	4
Tapón roscado de polietileno de 3"	2
Tapón roscado de polietileno de 2"	4

Acople macho roscado de polietileno de 1,5"	10
Tapón roscado de manguera de 1,5"	10
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 3"	7
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 2"	20
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 1,5"	25
Unión de polietileno de 3"	4
Unión de polietileno de 2"	7
Tanque de geomembrana de 10.000 L	1
Jornales para el montaje del sistema de riego	6
Filtro de anillos de 3"	1
Acople rápido hembra y macho de 3" de aluminio	1
Accesorios externos de la motobomba	1
Motobomba diésel de 10 hp	1

Fuente: Elaboración propia

Sistema de riego con cinta de goteo

Lo ideal es planificar el lote y ubicar sobre cada caballón una línea de cinta por goteo; para ello, se pueden utilizar cintas con un distanciamiento entre goteros de 30-60 cm. Este sistema requiere de una red principal, un reservorio, un sistema de filtros, una motobomba y una fuente de agua con un caudal continuo de 0,5 L/s, dependiendo del área que se va a sembrar. Es un sistema fijo, y el caudal de cada gotero varía entre 0,6 y 1,2 L/min, dependiendo del tipo de cinta. La presión de trabajo es de 25 psi en promedio, y la eficiencia es del 85 %. Las principales ventajas de este sistema son que el consumo de agua es muy bajo, está dirigido a la planta objetivo, se puede utilizar cobertura de *mulch* plástico para el control de malezas y se puede fertilizar a través del mismo sistema de riego (figura 9.5).

Este sistema presenta sus mayores costos en la motobomba, el tanque de geomembrana y la cinta de goteo (tabla 9.5).

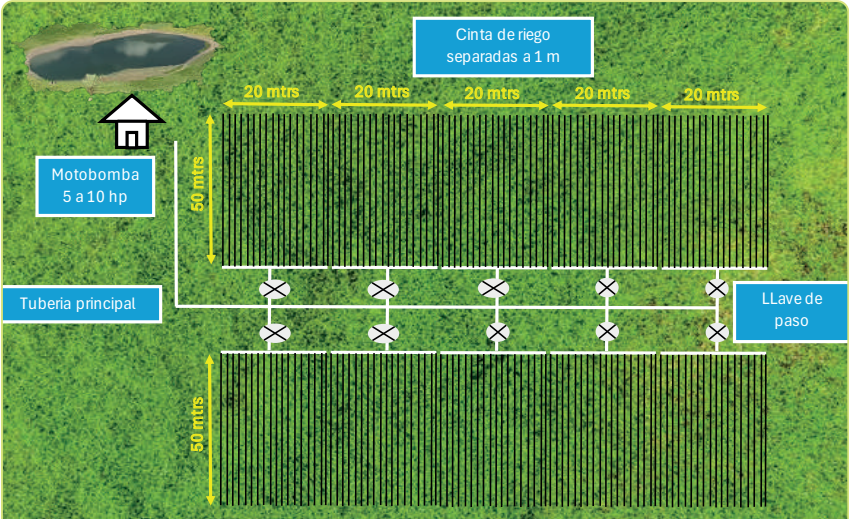


Figura 9.5. Sistema de riego con cinta de goteo para 1 ha.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.5. Materiales requeridos para un sistema de riego con cinta de goteo

Artículo	Cantidad
Cinta de goteo rollo calibre 8.000 con espaciamento cada 50 cm, de 16 mm x 2.700 m	5
Manguera de polietileno de 3" x 50 m	2
Manguera de polietileno de 2" x 100 m	1
T de polietileno de 3", con reducción a 2"	11
T de polietileno de 2"	11
Registro roscado de 2"	11
Acople macho roscado con manguera de 2"	32
Unión espigo de polietileno de 16 mm	220
Acople macho roscado con manguera de 3"	4
Tapón roscado de polietileno de 3"	2
Tapón roscado de polietileno de 2"	25

Silleta de 16 mm	220
Rollo de manguera de 16 mm × 100 m	2
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 3"	20
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 2"	104
Conector de cinta manguera de 16 mm	220
Unión de polietileno de 3"	3
Unión de polietileno de 2"	24
Tanque de geomembrana de 10.000 L	1
Jornales para el montaje del sistema de riego	6
Motobomba diésel de 10 hp	1
Acople rápido de aluminio hembra y macho de 3"	1
Accesorios externos de la motobomba	1
Filtro de anillos de 3"	1
Unión cinta a cinta de 16 mm	100

Fuente: Elaboración propia

Sistema de riego con manguera de 16 mm, microtubo y gotero autocompensado

Lo ideal es planificar el lote y colocar sobre cada caballón una línea de manguera de 16 mm; para ello, se pueden utilizar 1 o 2 microtubos por planta. Se puede ubicar el único microtubo, con un caudal promedio de 2 a 5 L/min, o los dos microtubos, cada uno con un gotero autocompensado al final, con un caudal de 2 L/h cada uno. El sistema requiere de una red principal, un reservorio, un sistema de filtros, una motobomba y una fuente de agua con un caudal continuo de 0,5 L/s, dependiendo del área que se va a sembrar. Es un sistema fijo. La presión de trabajo es de 25 psi en promedio, con una eficiencia del 85% con gotero al final y del 80% sin

este. Las principales ventajas de este sistema son que el consumo de agua es muy bajo, está dirigido a la planta objetivo, se puede utilizar cobertura de *mulch* plástico para el control de malezas y se puede fertilizar a través del mismo sistema de riego (figura 9.6).

Este sistema requiere una mayor inversión en mangueras y goteros, además de la motobomba, el tanque de geomembrana y demás accesorios (tabla 9.6).

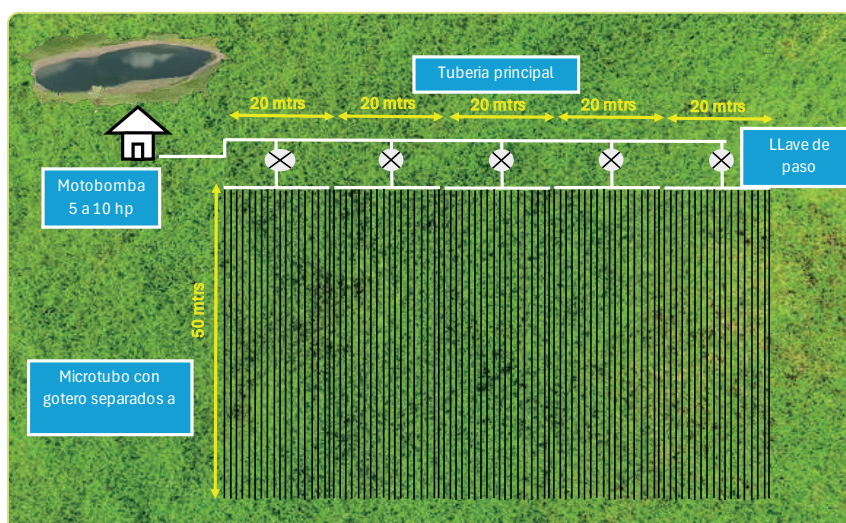


Figura 9.6. Sistema de riego con manguera de 16 mm, microtubo y gotero autocompensado para 1 ha.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.6. Materiales requeridos para un sistema de riego con
manguera de 16 mm, microtubo y gotero autocompensado

Artículo	Cantidad
Gotero autocompensado + microtubo	11.000
Manguera de polietileno de 3" × 50 m	2
Manguera de polietileno de 2" × 100 m	1
T de polietileno de 3", con reducción a 2"	5
T de polietileno de 2"	5
Registro roscado de 2"	5
Acople macho roscado con manguera de 2"	10
Unión espigo de 16 mm de polietileno	100
Acople macho roscado con manguera de 3"	2
Tapón roscado de polietileno de 3"	2
Tapón roscado de polietileno de 2"	10
Silleta de 16 mm	100
Rollo de manguera de 16 mm × 100 m	102
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 3"	10
Abrazadera reforzada de acero inoxidable de 2"	25
Unión de polietileno de 16 mm	100
Unión de polietileno de 3"	3
Unión de polietileno de 2"	24
Tanque de geomembrana de 10.000 L	1
Jornales para el montaje del sistema de riego	6
Motobomba diésel de 10 hp	1
Acople rápido de aluminio hembra y macho 3"	1
Accesorios externos de la motobomba	1
Filtro de anillos de 3"	1

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 10.

Manejo integrado de enfermedades

**Juan Guillermo Cubillos Hinojosa y
Clara Yalexty Delgado Ochica**

La planta de yuca es afectada por varios patógenos (hongos, bacterias y virus) que disminuyen la producción en diferentes etapas del cultivo. Algunos de ellos causan pudriciones internas o externas; por ejemplo, ciertos patógenos invaden los tejidos leñosos del tallo sin que la planta muestre síntomas visibles de la afección, por lo que la presencia en la planta de estos agentes no puede detectarse a simple vista.

La yuca se caracteriza por ser sembrada en suelos ácidos y pobres, y muchas veces es el último cultivo que se usa en un programa de rotación, debido a la capacidad de producir en suelos empobrecidos. Estas siembras consecutivas pueden inducir a que los patógenos y las plagas se incrementen progresivamente. Por esta razón, es necesario dejar o rotar el terreno después de la segunda o tercera cosecha consecutiva de yuca.

Abordar las enfermedades de la yuca en todo el ciclo de producción requiere una combinación de medidas preventivas y de control adaptadas a las condiciones específicas de la región. Es fundamental el conocimiento del estado de la plantación, el manejo integrado, la colaboración con expertos locales y la investigación continua para mantener la salud de las plantaciones de yuca y garantizar la seguridad alimentaria. A continuación se presentan las principales enfermedades que atacan al cultivo de yuca.

Mancha angular de la yuca

Agente causal: *Cercospora henningsii* Allesch.
Tipo de organismo: hongo

Características generales

La mancha angular de la yuca (*Cercospora henningsii*) es la enfermedad fúngica que genera manchas angulares de color marrón claro en las hojas de la planta y es probablemente la enfermedad más importante en las hojas de la yuca. Estas manchas suelen tener una forma característica de ángulo recto, lo que le da su nombre común. A medida que la enfermedad progresa, estas manchas pueden expandirse y fusionarse, creando áreas necróticas más grandes. Los márgenes de las manchas son a menudo de color más oscuro, y el centro puede adquirir una textura rugosa. Además de las manchas en las hojas, los tallos y los peciolo de las hojas también pueden verse afectados (Álvarez & Llano, 2002).

Descripción del daño

Los síntomas en las hojas de la yuca son manchas foliares visibles a ambos lados de estas. En el haz, las manchas son de color marrón, uniformes, con el borde definido y oscuro. En el envés, las lesiones tienen márgenes menos definidos y en el centro de estas tienen un fondo gris. Cuando las manchas circulares crecen, toman una forma irregular debido a que su expansión está limitada por las venas principales de las hojas (figura 10.1). A medida que las manchas necróticas se expanden en las hojas, reducen la capacidad de la planta para llevar a cabo la fotosíntesis, lo que afecta la producción de almidón en las raíces tuberosas. En casos graves, la defoliación puede ser tan extensa que las plantas sufren un gran debilitamiento y un deterioro general de la salud, lo cual

genera una disminución en el rendimiento del producto final (Álvarez & Llano, 2002).



Figura 10.1. Síntomas de la mancha angular de la yuca. a. En la planta; b. Detalle en la hoja.

Fotos: Shirley Patricia Pérez Cantero

Ciclo de la enfermedad

La enfermedad es causada por el hongo *C. henningsii*. Los esporangiosporos del hongo se diseminan por el viento y el agua, y cuando entran en contacto con las hojas de la yuca, germinan y penetran en los tejidos vegetales. La enfermedad es favorecida por condiciones cálidas y húmedas, lo que significa que es más común durante la temporada de lluvias en las regiones tropicales. Las esporas producidas en las lesiones de la hoja pueden ser llevadas por el viento a otras plantas, propagando la infección (Álvarez & Llano, 2002).

Manejo integrado

El manejo de la mancha angular de la yuca implica una combinación de enfoques. La selección de variedades de yuca resistentes a la enfermedad es una estrategia importante.

Además, se pueden implementar prácticas de manejo cultural, como la eliminación de hojas infectadas y la promoción de la circulación del aire en las plantaciones, para reducir la humedad y prevenir la propagación de la enfermedad. Los fungicidas también pueden utilizarse para el control químico; los fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre suspendidos en aceite mineral proporcionan un buen control, aunque se deben usar con precaución para minimizar el impacto ambiental (Álvarez & Llano, 2002).

La mancha angular de la yuca representa un desafío continuo para los agricultores en las regiones donde se cultiva este importante cultivo. La investigación y la capacitación en prácticas de manejo integrado son fundamentales para mantener la salud de las plantaciones de yuca.

Pudrición de las raíces de la yuca

Agente causal: *Rhizoctonia solani* Kühn

Tipo de organismo: hongo

Características generales

Rhizoctonia solani es un hongo habitante natural del suelo y patógeno radicular necrotrófico causante de enfermedades que involucran una sintomatología directa de pudrición en semillas, raíces, hipocótilo, corona, tallo, ramas y vainas, así como de tizón de plántulas, costra negra y chancros en estolones y tallos, además de *damping off* antes y después de la emergencia (Betancourth et al., 2023).

El hongo *R. solani* causa la pudrición de las raíces de la yuca, enfermedad devastadora en regiones tropicales y subtropicales. Esta puede resultar en la pérdida de rendimiento de la producción de yuca (Betancourth et al., 2023; Keijer, 1996).

Descripción del daño

La pudrición de las raíces de la yuca se manifiesta con la aparición de manchas necróticas en las raíces de la planta. Estas manchas suelen ser de color marrón oscuro y, a menudo, son blandas y húmedas al tacto. Con el tiempo, las raíces afectadas se pudren, lo que reduce la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes del suelo. Los síntomas pueden variar desde pequeñas lesiones en las raíces hasta daños extensos que afectan la totalidad del sistema radicular (Agarwal, 2010).

Ciclo de la enfermedad

R. solani es un hongo que sobrevive en el suelo y puede persistir durante largos periodos de tiempo en forma de esclerocios, que son estructuras de resistencia. Cuando las condiciones son favorables, el hongo germina y produce hifas que penetran en las raíces de la yuca. Los exudados de las raíces, que son muy ricos en carbohidratos, aminoácidos, fenoles y ácidos orgánicos, sirven como una fuente importante de nutrientes para el crecimiento del hongo, y a medida que se desarrolla, el hongo produce enzimas que descomponen el tejido de la raíz, lo que lleva a su pudrición y descomposición (Agarwal, 2010; Keijer, 1996).

Manejo integrado

El manejo de esta enfermedad implica la implementación de estrategias de prevención y control. Estas estrategias pueden incluir la selección de variedades de yuca resistentes, la mejora de la salud del suelo mediante prácticas de manejo (como la rotación de cultivos) y la aplicación de tratamientos fungicidas cuando sea necesario. Además, es importante evitar la siembra en suelos infectados y la manipulación de plantas enfermas, para prevenir la propagación de

la enfermedad, pero el manejo integrado presenta mejores resultados que cuando se realiza solamente el control químico (Agarwal, 2010; Betancourth et al., 2023).

Estrategias de manejo integrado de *R. solani* como el establecimiento e incorporación de cebada como abono verde y la aplicación de *Bacillus subtilis* como agente de control biológico, utilizadas de manera integral, permitieron un mejor manejo de esta enfermedad (8%) que el control químico (Betancourth et al., 2023).

Pudrición radical o marchitez de la yuca

Agente causal: *Phytophthora* spp.

Tipo de organismo: hongo

Características generales

La podredumbre de la mandioca, causada por especies del género *Phytophthora*, es una enfermedad que afecta a la yuca en diversas partes del mundo y es actualmente la más limitante de este cultivo en algunas regiones de Colombia. Esta enfermedad genera gran preocupación para los agricultores, ya que puede ocasionar graves daños en las plantaciones de yuca, afectando hasta un 80% de la producción total (Álvarez & Llano, 2002).

Descripción del daño

El hongo *Phytophthora*, agente causal de la enfermedad, es un habitante natural del suelo que puede atacar el cultivo en cualquier etapa; se manifiesta principalmente en las raíces, aunque también puede afectar los tallos y las hojas de la

planta. Los síntomas incluyen manchas marrones o negras en la superficie de las raíces; estas manchas a menudo son blandas y húmedas (figura 10.2). A medida que la enfermedad progresa, estas lesiones se agrandan y se tornan más extensas. Las raíces infectadas pueden pudrirse completamente, lo que disminuye su calidad y valor nutricional. En casos graves, la infección puede extenderse a tallos y hojas, causando la marchitez y defoliación de la planta (Álvarez & Llano, 2002).



Figura 10.2. Síntomas visibles de la pudrición en raíces causada por *Phytophthora*.

Fotos: Shirley Patricia Pérez Cantero

Ciclo de la enfermedad

Las especies de *Phytophthora* que causan la pudrición de la yuca son patógenos del suelo y pueden ser transportados por el agua o equipos agrícolas. Cuando las condiciones son favorables, como en las áreas donde los suelos se encharcan o se secan rápidamente y presentan bajos contenidos de nutrientes, las esporas nadadoras de *Phytophthora* pueden nadar en el suelo y penetrar en las raíces de la yuca. Una vez dentro de la planta, el hongo se multiplica y causa daños en los tejidos (Álvarez & Llano, 2002).

Manejo integrado

El manejo de la podredumbre de la mandioca implica una serie de medidas preventivas y de control. Estas pueden incluir la selección de variedades de yuca resistentes a la enfermedad (Álvarez et al., 2000), la mejora de la salud del suelo mediante prácticas de manejo agrícola (como la rotación de cultivos) y la plantación en suelos bien drenados. Además, es fundamental evitar la siembra en suelos contaminados, asegurarse de que las raíces infectadas no entren en contacto con raíces sanas, erradicar y quemar las plantas infectadas y establecer barreras vivas y drenajes para evitar la erosión. Las semillas se pueden curar con tratamientos químicos como metalaxil en dosis de 3 g/L, o tratar con agua a 49 °C por 49 minutos (Álvarez et al., 1998; Álvarez & Llano, 2002). Igualmente, el control biológico con *Trichoderma* sp. ha mostrado resultados promisorios (Bedoya et al., 2000).

Mancha foliar de la yuca

Agente causal:

Phaeoramularia manihotis (F. Stevens & Solheim) M. B. Ellis

Tipo de organismo: hongo

Características generales

La mancha foliar de la yuca o mancha blanca de la yuca, causada por el hongo *Phaeoramularia manihotis*, es una enfermedad que se caracteriza por la aparición de manchas en las hojas de la yuca, lo que puede tener un impacto significativo en el rendimiento y la calidad de las raíces tuberosas. El hongo coloniza principalmente las hojas viejas de la planta. A medida que las manchas necróticas cubren las hojas, la capacidad de la planta para llevar a cabo la fotosíntesis se ve comprometida.

Esto, a su vez, afecta la formación y el crecimiento de las raíces tuberosas, lo que se traduce en una disminución en el rendimiento y la calidad del cultivo (Da Silva, 2014).

Descripción del daño

La mancha foliar de la yuca se manifiesta con la aparición de manchas circulares o elípticas en las hojas de la planta. Estas manchas varían de color blanco a marrón y pueden variar en tamaño, pero generalmente son pequeñas, de manera predominante en el envés. A medida que la enfermedad progresa, las manchas pueden agrandarse y fusionarse, cubriendo grandes áreas de las hojas. Los márgenes de las manchas suelen ser una línea irregular más oscura, de color pardo violeta, rodeada por un halo marrón y amarillento. El centro puede volverse necrótico y presentar un aspecto polvoriento debido a la producción de esporas del hongo. La defoliación puede ocurrir si la infección es severa (Álvarez & Llano, 2002).

Ciclo de la enfermedad

P. manihotis es un hongo que produce esporas en las lesiones de las hojas infectadas. Estas esporas se diseminan por el viento y salpicaduras de agua lluvia, con lo que infectan a otras hojas de yuca a través de los estomas. La enfermedad es favorecida por condiciones cálidas y húmedas, lo que la hace más común durante la temporada de lluvias en las regiones tropicales (Da Silva, 2014). El hongo sobrevive en la época seca en los tejidos viejos infectados y reinicia su actividad con la llegada de las primeras lluvias y el nuevo crecimiento del hospedero (Álvarez & Llano, 2002).

Manejo integrado

El manejo de la mancha foliar de la yuca implica una combinación de estrategias. La selección de variedades resistentes

a la enfermedad es una medida importante. Además, se pueden implementar prácticas de manejo cultural, como la eliminación de hojas infectadas y la promoción de la circulación del aire en las plantaciones, para reducir la humedad y prevenir la propagación del hongo. Los fungicidas también pueden utilizarse para el control químico; los fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre suspendidos en aceite mineral proporcionan un buen control (Álvarez & Llano, 2002).

Pudrición del almidón de la yuca

Agente causal: *Choanephora cucurbitarum* (Kirk)
Tipo de organismo: hongo

Características generales

La pudrición del almidón de la yuca, causada por el hongo *Choanephora cucurbitarum*, aunque no es tan común como algunas otras enfermedades de la yuca, puede tener un impacto significativo en la calidad y la producción del cultivo. La calidad de las raíces se ve comprometida, ya que las raíces afectadas son inadecuadas para el procesamiento y consumo humano debido a las manchas y la descomposición. Esto resulta en una disminución de la calidad del almidón y de otros productos derivados de la yuca (Brito, 2019; Laberry & Lozano, 1988).

Descripción del daño

Los síntomas de la pudrición del almidón de la yuca incluyen la aparición de manchas húmedas, de color oscuro-negro, en las raíces de la yuca. Estas manchas suelen ser suaves y viscosas y a menudo están cubiertas por un micelio

blanquecino del hongo. A medida que la enfermedad progresa, las raíces afectadas pueden pudrirse completamente, lo que da como resultado una pérdida significativa de calidad y rendimiento (Brito, 2019; Pino, 1980).

Ciclo de la enfermedad

C. cucurbitarum es un hongo que produce esporangiosporas que pueden ser transportadas por el viento o el agua. Cuando las esporangiosporas entran en contacto con las raíces de la yuca, germinan y penetran en los tejidos. El hongo se desarrolla y se propaga en condiciones cálidas y húmedas, lo que favorece su crecimiento. La humedad en el suelo o la presencia de agua en las raíces son factores clave en la propagación de la enfermedad (Brito, 2019; Pino, 1980).

Manejo integrado

El manejo de la pudrición del almidón de la yuca implica una serie de medidas preventivas. Estas incluyen evitar la siembra en suelos con historial de la enfermedad, promover una adecuada circulación del aire en las plantaciones para reducir la humedad y eliminar las raíces afectadas de manera temprana para evitar la propagación de la enfermedad. Además, el uso de fungicidas puede ser una opción de control en casos graves, pero se debe realizar con precaución para minimizar el impacto ambiental (Pino, 1980).

La investigación continua sobre métodos de manejo y resistencia genética es esencial para abordar la pudrición del almidón de la yuca y garantizar la calidad y la producción de este cultivo, vital en muchas regiones del mundo. La identificación temprana de los síntomas y la implementación de medidas de control son fundamentales para minimizar los daños y mantener la salud de las plantaciones.

Antracnosis de la yuca

Agente causal: *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.

Tipo de organismo: hongo

Características generales

La antracnosis de la yuca, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*, es una enfermedad que se manifiesta con una serie de síntomas que afectan las hojas, los tallos y las raíces de la planta. Las lesiones en las hojas pueden afectar la fotosíntesis y, por lo tanto, reducir el crecimiento de las raíces tuberosas, lo que se traduce en una disminución en el rendimiento. Además, las raíces afectadas pueden ser de calidad inferior y no aptas para el consumo humano, lo que resulta en pérdidas económicas (Álvarez & Llano, 2002; De Oliveira et al., 2020; Papathoti et al., 2022).

Descripción del daño

En las hojas, se observan manchas circulares o irregulares de color marrón o negro, a menudo rodeadas de un halo más claro hacia la base, lo cual causa posteriormente la muerte total de la hoja (figura 10.3). En los tallos, la enfermedad puede causar lesiones que se asemejan a úlceras e inducen a chancros. En las raíces, se pueden formar manchas oscuras y hundidas. A medida que la enfermedad progresa, las lesiones pueden agrandarse y unirse, lo que resulta en la marchitez de las hojas y la reducción del crecimiento de la planta (Álvarez & Llano, 2002; De Oliveira et al., 2020).

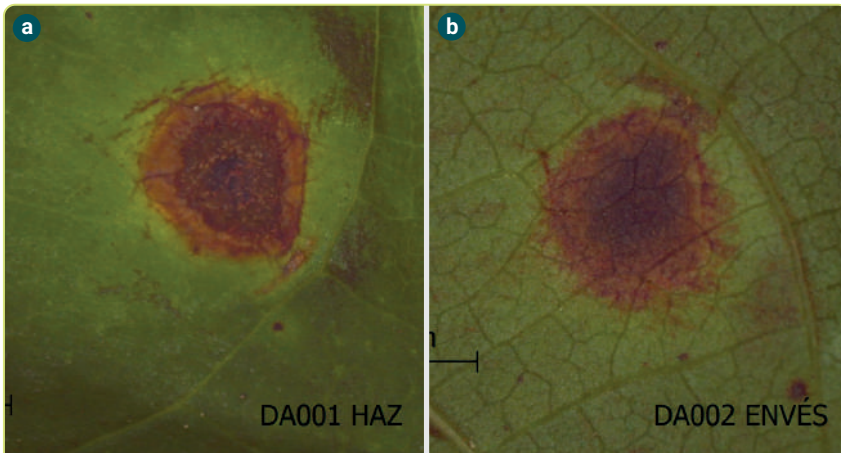


Figura 10.3. Manchas de antracnosis en hojas de la yuca. a. En el haz; b. En el envés.

Fotos: Shirley Patricia Pérez Cantero

Ciclo de la enfermedad

C. gloeosporioides es un hongo que produce estructuras de resistencia llamadas acérvulos, los cuales liberan esporas al ambiente. Las esporas pueden ser transportadas por el viento o el agua, y cuando entran en contacto con la yuca, germinan y penetran en los tejidos de la planta. El hongo se desarrolla y se reproduce en condiciones de alta humedad y en temperaturas cálidas, por lo que las hojas producidas al comienzo de las lluvias son las más susceptibles; el hongo desaparece cuando comienza la época seca (Álvarez & Llano, 2002; Papathoti et al., 2022).

Manejo integrado

El manejo de la antracnosis de la yuca implica una serie de estrategias. La selección de variedades resistentes es un enfoque importante, así como la implementación de prácticas de manejo agrícola que reduzcan la humedad en las plantaciones, como la poda de hojas inferiores. Además,

los fungicidas pueden ser utilizados para el control químico con rotaciones de propiconazol y carbendazim, aunque esto debe hacerse de manera sostenible para minimizar el impacto ambiental y minimizar el desarrollo de la resistencia del patógeno a estos productos, dado que esto ya se ha registrado (De Oliveira et al., 2020; Papathoti et al., 2022). La detección temprana de los síntomas y la implementación de medidas de control son esenciales para minimizar los daños y asegurar la producción de yuca en las regiones afectadas (Álvarez & Llano, 2002; Nicaragua et al., 2004).

Podredumbre rosada de la yuca

Agente causal: *Fusarium oxysporum*
Tipo de organismo: hongo

Características generales

La podredumbre rosada de la yuca, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *manihotis*, es una enfermedad que puede tener un impacto significativo en la producción de yuca. Las raíces afectadas por la enfermedad son de calidad inferior y no son aptas para el consumo humano o el procesamiento. Además, la infección de los tallos puede resultar en la pérdida de la parte aérea de la planta, lo que afecta el crecimiento y el rendimiento de las raíces tuberosas (Nurcahyani et al., 2021).

Descripción del daño

La podredumbre rosada de la yuca se caracteriza por la aparición de síntomas en las raíces y los tallos de la planta. Las raíces infectadas muestran manchas rosadas, que se vuelven más prominentes a medida que la enfermedad avanza,

lo que da origen al nombre de “podredumbre rosada”. Los tallos de la yuca también pueden ser afectados, lo que lleva a la descomposición de la parte aérea de la planta. La enfermedad puede provocar la marchitez de la planta y la disminución del crecimiento (Aigbe et al., 2008).

Ciclo de la enfermedad

F. oxysporum es un hongo que se propaga en el suelo y puede sobrevivir durante largos periodos de tiempo en forma de estructuras de resistencia llamadas clamidosporas. Cuando las condiciones son favorables, las clamidosporas germinan y producen hifas que penetran en las raíces de la yuca. A medida que el hongo se desarrolla, obstruye los vasos conductores de la planta, lo que afecta la absorción de agua y nutrientes (Aigbe et al., 2008).

Manejo integrado

El manejo de la podredumbre rosada de la yuca implica una combinación de estrategias. La selección de variedades de yuca resistentes a la enfermedad es un enfoque clave. Además, es importante evitar la siembra en suelos contaminados y practicar la rotación de cultivos. La desinfección de las herramientas agrícolas y la eliminación de residuos de plantas infectadas son prácticas importantes para prevenir la propagación de la enfermedad. La detección temprana de los síntomas y la implementación de medidas de control son fundamentales para minimizar los daños y garantizar la producción de yuca en las regiones afectadas (Aigbe et al., 2008; Folgueras Montiel et al., 2008).

Capítulo 11.

Manejo integrado de insectos plaga

Shirley Patricia Pérez Cantero, Juan Guillermo Cubillos Hinojosa y Clara Yalexty Delgado Ochica

Las plantaciones de yuca en el Caribe colombiano tradicionalmente han sido cultivadas por pequeños y medianos productores; sin embargo, se ha visto el interés en el establecimiento de cultivos de grandes extensiones de tierra. En ese sentido, el manejo integrado de insectos y ácaros plaga ha cobrado gran importancia para los productores, debido a que sus plantaciones se ven afectadas desde la siembra y el desarrollo del cultivo hasta la poscosecha, generando daños en las hojas, los tallos y las raíces, lo que se ve reflejado en pérdidas, que en algunos casos pueden ser severas.

En este capítulo se proporciona información sobre los principales insectos y ácaros plaga que afectan al cultivo de yuca en la región Caribe colombiana.

Barrenador del tallo

Nombre científico: *Chilomima clarkei* (Amsel)

Orden: Lepidoptera

Familia: Crambidae

Otros nombres: broca del tallo

Características generales

El barrenador del tallo de la yuca (*Chilomima clarkei*) es una mariposa cuya larva se alimenta de los tallos. El barrenador

se ha considerado plaga de este cultivo desde su entrada a diversas zonas yuqueras de Colombia durante los años setenta, y a partir de los noventa se convirtió en la plaga más importante en la costa Caribe. En Colombia, el 85% de las plantaciones de yuca están afectadas por este barrenador, que genera pérdidas en el rendimiento y afecta la calidad de las vástigas (material de multiplicación), impidiendo que estas sean utilizadas (López Vides et al., 1996).

C. clarkei también se encuentra en otras regiones productoras de yuca del país, como Tolima, Huila, Caldas, Santander, Norte de Santander y los Llanos Orientales, y ha sido reportada en otros países, como Venezuela, Brasil, Argentina (Adaime et al., 2020), Paraguay, Bolivia (Servais, 2022), entre otros.

Descripción del daño

Un ataque severo del insecto puede hacer que las ramas se rompan fácilmente, y el efecto es mayor cuando la plaga permanece durante todo el ciclo del cultivo. Las galerías miden de 3 a 10 cm de largo, y el ataque se evidencia por la presencia de telarañas y excrementos en forma de aserrín fino en las perforaciones que realiza la larva en la superficie del tallo (Bertorelli et al., 2006; Peñaloza et al., 1996). Los ataques severos pueden reducir el rendimiento de raíces entre un 45% y un 65% (Bellotti et al., 2009) (figura 11.1).

Ciclo de vida

Huevo: la oviposición se realiza al octavo día después de la emergencia de las hembras; cada una coloca entre 33 y 37 huevos. Esta polilla deposita los huevos en los nudos del tallo, cerca de las yemas axilares. Los huevos son redondos, de 1 a 1,2 mm de largo y de 0,5 a 0,9 mm de ancho, de superficie reticulada; son de color pálido, que después cambia a naranja, luego a rosado y después de 5 días a anaranjado, antes

de eclosionar. Las larvas recién eclosionadas son de 2 mm de largo y tienen 0,3 mm de cápsula cefálica (Almonacid et al., 2016).

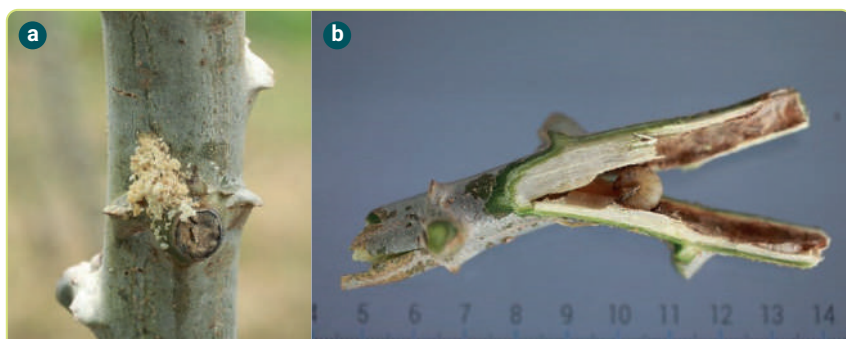


Figura 11.1. Síntomas del barrenador del tallo en yuca. a. Tallo afectado por *C. clarkei*; b. Perforaciones y galería realizadas por la larva.

Fotos: Shirley Patricia Pérez Cantero

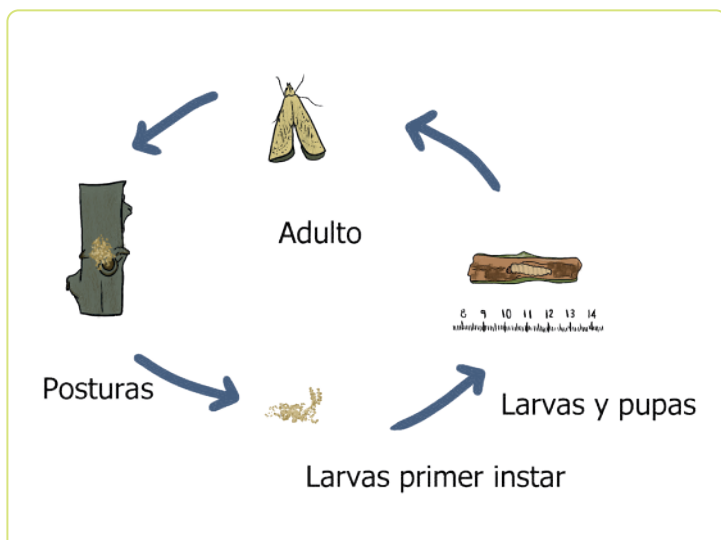


Figura 11.2. Ciclo de vida de *C. clarkei*.

Ilustración: Juan Guillermo Cubillos Hinojosa con base en Löhr (1983)

Larva: la larva se alimenta de la corteza del tallo durante 17 días y se protege con sus excrementos y la seda que produce. Luego ingresa al tallo, donde se alimenta y forma la pupa de la que emergerá la polilla.

Adulto: es una polilla de hábito nocturno de 25-30 mm de largo, con alas anteriores de color castaño claro con dos bandas de color bronce oscuro y alas posteriores de color gris pálido; su tórax está cubierto de escamas, y los sexos pueden distinguirse por los genitales. Es posible observar los adultos en campo, durante el día, adheridos al tallo de las plantas de yuca, con la cabeza orientada hacia abajo; al ser perturbados, vuelan una distancia corta y se establecen en un lugar donde la luz no les dé directamente (Löhr, 1983).

Gran parte del ciclo (1-2 meses) transcurre en el interior del tallo. El ciclo de vida dura entre 65,4 (Löhr, 1983) y 91,9 días, dependiendo de las condiciones ambientales (Ramírez, 2001).

Manejo integrado

Las medidas de manejo de esta plaga deben enfocarse en un monitoreo constante preventivo para realizar oportunamente las prácticas culturales y el control biológico, con el fin de evitar explosiones poblacionales del insecto y que se presenten pérdidas significativas en el cultivo. Una vez la larva entra en el tallo, es muy difícil su control; sin embargo, si se hacen controles en sus primeros instares larvales, pueden ser controladas por entomopatógenos como *Bacillus thuringiensis*. Debido a que su incremento generacional es acelerado, se hace necesario realizar varias aplicaciones en los primeros estadios (Bellotti et al., 2002).

Para el control biológico, se ha encontrado que los huevos son parasitados por microhimenópteros del género *Trichogramma* spp. Las larvas pueden ser parasitadas por avispa

del género *Bracon* y por las especies *Brachymeria conica* y *Apanteles* sp. (Löhr, 1983; Peñaloza et al., 1996).

Los adultos son difíciles de controlar, y las larvas, al alimentarse de la parte interna del tallo, se protegen de las medidas de control tradicionales y de las condiciones externas; por ello, se recomiendan como prácticas culturales preventivas seleccionar una semilla que no sea muy susceptible a la plaga, que esté sana para la siembra, y desinfectarlas con una solución a base de insecticidas. Es importante destruir o extraer las plantas afectadas en los lotes, así como quemar los residuos de la cosecha, para evitar la continuidad de los ciclos de la plaga. El almacenamiento de la semilla debe ser por periodos cortos, se debe evitar el intercambio de estacas entre localidades y se recomienda realizar rotaciones de cultivos (Bellotti et al., 2002). Se requiere realizar más estudios para el control de este insecto, ya que los hongos entomopatógenos *Metarhizium* sp. y *Beauveria* sp. fueron reportados de forma natural en campo y porque no se cuenta con investigaciones recientes (Ramírez, 2001).

Gusano cachón de la yuca

Nombre científico: *Erinnyis ello* L.

Orden: Lepidoptera

Familia: Sphingidae

Otros nombres: mandarova, cornudo de la yuca, vaquita o gusano cachudo

Características generales

El gusano cachón *Erinnyis ello* es un insecto plaga polífago que se encuentra distribuido en zonas tropicales y subtropicales de América, en países como Argentina, Brasil, Colombia y Paraguay; es una de las plagas más importantes en el cultivo de yuca (Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], 1989). Este insecto tiene diferentes hospederos, los

cuales incluyen cultivos de importancia económica como papaya, tabaco, algodón y tomate, aunque sus ataques son frecuentes únicamente en plantaciones de yuca y caucho (Arias & Bellotti, 1984; Pratissoli et al., 2002; Winder, 1976).

Descripción del daño

Las larvas de *E. ello* se alimentan de plantas de cualquier edad y en cualquier condición climática. Los ataques severos causan la defoliación completa y, si la planta se encuentra en edades tempranas, pueden causar su muerte. Aunque las plantas sobrevivan a las defoliaciones severas, igual se ocasionan pérdidas importantes de rendimiento, ya que utilizan las reservas en las raíces para sobrevivir (Braun et al., 1993; Espitia Montes et al., 2022; Peñaloza et al., 1996).

El gusano cachón tiene una gran capacidad de consumo de lámina foliar, pues puede llegar a consumir hasta 1.107 cm² de superficie foliar; un 75 % del consumo ocurre durante el último instar larval (Bellotti & Arias, 1978). Cuando se presentan ataques continuos en plantas adultas en condiciones climáticas favorables para el insecto, la reducción en el rendimiento puede oscilar entre el 10 % y el 50 % (Peñaloza et al., 1996).

Ciclo de vida

Huevo: las hembras depositan los huevos de manera individual en el haz de las hojas. Los huevos son de forma esférica y fácilmente visibles por su gran tamaño (1,0-1,5 mm de diámetro). Pueden ser de color blanco-amarillo y se tornan verdosos cuando están próximos a eclosionar, lo cual se da aproximadamente tres días después de la oviposición; una hembra puede colocar en una sola noche hasta 500 huevos, y la eclosión ocurre de tres a cinco días después de la oviposición (CIAT, 1989).

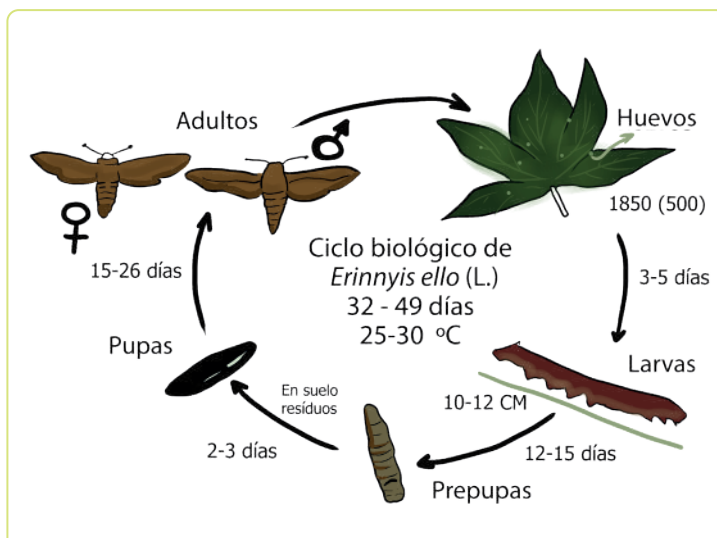


Figura 11.3. Ciclo de vida de *E. ello*.

Ilustración: Juan Guillermo Cubillos Hinojosa con base en Urías & Reyes (1990)

Larva: en este estadio es cuando el insecto causa daños debido a su consumo voraz de la lámina foliar. El insecto tiene cinco instares larvales; la fase puede durar hasta quince días y alcanzar un tamaño de hasta 10 cm de largo. Se caracterizan por tener una estructura con forma de cuerno o cacho en el último segmento abdominal (Bellotti & Van Schoonhoven, 1978; Peñaloza et al., 1996).

Pupa: este es el estadio intermedio entre la larva y el adulto del insecto. Cuando la larva finaliza el quinto instar, se dirige al suelo para formar la pupa, que es de color marrón. El estadio de pupa puede durar hasta quince días (Bellotti & Van Schoonhoven, 1978).

Adulto: El adulto es una polilla de hábito nocturno y de gran tamaño (hasta 90 mm). Es de color gris y por lo general presenta de cinco a seis bandas negras en el abdomen (CIAT, 1989).

El ciclo biológico completo de *E. ello* dura entre 32 y 49 días, dependiendo de las condiciones climáticas.

Manejo integrado

Para el manejo del gusano cachón en cultivos de yuca, se recomienda llevar a cabo las siguientes medidas culturales y biológicas.

En lotes planos o con pendientes suaves, se debe realizar preparación mecánica del suelo, preferiblemente arado, para destruir las pupas por daño mecánico y exposición al sol. Durante la realización del control manual de malezas, se pueden destruir las larvas o pupas con el desyerbe. Otra práctica que se puede realizar es la colecta manual de pupas y larvas para disminuir las poblaciones de este insecto a áreas pequeñas. Es recomendable eliminar malezas lechosas, que también son hospederas del insecto, realizar monitoreos constantes y colocar trampas de luz. En el caso de ataques continuos del insecto, es recomendable la rotación de cultivos (Bellotti & Van Schoonhoven, 1978). Para larvas de gusano cachón en sus tres primeros instares, se recomienda la aplicación de *Bacillus thuringiensis* (3 g/L de agua), con una frecuencia de dos a tres aplicaciones, para disminuir poblaciones venideras (Cañarte et al., 2021). Entre otros biológicos, se encuentra el Erytec®, un bioplaguicida en polvo a base del granulovirus aislamiento VGo10. Se recomienda aplicar este bioplaguicida en dosis de 100 g/h cuando se detecte la presencia del insecto. Para esto, se deben realizar monitoreos constantes y, de ser necesario, otra aplicación (Cuartas et al., 2019).

Asimismo, se recomienda hacer un buen manejo del cultivo, que no afecte la fauna benéfica, ya que se han identificado más de cuarenta especies de parásitos, depredadores y patógenos de huevos, larvas y estadios pupales del gusano cachón de la yuca en Colombia, las cuales han mostrado gran efectividad natural en diferentes estadios de la plaga; algunas de estas especies son parasitoides de huevos:

Trichogramma sp. y *Telenomus* sp.; parasitoides de larvas: *Cotesia* sp. y moscas Tachinidae; y predadoras de larvas: *Polistes* sp. y *Podisus* sp. (Bellotti et al., 1999; Peñaloza et al., 1996).

Trips o raspadores de la yuca

Nombre científico: se han identificado diferentes especies asociadas al cultivo de la yuca: *Frankliniella williamsi* Hood, *Scirtothrips manihoti* Hood, *Corynothrips stenopterus* Will. y *Caliothrips masculinus* Hood

Orden: Thysanoptera

Familia: Thripidae

Otros nombres: chupador

Características generales

Los trips son cosmopolitas y son de especial cuidado; se presentan en Centroamérica y América del Sur, aunque también se han reportado en África. *Frankliniella williamsi* y *Scirtothrips manihoti* son las especies de mayor importancia en el cultivo de yuca, ya que hacen daño en las yemas apicales, con lo que causan daño en la dominancia apical.

Descripción del daño

Los trips *F. williamsi* y *S. manihoti* atacan principalmente las hojas apicales de la planta, con lo cual causan deformaciones en los folíolos de las hojas, tornándolas de un color amarillento. Cuando se presentan ataques severos, los puntos terminales de crecimiento de las hojas pueden morir y se genera un crecimiento de yemas laterales, dando como resultado hojas pequeñas y deformes que van desde los bordes de los folíolos hasta la nervadura central. En estudios previos se determinó que los trips pueden causar una pérdida de rendimiento entre el 15 % y el 20 % (Bellotti et al., 1983).

Ciclo de vida

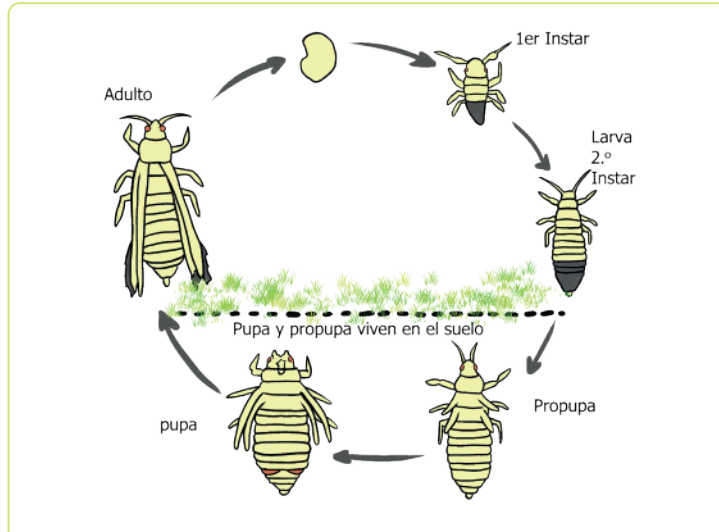


Figura 11.4. Ciclo de vida de los trips o raspadores de la yuca.

Ilustración: Juan Guillermo Cubillos Hinojosa con base en Arias & Bellotti (2003)

Huevo y ninfa: son de forma reniforme, sin micropilo y de color blanquecino; las hembras depositan huevos directamente en el tejido de la planta de yuca, y entre el cuarto y el quinto día emergen las ninfas de primer instar. El segundo instar larval dura entre cinco y ocho días (Cárdenas & Corredor, 1989).

Prepupa y pupa: las prepupas duran entre cuatro y seis días, mientras que el estadio de pupa dura entre tres y cinco días (Cárdenas & Corredor, 1989).

Adulto: las hembras tienen un tamaño de 1,7 mm de longitud y son mucho más grandes que los machos. El estadio de adulto tiene una larga vida, de entre 60 y 120 días (Cárdenas & Corredor, 1989).

Manejo integrado

Para evitar ataques de trips, uno de los manejos más eficientes es emplear variedades resistentes y adaptables a cada una de las zonas donde se implementa el cultivo. Aproximadamente un 30 % de las variedades de yuca disponibles son resistentes a los trips; esta es una resistencia mecánica, por medio del desarrollo de vellosidades para evitar la presencia de áreas disponibles para esta plaga (Arias & Guerrero, 2000).

Ácaros o arañitas

Nombre científico: al cultivo de la yuca se han asociado diferentes especies de los géneros *Mononychellus* sp., *Tetranychus* sp. y *Oligonychus* sp.

Orden: Acari

Familia: Tetranychidae

Otros nombres: ácaro rojo o ácaro verde

Características generales

Estos organismos son una plaga universal en el cultivo de la yuca, y causan pérdidas significativas en los cultivos en América, África y Asia. Se han reportado más que cuarenta especies que se alimentan del cultivo de la yuca, siendo las más frecuentes en América *Mononychellus tanajoa*, *M. caribbeanae*, *Tetranychus urticae*, *T. neocaledonicus* y *Oligonychus peruvianus*.

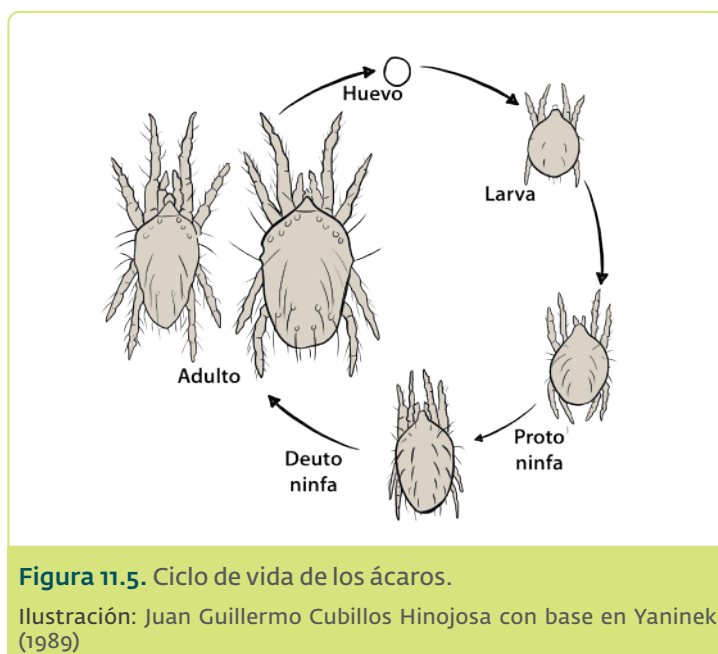
Descripción del daño

Los ácaros —especialmente el verde (*Mononychellus* sp.)— son considerados una de las plagas más importantes, ya que han coevolucionado con el cultivo, llegando al punto de adaptarse a las distintas barreras físicas y químicas que utiliza el cultivo para defenderse (Bellotti, 2008; Marín Colorado, 2015). Los ácaros se ubican principalmente en el envés de las hojas y causan raspaduras en sus nervaduras.

El ácaro verde de la yuca (*M. tanajoa*) por lo general se encuentra alrededor de los puntos de crecimiento de la planta. Cuando se presentan ataques severos, las hojas recién emergidas pierden su color verde y presentan puntos amarillos uniformes en toda el área foliar, con una apariencia moteada, amarillenta y bronceada, en forma de mosaico. Asimismo, los tallos presentan necrosamiento progresivo y puede llegar a presentarse la muerte descendente de la planta. Las plantas pueden recuperarse y reponer su follaje en época de lluvia, pero con bajas productividades. Se han reportado pérdidas del 13 % al 80 % durante el ciclo del cultivo (Alonso Chavez et al., 2021; Bellotti et al., 1983).

El complejo del ácaro rojo de la yuca (*Tetranychus* sp.) está conformado por las especies *T. urticae* y *T. cinnabarinus*. Estos organismos forman una telaraña para desplazarse de una parte de la planta a otra, o entre plantas. Los daños ocasionados por el complejo de arañitas rojas se ubican en los tercios medio e inferior de la planta de yuca. En condiciones de sequía, en genotipos susceptibles, los ácaros pueden causar la muerte de las plantas (Bellotti et al., 1983; Cañarte et al., 2021).

Ciclo de vida



El ciclo de vida de los ácaros consta de cuatro estadios activos, que comprenden un estadio larval, dos estadios ninfales y un estadio adulto. Tanto la reproducción como la fecundidad y el tiempo de desarrollo son afectados por condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la planta hospedera. En época de lluvias, las poblaciones de ácaros bajan considerablemente (Yaninek et al., 1989).

Manejo integrado

El manejo de los ácaros debe estar basado principalmente en el establecimiento de materiales tolerantes a esta plaga, la selección y establecimiento de materiales sanos para la siembra y el tratamiento de las semillas. También se debe

establecer los cultivos con el inicio de las lluvias, con la fertilización adecuada, para que la planta tenga un buen desarrollo y sea más resistente al ataque de plagas. Se debe realizar un monitoreo constante para controlar las explosiones de la plaga (Alonso Chavez et al., 2021).

En caso de requerir control químico, se recomienda usar plaguicidas selectivos para preservar los enemigos naturales de la plaga, encargados de disminuir sus poblaciones, ya que se ha demostrado una reducción del 30% en la producción cuando se eliminan los enemigos naturales de los ácaros, por lo cual no es recomendable realizar aplicaciones de acaricidas de forma sucesiva (Alonso Chavez et al., 2021).

Para el control biológico, se han reportado tres especies de Phytoseiidae (ácaros depredadores) de importancia para el control de plagas en yuca: *Typhlodromalus aripo*, *T. manihoti* y *Neoseiulus idaeus*. *T. aripo* puede reducir la población del ácaro verde en un 35%-90% e incrementar la producción de material fresco en un 30%-37% (Bellotti et al., 2009).

Chisas

Nombre científico: al cultivo de la yuca se han asociado los géneros *Phyllophaga* spp., *Cyclocephala* sp. y *Anomala* sp.

Orden: Coleoptera

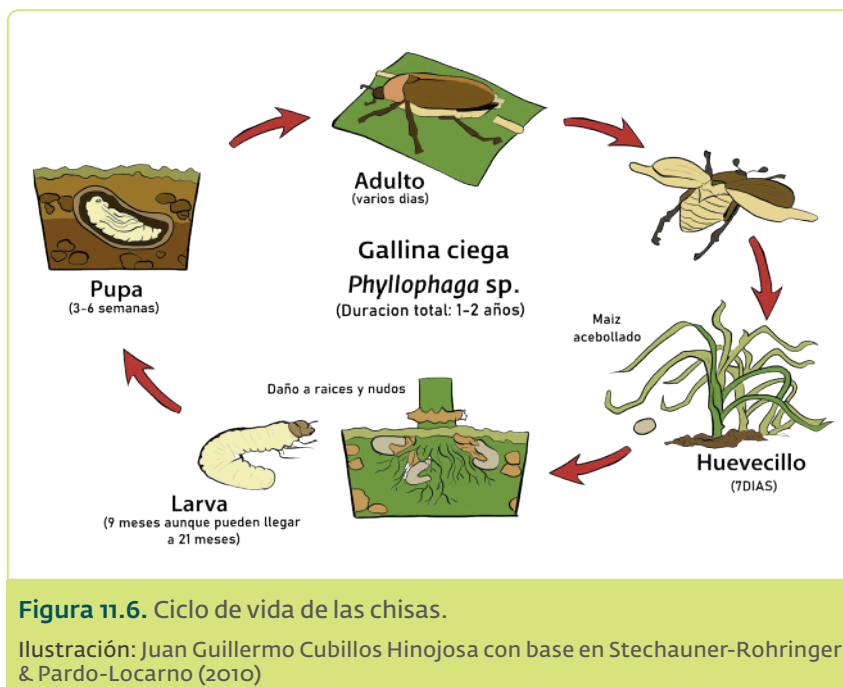
Familia: Scarabaeidae

Otros nombres: chisas, gallina ciega o mojoyoy

Características generales

Son larvas de escarabajos de color blanco, en forma de C, que causan daño en las estacas y plantas de yuca recién establecidas, especialmente en sus primeros días de enraizamiento. Este insecto habita principalmente en el suelo y en restos de materia orgánica en estado de descomposición. Es

un insecto polífago, es decir, se alimenta de las raíces de una gran variedad de plantas (Morón et al., 2014).



Descripción del daño

Normalmente, las chisas se alimentan bajo el suelo y forman túneles dentro de la estaca de yuca, impidiendo el paso de los nutrientes hacia la parte aérea de la planta; además, consumen las raíces en formación. Este insecto puede causar hasta el 95 % de pérdida de la germinación, si no se controla a tiempo. Las larvas también destruyen la corteza basal de las estacas establecidas en campo, por donde se presenta una pudrición y posterior muerte de la plántula. El ataque en plantas jóvenes (1-3 meses) genera el marchitamiento de las hojas, y la planta muere repentinamente por el consumo que de ella hacen las larvas (Bellotti et al., 1978).

Ciclo de vida

Huevo: los huevos son de forma ovoide, opacos y de color blanco. Se encuentran en el suelo a 5-15 cm de profundidad y en grupos de 10 a 20. La hembra pone durante un periodo de dos a cuatro días (King, 1994).

Larva: son del tipo escarabeiforme, tipo C, con cuerpo robusto y tres pares de patas bien desarrolladas. Se distinguen por presentar la galea y la lacinia maxilar completamente fusionadas entre sí. Las mandíbulas son robustas antenas formadas por cuatro artejos, y en las antenas el último artejo es conspicuo y provisto con áreas sensoriales amplias (Cuate-Mozo et al., 2019).

Pupa: una vez alimentadas, las larvas del tercer instar expulsan su contenido intestinal y producen una celda en el suelo, donde pasan una etapa de descanso (diapausa) de entre cinco y seis meses, antes de transformarse en pupa o crisálida (King, 1994). Las pupas son de tipo exarata, de color variable, generalmente café pálido (Cibrián, 2013). Tras una etapa de pupa de algo más de un mes, aparecen los adultos, que permanecen inactivos en las celdas hasta que la lluvia que moja la tierra los estimula a salir de la superficie (King, 1994).

Adulto: los adultos de *Phyllophaga* spp. son escarabajos de forma ovalada, alargada, que miden de 15 a 18 mm de longitud; son de color café rojizo a café oscuro; emergen del suelo y habitan en la parte aérea de la planta. Las hembras inician la oviposición hasta nueve días después del apareamiento (Cibrián, 2013).

Manejo integrado

Para el manejo cultural, se debe tener en cuenta la elección de fechas de siembra apropiadas para evitar la presencia de ciertas plagas, como las chisas. Una siembra tardía puede

evitar la oviposición del 80%-90% de hembras grávidas de *Phyllophaga* sp. (Morón et al., 1998).

También se recomienda la rotación de cultivos, ya que los adultos de las chisas prefieren hacer la oviposición en cultivos que sean atractivos para estas, por lo que se recomienda evitar monocultivos en ciertas regiones y así evitar el ataque de la plaga (Rodríguez, 1984).

Para el control de las chisas, se pueden utilizar varias herramientas de control biológico, como parasitoides, predadores y entomopatógenos que atacan a estos insectos. Los más usados son los hongos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, la bacteria *Bacillus popilliae* y nemátodos entomopatógenos que causan la enfermedad lechosa de las chisas. Los nemátodos han resultado ser una de las herramientas más eficientes para su control, pues generan una mortalidad del 70%-100% de estas plagas en campo (Leite et al., 2019). Para la captura de adultos, ha resultado eficiente el uso de trampas de luz fluorescente negra para reducir las poblaciones de *Phyllophaga ravidia* en maíz (Aragón-García et al., 2008).

El control químico se utiliza en el suelo, en lugares donde se haya reportado problemas con esta plaga, aunque su eficiencia no es elevada debido a la dificultad de alcanzar las larvas en toda la matriz del suelo, a su rápida degradación y a la capacidad de las larvas de escapar del producto (Aragón-García et al., 2008; Leite et al., 2019).

Plagas secundarias

A continuación, en la tabla 11.1, se presentan las plagas secundarias que afectan al cultivo de la yuca industrial en la región Caribe.

Tabla 11.1. Plagas secundarias que afectan al cultivo de la yuca industrial en la región Caribe

Nombre común	Especies importantes	Tipo de daño y síntomas	Pérdidas o daños reportados	Estrategia de manejo
Comején	<i>Coptotermes voltkei</i> y <i>Coptotermes paradoxis</i> (Isoptera: Rhinotermitidae)	Se alimentan de estacas, raíces, plántulas y tallos; pueden causar el secamiento o la muerte de las plantas	46%-100 % de pérdida en estacas	Tratamiento de estacas con plaguicida; mantener campos limpios
	Complejo de <i>Bemisia</i> spp., <i>Aleurotrachelus</i> spp. y <i>Trialeurodes</i> spp. (Hemiptera: Aleyrodidae)	Se alimentan directamente de la planta de yuca y sirven de vectores de varios virus que la atacan. Las moscas blancas pueden causar amarillamiento y secamiento de las hojas bajas, así como deformación, encreспamiento y moteado verde-amarillento en las hojas apicales y del tercio medio de la planta	32%-79 % de pérdidas de rendimiento	Uso de materiales con resistencia varietal; controles culturales y biológicos con <i>B. bassiana</i>
Hormigas cortadoras de hojas	<i>Atta</i> spp. y <i>Acromyrmex</i> spp. (Hymenoptera: Formicidae)	Defolian las plantas	No se reportan pérdidas	Fumigación de los nidos con cebos tóxicos

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 12.

Cosecha y poscosecha de yuca industrial

Luis Alejandro Taborda Andrade, Thierry Tran, Bernardo Ospina y Elvia Amparo Rosero

La yuca es un cultivo de amplia relevancia en la costa Caribe de Colombia, pues en esta zona las condiciones ambientales le ofrecen al cultivo un alto potencial como insumo del desarrollo agroindustrial. Las variedades industriales liberadas en el Caribe, que actualmente están siendo cultivadas, hacen parte de la materia prima de diferentes alternativas tecnológicas que le agregan valor a la yuca para obtener diversos productos que incluyen, entre otros, almidón nativo, almidón fermentado, harina, trozos secos, etc. En todos los casos, existe una serie de recomendaciones para la cosecha y el alistamiento previo al proceso de transformación.

Cosecha, pesaje y alistamiento de raíces de yuca

Cosecha

La cosecha de yuca se realiza de forma manual o mecanizada, considerando que las raíces pasan por diferentes equipos de transformación. Durante la cosecha, se debe evitar dejar parte de los tocones o tallos, así como residuos (piedras o terrones), pues pueden dañar las máquinas durante el procesamiento. Una vez cosechadas, las raíces son transportadas a la planta de procesamiento; para ello, en campo pueden ser empacadas en sacos de 40 kg o al granel, si el

medio de transporte lo permite (figura 12.1). Adicionalmente, se recomienda descartar las raíces dañadas o deterioradas, ya que afectan la calidad del producto final (Ospina & Rosero, 2023).



Figura 12.1. Cosecha y empacado manual de yuca.

Fotos: Bernardo Ospina

Después de la cosecha, las raíces frescas deben ser transportadas rápidamente al lugar de procesamiento, ya que el deterioro fisiológico y microbiano, que puede iniciar incluso ocho horas después de la cosecha, afecta la calidad de la yuca como materia prima de diversos productos.

El contenido de materia seca en las raíces de yuca es uno de los factores determinantes en la eficiencia de la transformación y, por lo tanto, en la rentabilidad. Este factor depende en gran medida de la variedad cultivada; sin embargo, se ha evidenciado que las condiciones ambientales durante el ciclo de cultivo, como el suelo, el clima, la edad y la sanidad vegetal, también inciden en la calidad de las raíces. En general, las variedades mejoradas cultivadas en la región Caribe presentan un contenido de materia seca superior al de las variedades de consumo humano, con un valor promedio superior al 30 % (tabla 12.1).

Tabla 12.1. Eficiencia de transformación estimada para las principales variedades industriales en la región Caribe

Variedad	Rendimiento de raíces frescas (t/ha)	Contenido de materia seca (%)	Rendimiento de raíces secas (t/ha)
Corpoica Tai	29,45	33,9	9,98
Corpoica Verónica	32,95	35,5	11,69
Corpoica Belloti	30,3	37,5	11,36
Corpoica Ropain	28,4	32,2	9,14
Corpoica Sinuana	31,8	34,8	11,06

Fuente: Ospina y Rosero (2022)

Pesaje, lavado y alistamiento inicial de raíces frescas de yuca

Cuando las raíces frescas ingresan al sitio de procesamiento, son pesadas. Para la industria de almidón nativo, el método gravimétrico de pesaje de una muestra de raíces frescas al aire y al agua es el que permite calcular el contenido de materia seca. Esta operación se realiza con el fin de determinar tanto la cantidad de yuca fresca que se va a procesar como

la calidad de la variedad o de la carga, con lo cual se puede definir el valor de pago por tonelada de raíces frescas.

Posteriormente, las raíces frescas pasan por un control inicial previo al picado, que incluye la remoción de tierra adherida y de residuos indeseables, y de ser necesario se realiza el corte de los tocones o tallos que hayan quedado del proceso de cosecha.

Luego, se realiza un proceso de lavado de las raíces. En algunos casos, para la producción de trozos secos, dependiendo de la época, las raíces pueden ser picadas directamente. Las máquinas de lavado de raíces de yuca contienen un tambor rotatorio y un tornillo sin fin, y aplican agua a presión dentro o fuera del tambor.

Producción de trozos secos de yuca

La producción de trozos secos de raíces frescas de yuca es una de las principales líneas de agregación de valor de las variedades mejoradas de yuca industrial en el Caribe. El trozado o picado es el primer paso para la producción de trozos secos.

En el secado natural se aprovecha la energía del sol y la eólica, por lo cual es una labor que depende de las condiciones climáticas. Este proceso, de bajo costo, permite hacer un primer paso de secado de la yuca en las condiciones locales, por lo cual ha sido una estrategia que, impulsada por los requerimientos del mercado de balanceados, se ha expandido en el Caribe.

Secado en patios y bandejas

Para el secado de los trozos en patios, se usan pisos de cemento o lonas plásticas móviles. En estas áreas, los trozos secos quedan expuestos al sol y al calor latente de las

corrientes de aire circundantes. El proceso incluye los siguientes pasos:

1. Los trozos recién picados son transportados en carretillas y depositados en pequeños montones sobre la superficie de secado.
2. Los montones de yuca picada se esparcen uniformemente con un rastrillo de madera (figura 12.2). Se debe garantizar que en cada metro cuadrado de piso haya aproximadamente 10-12 kg de trozos frescos, los cuales se secan en dos días. El exceso de carga reduce la eficiencia de secado y reduce la calidad del material.
3. Con el fin de garantizar un secado uniforme, se debe voltear los trozos cada dos horas, especialmente en las primeras horas de secado, que es cuando se pierde la mayor parte de la humedad.
4. En la noche, se recomienda apilar y proteger los trozos con una cubierta de plástico o lona, por si llueve; asimismo, se recomienda que la superficie cuente con algún grado de desnivel, para evitar que la humedad afecte los trozos secos. Sin embargo, en ciertas épocas del año, los trozos pueden permanecer esparcidos sobre la superficie de secado, si se garantiza que la lluvia o el rocío de la mañana no incrementarán la humedad nuevamente.
5. Al siguiente día, los trozos de yuca almacenados reiniciarán el proceso de secado en la superficie.
6. Como el día previo, se realiza volteo de los trozos de forma frecuente; este proceso promueve la disminución



Figura 12.2. Rastrillo de madera empleado para esparcir los trozos de yuca.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

progresiva del contenido de humedad. Desde la cosecha hasta el almacenamiento, el proceso de secado toma en promedio unas cincuenta horas.

De forma similar, es posible incorporar el secado en bandejas, que incluye los siguientes pasos:

1. Una vez se acomodan las bandejas en la cama inclinada o estructura de soporte, los trozos frescos de yuca se esparcen sobre estas (figura 12.3).

En condiciones de mayor velocidad del viento, el secado de los trozos en las bandejas es muy rápido e incluso no se requiere voltear.

2. Durante la noche, las bandejas se pueden apilar horizontalmente (una encima de otra) bajo techo, o



Figura 12.3. Secado de trozos de yuca en bandejas.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

afuera, pero cubiertas con una lona o un plástico. Si no se pronostican lluvias, también pueden dejarse sobre los soportes.

- 3- Al siguiente día, las bandejas se disponen nuevamente sobre sus soportes hasta que los trozos alcancen el nivel de humedad deseado.

Secado artificial

El procesamiento de trozos secos de yuca consta de diferentes pasos que permiten la transformación semimecanizada y el uso de calor para acelerar el proceso de secado:

1. El proceso inicia en una tolva de recepción; aquí se debe revisar que las raíces no tengan tocones o elementos extraños que puedan causar daños a los equipos.

2. El desarenador permite capturar elementos no deseados para el sistema de lavado y picado; estos elementos son depositados en el fondo de la tolva.
3. Posteriormente, las raíces son transportadas por una banda que lleva las raíces a la zona de lavado; en esta fase también se requiere inspección visual.
4. En muchos casos, hay residuos adheridos que no son despejados por el desarenador, por lo cual es necesario realizar un lavado antes del picado. Las raíces lavadas son liberadas a través de una compuerta que gradualmente se va abriendo para dejarlas caer al tanque de desinfección. La cascarilla y las partículas de tierra quedan depositadas en la parte inferior del tambor rotatorio y pueden usarse como abono para los cultivos de yuca.
5. Las raíces lavadas ingresan a la sección de trozado, donde hay una máquina picadora de raíces de yuca.
6. Finalmente, los trozos son elevados hasta la cámara de secado por medio de un alimentador sin fin acoplado herméticamente a la estructura de la picadora por medio de una tolva que evita pérdidas en el proceso.
7. La capacidad de alimentación del sistema para lavado y picado es de dos toneladas de raíces frescas por hora; este proceso debe ser realizado por tandas de 200 kg de yuca fresca cada cinco minutos, debido a la capacidad de la sección de lavado.
8. El secado artificial en capa fija consiste en el paso de un flujo uniforme de aire caliente a través de una capa de trozos frescos de 20 a 30 cm de espesor. El secador es un compartimento de construcción simple, con un piso falso de lámina inoxidable perforada, sobre el que descansa el producto mientras un ventilador hace circular el aire caliente a través de la capa de trozos. Para lograr una capa homogénea, los trozos son esparcidos por el sistema de agitación, ayudado manualmente por un rastrillo que permite agilizar el proceso y ganar tiempo

en el secado. Para que el secado sea uniforme, es preciso mezclar continuamente el producto con un mecanismo que se desplaza a lo largo de la cámara, movido por un motorreductor y un control de final de carrera para el desplazamiento de ida y regreso; en este caso, el mezclado es semiautomático. La capacidad de secado del sistema es de hasta cuatro toneladas de trozos frescos de yuca, con un periodo de operación del sistema de 10 a 12 horas.

Secado mixto

En la estrategia de secado mixto, la etapa inicial del proceso se realiza de manera natural en patios, ya sea sobre cemento o plásticos móviles, y la etapa final es realizada en un silo secador o utilizando el sistema artificial. Así, en esta tecnología se siguen los siguientes pasos:

1. Se realiza una fase de secado natural en la que se reduce la humedad del producto desde el 65 % hasta el 42 %.
2. Después de la fase de secado natural en piso de cemento o lona plástica, los trozos de yuca semisecos son suministrados manualmente (paleados o en sacos) a la cámara de secado. Para lograr una capa homogénea, los trozos son esparcidos uniformemente por un operario, ayudado por un rastrillo o pala. El secado empieza inmediatamente, como se describió anteriormente.

Recolección y empaque de trozos secos de yuca

El secado de los trozos secos busca llevarlos a una humedad entre el 10 % y el 12 %, después de lo cual son recogidos y empacados. En las condiciones locales, este nivel de humedad se confirma presionando los trozos con los dedos, ante lo cual deben romperse.

Procesamiento del almidón fermentado

La producción de almidón agrio o fermentado es típica en países latinoamericanos como Paraguay, Argentina (en el norte), Colombia, Brasil y Ecuador. En Colombia, el almidón agrio se produce en plantas de procesamiento pequeñas o medianas, conocidas como rallanderías (o ralladeros). La capacidad de procesamiento de estas unidades puede variar entre dos y más de veinte toneladas de raíces frescas de yuca por jornada regular de ocho horas de trabajo. El procesamiento de almidón fermentado en Colombia se concentra en los departamentos de Cauca, donde se estima que operan regularmente cincuenta rallanderías (Taborda, 2018), y Sucre, donde operan con frecuencia más de quince plantas (Rosero Alpala et al., 2023). En menor medida, se produce en los departamentos de Córdoba (Caribe) y Meta (Llanos Orientales).

El almidón agrio se obtiene gracias a la fermentación láctica anaeróbica del almidón nativo (dulce). Normalmente, este periodo de fermentación puede durar entre 30 y 120 días. Este tiempo depende de la conjugación de diversos factores, como la calidad del agua, el clima, las variedades de yuca procesadas, entre otros. La función de la fermentación es extender la vida útil del almidón húmedo sedimentado (contenido de humedad del 45 % b. h.), reduciendo el pH de 6-7 a 4, y, al mismo tiempo, modificar la estructura molecular del almidón (Ampe et al., 2001; Guyot et al., 2003). Después de este proceso, el almidón agrio se seca al sol (Dufour et al., 1995). Las operaciones de fermentación y secado al sol le dan al almidón agrio propiedades especiales de expansión, lo que lo hace adecuado para hornear productos parecidos al pan, como pan de bono, pan de queso y pan de yuca, consumidos como aperitivos en Colombia y Brasil (Dufour et al., 1995).

La figura 12.4 expone un diagrama de flujo del procesamiento de almidón fermentado de yuca. El esquema presenta 1)



un balance de masa promedio para una unidad funcional de análisis igual a una tonelada de almidón agro (12 % b. h.); 2) la duración promedio en cada etapa del proceso; 3) el consumo promedio de agua en cada etapa del proceso, y 4) la identificación de efluentes y residuos del proceso.

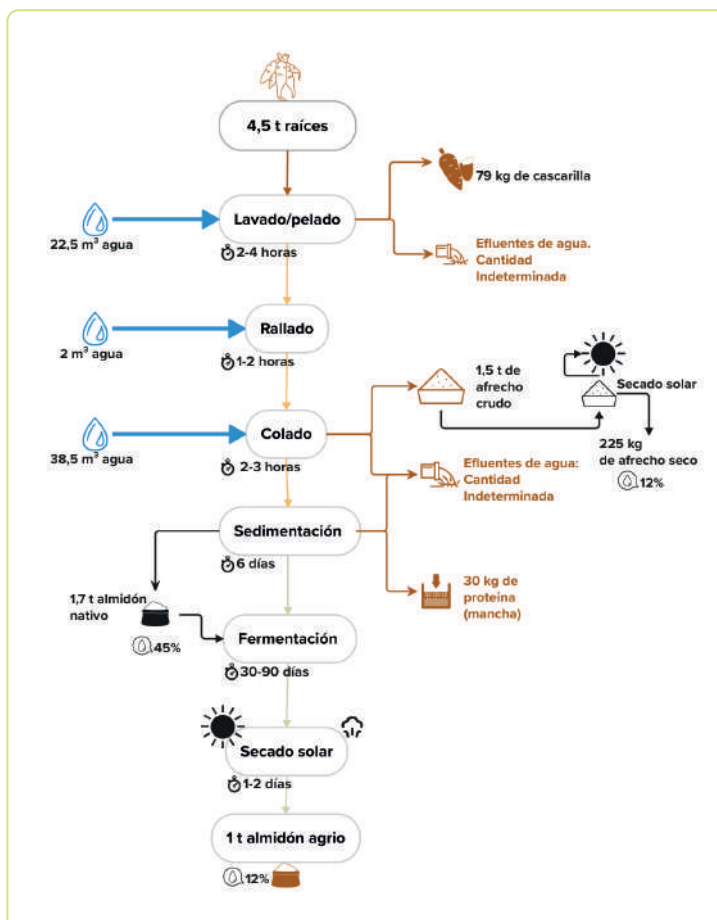


Figura 12.4. Diagrama de flujo del procesamiento de almidón fermentado de yuca: balance de masa y duración promedio en cada etapa para 1 t de almidón agro (12 % b. h.).

Fuente: Elaboración propia

Lavado/pelado

En pocas rallanderías aún se emplea el pelado manual (figura 12.5a). El pelado manual favorece la calidad del almidón, pero incrementa el costo de mano de obra. Por esta razón, en la mayoría de las rallanderías se emplea el pelado y lavado mecanizado.

Normalmente, previo al lavado, se realiza el despunte de las raíces, que consiste en cortar manualmente los extremos de la raíz. Esto se realiza usualmente para proteger el rallo, pues los extremos de la raíz, al igual que las piedras, los tallos y otros cuerpos rígidos, pueden acelerar el deterioro de las cuchillas, seguetas o láminas perforadas (figura 12.6).

Los equipos para desarenar y lavar las yucas se fabrican en forma de cilindros de rejillas metálicas que giran alrededor de un eje horizontal (figura 12.5c) (Rivier et al., 2001). La fricción entre las raíces dentro del cilindro (previa a la adición de agua) remueve el exceso de suelo seco adherido a las raíces (figura 12.5b). Posteriormente, con la adición de agua se termina de eliminar toda la tierra unida a las raíces y una gran parte de la cáscara y la cascarilla de las raíces (figuras 12.5c y 12.5d).

Rallado

Las raíces lavadas y peladas se introducen manualmente en el rallador (figura 12.6b). La mayoría de los rallos están hechos de una hoja de metal cilíndrica y perforada (figura 12.6a). Sin embargo, un procesador caucano, en colaboración con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Universidad del Valle y el Cirad, desarrolló una tecnología mejorada de rallado para aumentar la capacidad de recuperación y producción de almidón. Este diseño promotor reemplaza la lámina de metal perforada por un equipo con dos etapas: la primera es un molino de martillos que



Figura 12.5. Pelado y lavado de yuca. a. Pelado manual; b. Fricción de las raíces dentro del cilindro de lavado; c. Etapas de desarenado y lavado de yuca; d. Raíces lavadas y peladas.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

trocean las raíces de yuca (figura 12.6c), y la segunda es una sección con hojas de sierra (o seguetas) fijadas a un cilindro horizontal (figura 12.6d). Este diseño se inspiró en tecnologías utilizadas en grandes plantas de procesamiento de Brasil y Tailandia.



Figura 12.6. Rallado de yuca. a. Lámina de metal perforada; b. Alimentación de raíces al rallo; c. Prototipo de trazadora de yuca; d. Prototipo de rallo de seguetas.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Extracción

Después del rallado se realiza la extracción. En esta etapa se separan las fibras gruesas del almidón mediante un tamiz giratorio horizontal con alimentación continua de las raíces ralladas y agua. Luego, la suspensión de almidón (“lechada”) es guiada a un tamiz más fino. Esta etapa generalmente se realiza en un segundo (y hasta tercer) equipo. Diferentes tecnologías son empleadas en las rallanderías para realizar la extracción, pero todas utilizan el mismo principio operativo, con variantes en su diseño y operación. Los equipos

más empleados para este propósito son la “coladora” (figura 12.7a), la “percoladora” (figura 12.7b) y la “centrífuga” (figura 12.7c).

En el caso de la percoladora y la centrífuga, el agua se suministra a presión, lo que reduce el consumo de agua y favorece la separación (figura 12.7d).

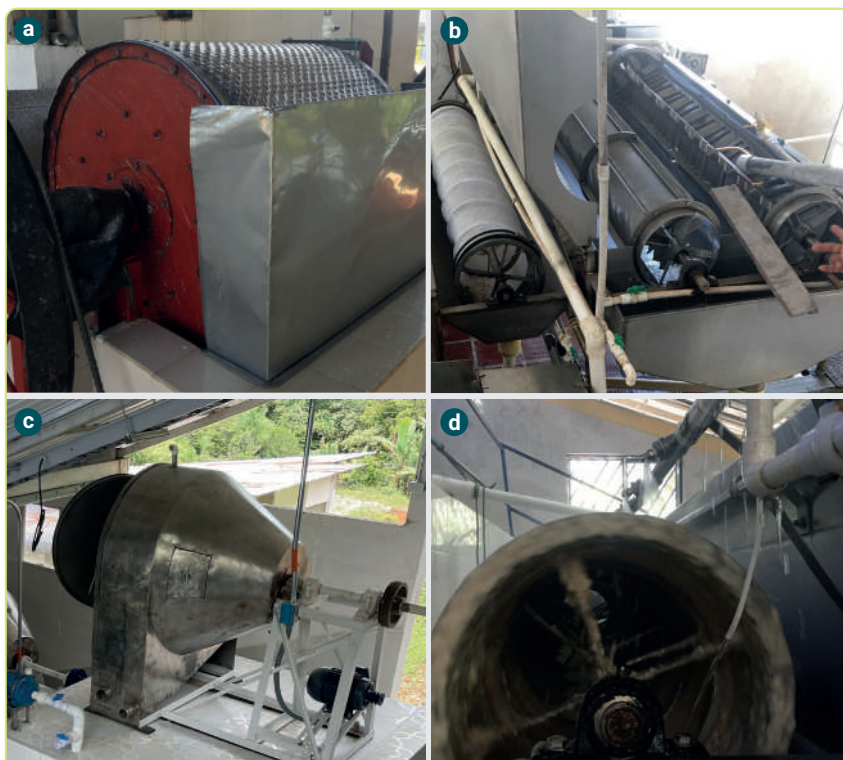


Figura 12.7. Extracción de almidón. a. Coladora; b. Percoladora; c. Centrífuga; d. Separación del almidón de la fibra con agua a presión.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Separación, desaguado y fermentación

Las operaciones de separación y desaguado se realizan generalmente en un canal de sedimentación (figuras 12.8a y 12.8b). La lechada de almidón circula a baja velocidad a través del canal, permitiendo que los gránulos de almidón se sedimenten. El sobrenadante, que contiene compuestos solubles como las proteínas, se drena. Después de retirar el agua, se raspa la capa superior del almidón sedimentado, que contiene proteínas e impurezas. A esta capa se la llama almidón negro o mancha, y generalmente es fermentada y secada para venderla como ingrediente para la alimentación animal.

En las rallanderías donde se utilizan canales de sedimentación, el procesamiento puede realizarse de manera continua, y la lechada generalmente se acumula en los canales durante una semana.

Por otra parte, en las plantas de procesamiento más pequeñas (o artesanales), la lechada de almidón generalmente se vierte directamente en tanques de sedimentación en lugar de canales de sedimentación (figura 12.8c). Esto implica que la operación de rallado debe hacerse por lotes, y la capacidad de almacenamiento de los tanques limita la capacidad de procesamiento de la planta. Después de 9-14 horas de sedimentación, una capa gruesa de almidón se acumula en el fondo del tanque. El sobrenadante (rico en proteínas) de arriba se drena y la mancha se raspa.

El almidón nativo sedimentado (almidón húmedo), procedente ya sea de tanques o de canales de sedimentación, tiene un contenido de humedad del 45%-50%, y en ese punto puede refinarse (mediante sucesivos pasos de lavado y sedimentación) y secarse (normalmente, al sol o en un invernadero ventilado). No obstante, en las rallanderías el

almidón húmedo normalmente se transfiere a tanques de fermentación (anaeróbica láctica), donde reside durante un periodo que oscila entre 120 y 390 días (figura 12.8d). Generalmente, la calidad de la expansión se monitorea después de la semana tres o cuatro de fermentación. Para esto, se toma una muestra del almidón, con la cual se prepara y hornea un pandebono. Si este se expande adecuadamente, el lote (tanque) de almidón agrio o fermentado está listo para el secado.



Figura 12.8. Separación, desaguado y fermentación. a. Coladora; b. Percoladora; c. Centrifuga; d. Separación del almidón de la fibra con agua a presión.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Secado y empackado

Después de la fermentación, el almidón agrio se esparce afuera sobre superficies planas cubiertas con láminas de plástico negro y se seca al sol durante 8-10 horas (figuras 12.9a y 12.9b). Este paso disminuye el contenido de humedad del 45%-50% al 12%-13%. El secado al sol es un paso esencial para mejorar las propiedades de expansión del almidón agrio de yuca por efecto de la radiación solar (Alvarado et al., 2013). Sin embargo, el almidón se contamina fácilmente durante esta etapa. En la rallanderías, es común que antes del empackado se tamice el almidón y se retiren manualmente hojas, piedras y otros contaminantes físicos (figura 12.9c). Finalmente, el almidón seco se empacka en bolsas de 12,5, 20, 25 o 50 kg, según los requerimientos del cliente o el mercado (figura 12.9d).



Figura 12.9. Secado y empackado de almidón. a. Patio de secado; b. Secado elevado; c. Impurezas que el almidón retiene durante el secado; d. Empacado.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Recomendaciones para mejorar el procesamiento de almidón fermentado

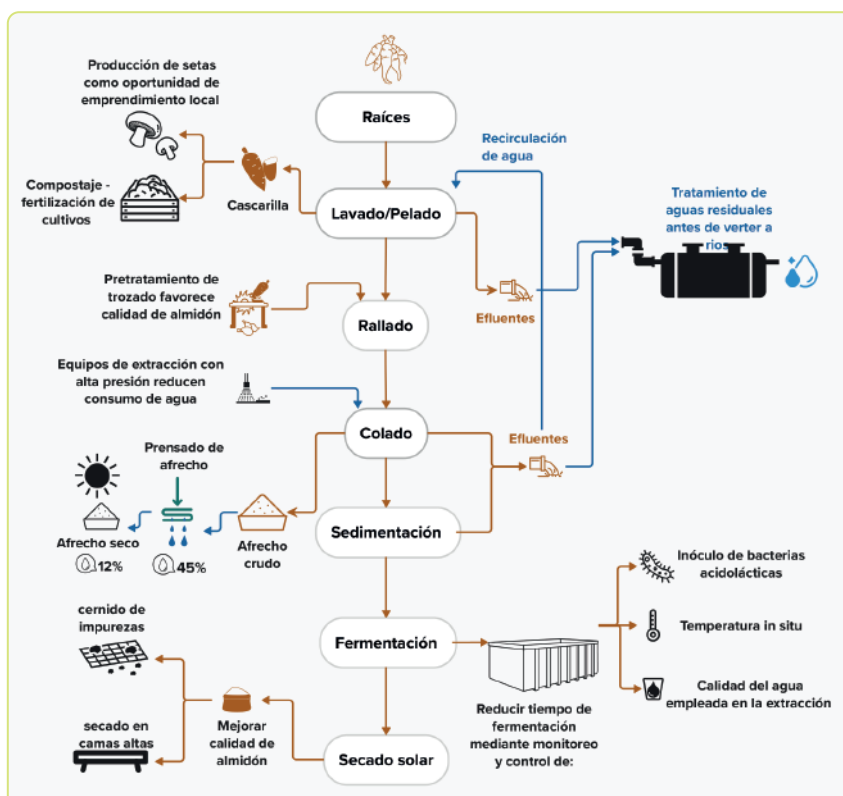


Figura 12.10. Diagrama de flujo del procesamiento de almidón fermentado de yuca: recomendaciones para cada etapa de procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

La figura 12.10 y la tabla 12.2 resumen las diferentes recomendaciones identificadas para el procesamiento de almidón amargo de yuca en Colombia.

Tabla 12.2. Recomendaciones técnicas, ambientales y socioeconómicas para la cadena de valor del almidón agro de yuca en Colombia

Proceso	Alcance del impacto	Recomendación
Lavado y rallado	Ambiental y socioeconómico	Si la cascarilla de yuca se utiliza en un adecuado proceso de compostaje, puede contribuir a la nutrición de los cultivos de yuca (propios y ajenos) al añadir valor y aumentar la productividad.
		Por otra parte, en países como Tailandia, con una desarrollada cadena de valor de la yuca, la cascarilla se utiliza como sustrato para la producción de setas comestibles.
		Este modelo podría ser una oportunidad de desarrollo de emprendimiento comunitario con bajos costos de inversión y sin necesidad de conocimientos técnicos.
Rallado	Potencial aumento de la eficiencia del procedimiento y mejora de la calidad del almidón	Un adecuado troceado mecánico de las raíces de yuca, en conjunto con un buen diseño del rallador, puede contribuir a la eficiencia de la extracción del almidón y mejorar su calidad mediante la disminución de los tamaños de las partículas.

Colado	Ambiental	El uso de aspersores con alta presión en percoladoras ha reducido la capacidad de extracción del almidón y al mismo tiempo ha disminuido el consumo de agua. Otra opción tecnológica para extraer el almidón con demostrada eficiencia es la centrífuga. No obstante, no ha tenido una buena adopción en las rallanderías.
Colado/ sedimentación	Ambiental/ eficiencia de extracción	La recirculación de agua después del colado hacia el mismo proceso es ampliamente utilizada para optimizar la superación del almidón de las fibras. Algunas rallanderías también reciclan efluentes de agua de las etapas de colado y sedimentación para lavar las raíces. Esto ha permitido reducir considerablemente el consumo de agua, teniendo en cuenta que cerca del 36 % del consumo total de agua se da en el lavado de las raíces.
Lavado/ sedimentación	Ambiental	El tratamiento de aguas residuales se ha realizado de diversas maneras (canales, tanques sépticos, descontaminación con microorganismos, entre otras), y aunque tanto investigadores como rallanderos han tenido iniciativas, no se han logrado buenos resultados. El tratamiento mediante biodigestores para obtener gas ha sido igualmente considerado. Por otra parte, antecedentes industriales a gran escala postulan posibles cuellos de botella, como el costo de manejar un alto caudal frente al contenido característico de materia orgánica, lo cual no se ajusta a una planta de pequeña escala.

Colado	Socioeconómico/ ambiental	Diversas familias en comunidades rurales cercanas a las rallanderías tienen como principal actividad económica el secado de afrecho para alimentación animal. La adopción de tecnologías sencillas como el secado puede influir en la calidad del producto final y en la capacidad de secado, especialmente en aquellas rallanderías que tienen poco espacio en sus predios.
Fermentación	Eficiencia y calidad	La duración de la fermentación eventualmente es un cuello de botella en las plantas procesadoras de almidón. Algunos procesadores han logrado reducir el tiempo de fermentación y mejorar la calidad de expansión del almidón mediante el control de ciertos parámetros como la calidad de inóculo adicionada a los tanques, el monitoreo de la calidad del agua empleada en el proceso, la ubicación correcta de los tanques de fermentación para permitir condiciones de humedad y temperatura adecuadas, entre otros. Así, se requiere más investigación a fin de comprender la influencia de las variedades de yuca especialmente sobre la calidad de la fermentación o la dinámica poblacional de las bacterias ácido-lácticas que intervienen en el proceso de fermentación.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 13.

Viabilidad económica de la producción de raíces frescas de yuca para procesos de almidón

**Katia Vanesa Contreras Valencia y
Remberto Rafael Martínez Figueroa**

En la dinámica de la actividad productiva agrícola, tanto los beneficios económicos como la inversión o sus costos de producción toman relevancia a la hora de estimar el potencial de generar ingresos significativos y una rentabilidad suficiente para la economía y el bienestar de los productores en los plazos determinados.

En el caso de la producción de yuca para la obtención de almidón, se requiere hacer efectivo el máximo potencial de las variedades existentes y recurrentes de los productores en lo que respecta a la producción de materia seca en raíces, para mejorar sus beneficios en el ámbito productivo, económico y ambiental. Para cumplir con esto, es indispensable lo siguiente:

1. Identificar mercados diversos y accesibles a la localidad particular, lo cual engloba a los potenciales compradores y a los existentes; si es el caso, analizar las tendencias de las variaciones de los precios de compra y venta durante los últimos años; estimar, mediante un análisis objetivo, el alcance propio para el tipo de producción de interés, así como la capacidad de cumplimiento según las condiciones de las alternativas de mercado.
2. Acceder al conocimiento y la implementación de la tecnología agrícola respectiva para las buenas prácticas de manejo agronómico y agroindustrial, enfocada en

todas las alternativas de negocio identificadas en la revisión de mercados existentes y accesibles.

- 3. Contar con un sistema de registro de datos de gastos o inversiones según la frecuencia de ejecución de labores en el sistema productivo, ya sea una bitácora para el registro manual o cualquier sistema digital que permita el análisis de la información.

La tabla 13.1 muestra la importancia de monitorear los costos en que se incurre en el día a día en los lotes de producción, con el fin de analizar la rentabilidad. Para esto, se muestran los diferentes rubros en las etapas de planeación, desarrollo y logística, y la participación porcentual respecto al total en una estructura de costos de producción.¹

Tabla 13.1. Descripción de costos de producción del cultivo de la yuca

Costos generales para el desarrollo de la producción de raíces de yuca	Costos de planeación y establecimiento de cultivos	Se refieren a las acciones asociadas a la planeación de labores, bienes y servicios para el acondicionamiento de los lotes o terrenos, así como a lo necesario para las labores de producción agrícola y comercialización. Son denominados comúnmente como costos indirectos.
	Costos de manejo agronómico en cultivos establecidos	Hacen referencia a las labores necesarias para aprovechar el máximo potencial productivo de materia seca en las raíces frescas de yuca en las unidades de área establecidas. Son denominados comúnmente como costos directos.
	Costos de labores de alistamiento y comercialización de raíces frescas de yuca	Son los costos en que se incurre después de cosechar las raíces frescas de yuca, y se relacionan directamente con el alistamiento, el despacho, la entrega a las plantas procesadoras o al comprador definido y el aprovechamiento del beneficio económico definitivo.

Fuente: Elaboración propia

Generalmente, en las estructuras de costos de producción, los productores no suelen incluir los gastos asociados al alistamiento. Sin embargo, independientemente de quién sea el comprador de las raíces frescas de yuca para los procesos de extracción y fabricación de almidón, es necesario tenerlos en cuenta en el momento de planear el cultivo.

Iniciemos con los gastos asociados a la planeación y el establecimiento.

Se ha identificado que la mayoría de los productores de los departamentos de la región Caribe colombiana dependen de la modalidad de arrendamiento de tierras para acceder a este recurso. Este arrendamiento de los lotes para la producción de raíces frescas de yuca debe gestionarse en la actividad de planificación de producción y, por tanto, se convierte en uno de los rubros para tener en cuenta, así como las labores asociadas para su alistamiento. La figura 13.1 muestra la proporción del costo de arrendamiento de tierras por departamento.

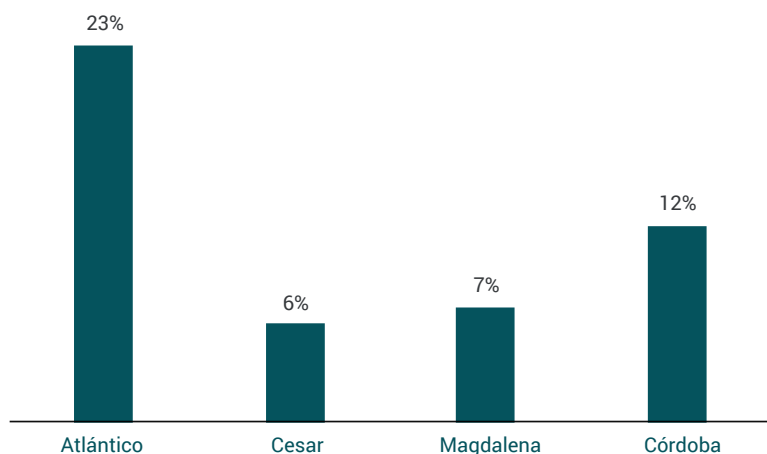


Figura 13.1. Proporción de costos del arriendo de tierra con respecto al costo de producción del cultivo de yuca por departamento de la costa Caribe.

Fuente: Elaboración propia

Los costos directos que se listan a continuación representan la mayor proporción de los gastos totales (86 %):

- Desinfección de semilla
- Preparación de suelos
- Establecimiento, siembra y resiembra del cultivo
- Control de malezas
- Monitoreo y control de plagas y enfermedades
- Fertilización del cultivo
- Labores de cosecha

A continuación, en la tabla 13.2, se muestra un ejemplo de estructura de costos para un cultivo de yuca industrial.

Tabla 13.2. Estructura de costos para un cultivo de yuca industrial en la costa Caribe

Código	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
A. Costos fijos					
1	Arriendo de tierras				
1.1	Arriendo	ha			
2	Preparación de tierra				
2.1	Arada	ha			
2.2	Rastrillada	ha			
2.3	Surcada	ha			
2.4	Arreglo de surcos	Jornal			
3	Siembra				
3.1	Mano de obra	ha			
3.2	Semilla + transporte	Global			

Código		Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
4		Mantenimiento del cultivo				
	4.1	Control de malezas en preemergencia	Ha			
	*	Mano de obra	Jornal			
	*	Insumos	Global			
	4.2	Control de malezas en posemergencia	Jornal			
		Mano de obra	Jornal			
		Insumos	Global			
	4.3	Control de malezas manual	Jornal			
		Mano de obra	Jornal			
		Subtotal de control de malezas				
	4.4	Control de plagas y enfermedades	Jornal			
		Mano de obra	Jornal			
		Insumos	Global			
	4.5	Fertilización	Jornal			
		Mano de obra	Jornal			
		Insumos	Global			
5		Otros	Global			
		Subtotal de costos fijos (1+2+3+4+5)				
B. Costos variables						
6		Descangre	Jornal			
7		Cosecha	T			

Código		Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
8		Movimiento Interno	T			
9		Cargue y descargue	T			
10		Transporte a la Planta	T			
11		Otros	Global			

Subtotal de
costos variables
(6+7+8+9+10+11)

		Total de costos de producción (A + B)		
--	--	---------------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que la rentabilidad de la actividad productiva de yuca dependerá del rendimiento y del porcentaje de materia seca que tengan las raíces cosechadas, en caso de que se destinen para la producción de almidón. Para lograrlo, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Contar con semilla de alta calidad.
- Conocer la variedad o material regional por sembrar, para determinar las técnicas de manejo adecuadas; por ejemplo, se deben conocer las edades óptimas de cosecha para saber el momento adecuado de acumulación de la materia seca, así como para determinar las correspondientes variaciones en el manejo agronómico del cultivo, según sea el caso, y obtener el mejor gramaje posible.

Al respecto, el gramaje se refiere al contenido de materia seca de las raíces de yuca, y se calcula con una sencilla ecuación ya determinada, sabiendo de antemano el peso de las raíces al aire y el peso de las raíces sumergidas en agua:

$$\% \text{ de materia seca} = \left(158,26 \times \left(\frac{\text{Peso en aire}}{\text{Peso en aire} - \text{Peso en agua}} \right) \right) - 142,05$$

El almidón es una materia prima que ingresa como producto intermedio a empresas de diferentes sectores. Este tipo de compradores que fabrican almidón nativo requieren realizar unos contratos que permitan asegurar la compra de las raíces frescas y, asimismo, cumplir con los pedidos en su cadena de suministro hacia sus clientes.

Hay que tener presente que estos compradores fijan los precios en función de la técnica de gramaje, por lo que se debe pedir la tabla de gramajes a cada comprador en el momento de la negociación.

La tabla 13.3 muestra algunos criterios para tener en cuenta en el momento de negociar la producción de raíces frescas de yuca para la producción de almidón.

Tabla 13.3. Criterios para negociar la producción de raíces frescas de yuca para almidón

Criterio	Descripción
Contrato	Puede ser verbal o escrito. En el caso de que sea por escrito, fija los acuerdos, pautas, deberes y derechos tanto del vendedor como del comprador. Asimismo, fija el precio de acuerdo con el mercado.
Formas de recibo/ entrega de producto	Hay compradores que recogen la producción de raíces frescas de yuca en campo, así como quienes prefieren recibir la producción en su punto de acopio.
Precios	La fijación de los precios se realiza con base en la aplicación de las técnicas de medición de gramaje, como se mencionó anteriormente, o aplicando algunas variaciones según cada laboratorio, pero siguiendo los mismos principios técnicos básicos. Por lo general, cada comprador fija estos parámetros en los contratos por escrito.
Empaque	Los sacos para empacar las raíces frescas de yuca constituyen un insumo asociado al alistamiento de la producción cosechada, y algunos compradores suelen suministrarlos.

Descuentos por impurezas	El proceso de extracción de almidón genera residuos que son asumidos por la planta procesadora de raíces frescas. Siempre se debe consultar al comprador el porcentaje de este valor debido a que se puede descontar o restar al final del pago.
Acompañamiento y asistencia técnica	Por lo general, los compradores que están dispuestos a firmar un contrato por escrito cuentan con personal que les ofrece asistencia técnica y acompañamiento agronómico. En caso contrario, también es muy recomendable recurrir a algún tipo de servicio de asistencia técnica por su cuenta para ayudar a optimizar los rendimientos y la calidad en el proyecto productivo.

Fuente: Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que en la estructura de costos no se refleja el rubro asociado al uso de semilla de yuca de categoría certificada de tipo comercial, lo cual puede modificar la estructura de costos e influir en la rentabilidad.



Referencias

- Adaime, R., Santos, R. S., Lima, A. L., Dos Santos, J. E. V., & Specht, A. (2020). First record of *Chilomima clarkei* (Amsel) (Lepidoptera: Crambidae) in *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae) in Amapá state, Brazil. *EntomoBrasilis*, 13, artículo e914. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7706901>
- Agarwal, D. K. (2010). *Rhizoctonia* D.C.: Taxonomy, ecology and management. En K. G. Mukerji, & C. Manoharachary (Eds.), *Taxonomy and ecology of Indian fungi* (pp. 19-49). I K International Publishing House.
- Aigbe, S. O., Remison, S. U., & Bandyopadhyay, R. (2008). Root rot fungi succession during Cassava (*Manihot esculenta*. Crantz) tuberous root development in different ecological zones of Nigeria. *Phytopathology*, 98(6). <https://hdl.handle.net/10568/90897>
- Allem, A. C. (1995). The evolutionary relationships of Brazilian Manihot (Euphorbiaceae). Lecture delivered at the "Manihot taxonomy and conservation workshop". CIAT, Cali, Colombia, 7- 11 November, 15 p.
- Allem, A. C. (1995). The evolutionary relationships of Brazilian Manihot (Euphorbiaceae). Lecture delivered at the "Manihot taxonomy and conservation workshop". CIAT, Cali, Colombia, 7- 11 November, 15p.
- Almonacid, R. C., Aguirre, M. R. A., Velozo, L., & Caceres, S. (2016). *El barrenador del tallo: plaga del cultivo de mandioca*. INTA.
- Alonso Chavez, V., Milne, A. E., Van den Bosch, F., Pita, J., & McQuaid, C. F. (2021). Modelling cassava production and pest management

- under biotic and abiotic constraints. *Plant Molecular Biology*, 109, 325-349. <https://doi.org/10.1007/s11103-021-01170-8>
- Álvarez, E., & Llano, G. (2002). Enfermedades del cultivo de la yuca y métodos de control. En B. Ospina, & H. Ceballos (Coords.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 131-146). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Álvarez, E., Barragán, M. I., & Madriñan, R. (1998). *Pudrición radical y marchitez de la yuca*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Álvarez, E., Llano Rodríguez, G. A., Loke, J. B., Restrepo, J. A., & Mora, J. R. (2000). *Investigación participativa para el control de pudriciones de yuca en comunidades indígenas de Mitú, Colombia* [presentación en simposio]. Simposio Internacional y Talleres sobre Fitomejoramiento Participativo (FMP) en América Latina y el Caribe: Un Intercambio de Experiencias, Quito, Ecuador. <https://cgspace.cgiar.org/items/c5ab7557-dcc4-460a-86b3-a3785b8d164d>
- Alves, A. A. C. (2002). Cassava botany and physiology. In R. J. Hillocks, J. M. Thresh & A.C. Bellotti (Eds.), *Cassava: Biology, production and utilization* (pp. 67-89). CABI Publishing.
- Ampe, F., Sirvent, A., & Zakhia, N. (2001). Dynamics of the microbial community responsible for traditional sour cassava starch fermentation studied by denaturing gradient gel electrophoresis and quantitative rRNA hybridization. *International Journal of Food Microbiology*, 65(1-2), 45-54. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00502-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00502-X)
- Aragón-García, A., Nochebuena-Trujillo, C. D., Morón, M. Á., & López-Olguín, J. F. (2008). Uso de trampas de luz fluorescente para el manejo de la gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 42(2), 217-223. <https://www.>

scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000200009

Arias, B., & Bellotti, A. C. (1984). Pérdidas en rendimiento (daño simulado) causadas por *Erinnyis ello* (L.) y niveles críticos de población en diferentes etapas de desarrollo en tres clones de yuca. *Revista Colombiana de Entomología*, 10(3-4), 28-35. <https://doi.org/10.25100/socolen.v10i3-4.10284>

Arias, B., & Bellotti, A. C. (2003). Ciclo biológico, comportamiento e importancia económica de *Amblystira machalana* (Heteroptera: Tingidae) en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Colombiana de Entomología*, 29(2), 143-148. <https://doi.org/10.25100/socolen.v29i2>

Arias, B., & Guerrero, J. (2000). Control de plagas de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) por resistencia varietal. En: Memorias XXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. Medellín: Socolen.

Arias, V. B., & Bellotti, A. C. (1987). Control de *Erinnyis ello* (L.) (Lep: Sphingidae) gusano cachón de la yuca *Manihot esculenta* (Crantz) con *Baculovirus erinnyis* Ngv. *Revista Colombiana de Entomología (Colombia)*, 13(2), 29-35.

Barragán Buitrago, L. F. (2018). *Sistema productivo de yuca (Manihot esculenta Crantz), como alternativa agrícola para el aprovechamiento de terrenos que son utilizados para ganadería extensiva* [tesis de grado, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1098&context=ingenieria_agronomica

Bedoya, F. A., Álvarez, E., & Loke, J. B. (2000). Selección *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma* spp. para el control

- biológico de la pudrición radical en yuca. *Fitopatología Colombiana*, 23(2), 65-67.
- Bellotti, A. C. (2008). Cassava pests and their management. En J. L. Capinera (Ed.), *Encyclopedia of entomology* (pp. 764-794). Springer.
- Bellotti, A. C., Arias, B., Vargas, O., Reyes, J. A., & Guerrero, J. M. (2002). Insectos y ácaros dañinos a la yuca y su control. En B. Ospina, & H. Ceballos (Coords.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 160-203). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Bellotti, A. C., Herrera, C. J., Melo, E. L., Arias, V. B., Guerrero, J. M., & Hernández, M. del P. (2009). *Control de plagas en el cultivo de la yuca: ácaros y mosca blanca*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Bellotti, A. C., Smith, L., & Lapointe, S. L. (1999). Recent advances in cassava pest management. *Annual Review of Entomology*, 44, 343-370.
- Bellotti, A., & Schoonhoven, A. (1978). *Plagas de la yuca y su control*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Bellotti, A., & Van Schoonhoven, A. (1978). *Plagas de la yuca y su control*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Bellotti, A., Vargas, O., Peña, J., & Arias, B. (1983). Pérdidas en rendimiento en yuca causadas por insectos y ácaros. En C. E. Domínguez (Comp.), *Yuca: investigación, producción y utilización* (pp. 393-407). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Bertorelli, M., Montilla, J., & Luna Coll, J. (2006). Estrategias para el manejo integrado de las principales plagas del cultivo de yuca. Zona sur del estado de Anzoátegui. *Revista Digital del Ceniap Hoy*, (10). https://www.engormix.com/agricultura/plagas-enfermedades-cultivos-tropicales/estrategias-manejo-integrado-principales_a26647/
- Betancourth, C. A., Sañudo, B. A., Flórez, C. A., & Salazar, C. E. (2023). Alternativas para el manejo integrado de *Rhizoctonia solani* Kühn en el cultivo de papa. *Información Tecnológica*, 34(3), 1-10. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000300001>
- Borrero, J. (2019). Intervención social y tecnológica a través de un sistema productivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el municipio de Cartagena del Chairá, Caquetá. Unisalle: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1156&context=ingenieria_a_gronomica.
- Braun, A. R., Bellotti, A. C., & Lozano, J. C. (1993). Implementation of IPM for small-scale cassava farmers. En M. A. Altieri (Ed.), *Crop protection strategies for subsistence farmers* (pp. 103-115). Routledge.
- Brito, A. C., Oliveira, S. A. S., & Oliveira, E. J. (2017). Genome-wide association study for resistance to cassava root rot. *The Journal of Agricultural Science* 155 (9), 1424-1441.
- Buitrago, A. (1990). La yuca en la alimentación animal. En *Yuca: investigación, producción y utilización*. Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia, Cali, p. 450.
- Cadavid, L. F. (1988). *Respuesta de la yuca (Manihot esculenta Crantz) a la aplicación de NPK en suelos con diferentes características* [tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira]. <https://catalogo.unipacifico.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1669>

- Cadavid, L. F. (2002). Suelo y fertilización para la yuca. En B. Ospina, & H. Ceballos (Coords.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 76-103). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Cadavid, L. F. (2011). *Manual de nutrición vegetal: una visión de los aspectos nutricionales del cultivo de la yuca* (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Calle, F. (2002). Control de malezas en el cultivo de la yuca. En B. Ospina, & H. Ceballos (Coords.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 126-128). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Canales, N., & Trujillo, M. (2021, mayo 4). *La red de valor de la yuca y su potencial en la bioeconomía de Colombia*. Instituto de Ambiente de Estocolmo, 1-30. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/05/workingpaper-yucabioeconomia-canalestrujillo-mayo21.pdf>
- Cañarte, E. G., Navarrete, J. B., Muñoz, X. C., Hinostroza, F. O., & Valarezo, G. O. (2021). *Reconocimiento y manejo de artrópodos asociados al cultivo de la yuca* (*Manihot esculenta* Crantz) en Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/118223>
- Cárdenas, E., & Corredor, D. (1989). Biología del trips *Frankliniella occidentalis* (Pegande) (Thysanoptera: Thripidae) sobre crisantemo *Chrysanthemum morifolium* L. bajo condiciones de laboratorio. *Agronomía Colombiana*, 6(1-2), 71-77. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33833>
- Carmona Hidalgo, D., & Zapata Herrera, L. E. (2002). *Respuesta del cultivo de yuca industrial* (*Manihot esculenta* Crantz) a diferentes dosis de Nitrógeno y Potasio en la zona bananera del Magdalena [tesis de grado, Universidad del Magdalena].

- Carmona, D., Trejo, R., Esquivel, O., Arreola, J., & Flores, A. (2007). Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6(2), 185-190.
- Casaca, A. (2005). *El cultivo de la yuca* (Manihot esculenta). Promosta.
- Ceballos, H., & De la Cruz, G. (2014). Taxonomía y morfología de la yuca. En *La yuca en el tercer milenio, sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 17-33). Cali, Colombia: Ospina y Ceballos.
- Ceballos, H., Hershey, C., Iglesias, C., & Zhang, X. (2021). Fifty years of a public cassava breeding program: Evolution of breeding objectives, methods, and decision-making processes. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 2.335-2.353. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03852-9>
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1989). *Manejo integrado de Erinnyis ello* (L) (*gusano cachón de la yuca*).
- Cibrián, D. (2013). *Manual para la identificación y manejo de plagas en plantaciones forestales comerciales*. Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6043Manual%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20manejo%20de%20plagas%20en%20Plantaciones%20Forestales%20Comerciales.pdf>
- Contreras, K., & Taborda Andrade, L. A. (2022). *Red de valor Yuca País*. <https://sites.google.com/view/red-de-valor-yucapais/p%C3%A1gina-principal?pli=1>
- Cuartas, P. E., Villamizar, L. F., Barrera, G. P., Ruiz, J. C., Campos, J. C., León- Martínez, G., & Gómez- Valderrama, J. (2019). Novel biopesticide based on *Erinnyis ello* betabaculovirus: Characterization and preliminary field evaluation to control *Erinnyis ello*

- in rubber plantations. *Pest Management Science*, 75(5), 1.391-1.399. <https://doi.org/10.1002/ps.5259>
- Cuate-Mozo, V. A., Aragón-García, G. A., Lugo-García, M., Aragón-Sánchez, B. C., Pérez-Torres, D., & Juárez, R. D. (2019). Comparación morfológica de larvas de tercer estadio de *Phyllophaga* y *Listrochelus* (Coleoptera: Melolonthidae). *Entomología Mexicana*, 6, 660-666.
- Da Silva, C. H. C. (2014). *Caracterização e manejo da mancha branca* (Phaeoramularia manihotis (F. Stevens & Solheim) MB Ellis) na cultura mandioca (Manihot esculenta Crantz) [tesis de maestría, Universidade Federal de Alagoas].
- De Oliveira, S. A. S., Da Silva, L. L., Nascimento, D. de S., Diamantino, M. S. A. S., Ferreira, C. F., & De Oliveira, T. A. S. (2020). Colletotrichum species causing cassava (Manihot esculenta Crantz) anthracnose in different eco-zones within the Recôncavo Region of Bahia, Brazil. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 411-416. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00327-9>
- Del-Rosario-Arellano, J. L., Aguilar-Rivera, N., Leyva-Ovalle, O. R., Andres-Meza, P., Meneses-Marquez, I., & Bolio-López, G. I. (2022). Zonificación edafoclimática de la yuca (Manihot esculenta crantz) para la producción sostenible de bioproductos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (81), 361-383. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000100361>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). El cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz). *Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, (46). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_abr_2016.pdf
- Diferencias entre el almidón nativo y el almidón modificado en la industria de los alimentos. (2021, 29 de septiembre). *Poltec*. <https://www.poltecsas.com/post/diferencias-entre-el-almid%C3%B3n-nati->

vo-y-el-almid%C3%B3n-modificado-en-la-industria-de-los-alimentos

- Domínguez, C. E., Ceballos, L. F., & Fuentes, C. (1983). Morfología de la planta de yuca. En *Yuca: investigación, producción y utilización*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Dufour, D., Brabet, C., Zakhia, N., & Chuzel, G. (1995). Influence de la fermentation et du séchage solaire sur l'acquisition du pouvoir de panification de l'amidon aigre de manioc. En T. Agbor Egbe, A. Brauman, D. Griffon, & S. Treche (Eds.), *Transformation alimentaire du manioc* (pp. 399-416). Orstom.
- El-Sharkawy, M. A. (1993). Drought-tolerant cassava for África, Asia, and Latin America. *BioScience*, 43(7), 441-451. <https://doi.org/10.2307/1311903>
- El-Sharkawy, M. A., & Cock, J. H. (1984). Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *Crop Science*, 24, 297-502. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400030017X>
- El-Sharkawy, M. A., De Tafur, S. M., & Cadavid, L. F. (1992). Potential photosynthesis of cassava as affected by growth conditions. *Crop Science*, 32(6), 1.336-1.342. <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200060006X>
- Espitia Montes, A. A., Pérez Cantero, S. P., Támara Morelos, R. E., Araújo Vásquez, H. A., García Peña, J. A., Rosero Alpala, E. A., Regino Hernández, S. M., Luna Castellanos, L. L., García Herazo, J. L., Martínez Figueroa, R. R., & De La Ossa Albis, V. A. (2022). *Manual de manejo de yuca industrial en el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405675>
- Espitia Montes, A. A., Pérez Cantero, S., Regino Hernández, S. M., Támara Morelos, R. E., García Herazo, J. L., Martínez Figueroa,

- R. R., & García Peña, J. A. (2022). *Manual para la producción y escalamiento de semilla de yuca (Manihot esculenta) de calidad*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Fernández, L., & Cerrato, R. (2017). *Cartilla tecnológica del cultivo de yuca en el Litoral Atlántico de Honduras*. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3149/BVE17089155e.pdf;jsessionid=oB578322oAo8C-1F1CF3CAFC23FEDooCE?sequence=1>
- Folgueras Montiel, M., Herrera Isla, L., Rodríguez Morales, S., & Rojas Moya, X. (2008). Antibiosis "in vitro" entre el antagonista *Trichoderma* spp. y organismos patógenos causantes de pudriciones radicales en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Centro Agrícola*, 35(2), 51-53. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V35-Numero_2/cag092081606.pdf
- Fukai, S., Alcoy, A. B., Llamelo, A. B., & Patterson, R. D. (1984). Effects of solarradiation on growth of cassava (*Manihot esculenta* crantz.). I. Canopy development and dry matter growth, *Field Crops Research* 9, 347-360. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(84\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0378-4290(84)90038-8)
- García-González, R., Quiroz, K., Carrasco, B., & Caligari, P. (2010). Plant tissue culture: Current status, opportunities and challenges. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(3), 5-30. <https://www.scielo.cl/pdf/ciagr/v37n3/art01.pdf>
- Gomes, R. (2015). *Morfologia e fenologia da mandioca*. <http://es.scribd.com/doc/111185109/Morfologia-e-Fenologia-Da-Mandioca#scribd>
- Guyot, J. P., Brizuela, M. A., Sanoja, R. R., & Morlon-Guyot, J. (2003). Characterization and differentiation of *Lactobacillus manihotivovans* strains isolated from cassava sour starch. *International Journal of Food Microbiology*, 87(1-2), 187-192. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00048-5)

- Hershey, C., & Amaya, A. (1983). Genética, citogenética, estructura floral y técnicas de hibridación de la yuca. En *Yuca: investigación, producción y utilización* (pp. 113-126). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Howeler, R. H. (1977). *Respuesta de la yuca a la aplicación de fósforo*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Howeler, R. H. (1981). *Nutrición mineral y fertilización de la yuca* (Manihot esculenta Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Johnson, R. M., & Raymond, W. D. (1965). The chemical composition of some tropical food plants. *Tropical Science*, 7, 109-115.
- Keating, A., & Evenson, J. P. (1979). Effect of soil temperature on sprouting and sprout elongation of stem cuttings of cassava (Manihot esculenta crantz.). *Field Crops Research* 2, 241-251. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(79\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(79)90026-1)
- Keijer, J. (1996). The initial steps of the infection process in *Rhizoctonia solani*. En B. Sneh, S. Jabaji-Hare, S. Neate, & G. Dijst (Eds.), *Rhizoctonia species: Taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control* (pp. 149-162). Springer.
- King, A. B. (1994). *Biología, identificación y distribución de especies económicas de Phyllophaga en América Central* [presentación en seminario]. Seminario-Taller Centroamericano sobre la Biología y Control de *Phyllophaga* spp., Costa Rica.
- Laberry, R., & Lozano, J. C. (1988). Enfermedades en cultivos de yuca asociados con maíz y ñame en Córdoba, Bolívar, Sucre y Atlántico. *Ascolfi Informa*, 14(6), 66-72. <https://hdl.handle.net/10568/88635>
- Lascano, H. C., Rosero Alpala, E. A., Salazar Erazo, S. M., Morante Herrera, N., Pino Durán, L., Rodríguez Henao, E., Calle Calle, F.,

- & Lenis Calderón, J. I. (2023). Proceso de mejoramiento genético para la obtención de variedades de yuca registradas en Colombia. En E. A. Rosero Alpala, H. Ceballos Lascano, & E. Rodríguez Henao (Eds.), *Aportes y perspectivas del mejoramiento genético de yuca en el fortalecimiento de su red de valor en Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
- Leite, L. G., De Almeida, J. E. M., Chacon-Orozco, J. G., & Delgado, C. Y. (2019). Entomopathogenic nematodes. En B. Souza, L. L. Vázquez, & R. C. Marucci (Eds.), *Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems: Biological control and functional biodiversity* (pp. 213-221). Springer.
- León, R., Pérez, M., Fuenmayor, F., Gutiérrez, M., Rodríguez, A., Rodríguez, G., & Marín, C. (2016). Evaluación fisiológica y agronómica de clones promisorios de yuca (*Manihot esculenta* crantz) sometidos a condiciones de estrés por sequía. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 34(1), 50-57. <https://agriperfiles.agri-d.net/display/n216243>
- León, R., Pérez, M., Gutiérrez, M., Rodríguez, A., Fuenmayor, F., & Marín, C. (2014). Caracterización ecofisiológica de cuatro clones de yuca del banco de germoplasma del INIA-CENIAP. *Agronomía Tropical*, 64(1-2), 97-105. <https://ve.scielo.org/pdf/at/v64n1-2/art10.pdf>
- Löhr, B. (1983). Biología, ecología, daño económico y control de *Chilomima clarkey* barrenador de la yuca. En J. A. Reyes (Ed.), *Yuca: control integrado de plagas* (pp. 159-161). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- López Vides, O., Díaz Sierra, Ó., Suárez Gómez, H., & Toloza Palomino, Á. (1996). *El barrenador del tallo de la yuca Chilomima clarkei (Lepidoptera: Pyralidae) en el CRECED Provincia del Río*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- López, A., Jaramillo, M., & Hernández, L. (2000a). *Corpoica-Colombiana variedad de yuca para uso industrial, seleccionada por los agricultores de la región caribe colombiana* [plegable divulgativo N.º 01]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17868>
- López, A., Jaramillo, M., & Hernández, L. (2000b). *Corpoica Sucreña variedad de yuca para uso industrial, seleccionada por los agricultores de la región caribe colombiana* [plegable divulgativo N.º 2]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.
- López, J. A., & Jaramillo, M. (2000a). *Corpoica-Caribeña variedad de yuca para consumo fresco e industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe Colombiana* [plegable promocional N.º 3]. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17867>
- López, J. A., & Jaramillo, M. (2000b). *Corpoica-Rojita variedad de yuca para consumo fresco e industrial, seleccionada por los agricultores de la región Caribe Colombiana* [plegable promocional N.º 4]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17894>
- López, J., Jaramillo, M. F., Panza, B. D., Mendoza, E., Delgado, R., Ceballos, H., Pérez, J. C., Hernández, L. A., Lenis, J. I., Calle, F., Ortega, E., Iglesias, C., Morante, N., & Ramírez, J. (2004). *Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la región Caribe colombiana: Corpoica-Caiseli, Corpoica-Orense, Corpoica-Tai, Corpoica-Veronica, Corpoica Gines*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Luna-Castellanos, L. L., Espinosa-Carvajal, M. R., De-La-Ossa-Albis, V. A., Panza-Tapia, B. D., & García-Peña, J. A. (2018). Selección de herbicidas para el control de arvenses en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Bolívar, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(3), 621-631. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i3.7895>

- Magaña Valenzuela, W., Obrador Olán, J. J., García López, E., Castellán Estrada, M., & Carrillo Ávila, E. (2020). Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1.259-1.271. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2202>
- Marín Colorado, J. A. (2015). *Caracterización molecular de la resistencia en yuca (Manihot esculenta Crantz) al ataque del ácaro verde (Mononychellus tanajoa): una aproximación proteómica* [tesis de doctorado, Universidad del Valle]. <https://hdl.handle.net/10893/15326>
- Medero, V. (1995). *Regeneración por embriogénesis somática en yuca (Manihot esculenta, Crantz.)* [Tesis (Master of Science) Instituto de Biotecnología de las Plantas en la UCLV]. Santa Clara.
- Mederos, V. (2006). *Embriogénesis somática en yuca (Manihot esculenta Crantz)* [Tesis de doctorado, Centro de Bioplasmas, Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba].
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2020). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, 27, 56-62. <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121015057006.pdf>
- Mejía de Tafur, M. S. (2002). Fisiología de la yuca. En B. Ospina, & H. Ceballos (Coords.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 34-45). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Morón, M. A., Lugo-García, G. A., & Aragón-García, A. (2014). Description of the third instar larvae of five species of *Cyclocephala* (Coleoptera, Melolonthidae, Dynastinae) from Mexico. *Revista Brasileira de Entomologia*, 58(3), 219-228. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262014000300001>
- Morón, M. A., Vallejo, F., & Restrepo-Giraldo, H. (1998). El género *Phyllorhiza* Harris (Coleoptera: Melolonthidae) en Colombia. Un

- análisis preliminar de su diversidad y distribución. En M. A. Morón, & A. Aragón (Eds.), *Avances en el estudio de la diversidad, importancia y manejo de los coleópteros edafícolas americanos* (pp. 29-36). Sociedad Mexicana de Entomología.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nicaragua, K., Pavón, F., & Chavarría, E. (2004). *Guía MIP del cultivo de la yuca*. INTA.
- Njoku, D., Gracen, V., Offei, S., Asante, I., Egesi, C., Kulakow, P., & Ceballos, H. (2015). Parent-offspring regression analysis for total carotenoids and some agronomic traits in cassava. *Euphytica*, 206, 657-666. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1482-4>
- Njukwe, E., Tenkouano, A., Amah, D., Sadik, K., Muchunguzi, P., Nyine, M., & Dubois, T. (2007). *Training manual. Macro-propagation of banana and plantain*. USAID; IITA; CRS.
- Nogueira, R. (1997). *Expressões fisiológicas da aceroleira (Malpighia emarginata D. C.) em condições adversas* [tesis de doctorado, Universidade Federal de São Carlos].
- Núñez, C., Martín, M., Del Aguila, M., & Zárate, R. (2018). *Tüxe: conocimientos tradicionales vinculados a la yuca (Manihot esculenta) en el pueblo Ticuna*. <https://hdl.handle.net/20.500.12921/342>
- Nurcahyani, E., Qudus, H. I., & Evlin, F. (2021). Analysis of the reducing sugar of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) mutant plantlets resistant to *Fusarium* wilt. *AIP Conference Proceedings*, 233(1). <https://doi.org/10.1063/5.0041846>

- Onwueme, I. C., & Charles, W. B. (1994). Tropical root and tuber crops: Production, perspectives and future prospects. *FAO Plant Production and Protection Paper*, (126).
- Orellana, P. A. (1998). Propagación vía organogénesis. En J. N. Pérez-Ponce (Ed.), *Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología* (pp. 151-178). Instituto de Biotecnología de las Plantas.
- Ospina Patiño, B., & Rosero Alpala, E. A. (Eds.). (2023). *Tecnologías de secado y potencial de la agroindustria de trozos secos de yuca en el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); Corporación Clayuca.
- Ospina, B., & Ceballos, H. (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Ospina, B., & Ceballos, H. (Eds.). (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. CIAT.
- Papathoti, N. K., Mendam, K., Sriram Kanduri, B. H., Thepbandit, W., Sangpueak, R., Saengchan, C., Hoang, N. H., Megavath, V. S., Kurakula, M., Le Thanh, T., & Buensanteai, N. (2022). Investigation of bioactive compounds from *Bacillus* sp. against protein homologs CDC42 of *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease in cassava by using molecular docking and dynamics studies. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9, artículo 1010603. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.1010603>
- Pax, F. (1910). *Manihot* Adans. En H. G. A. Engler (Ed.), *Das Pflanzenreich* (Vol. IV, pp. 21-111). Wilhelm Engelmann.
- Peñaloza, E., Suárez, H., & Sánchez, A. (1996). *Problemas entomológicos del cultivo de la yuca (Manihot esculenta Crantz) en el centro del Cesar*. Corporación Colombiana de Investigación

- Agropecuaria (Corpoica). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/31655>
- Pérez, O. G., Bernal, L. N., China, M. A., O'Reilly, L. J., & De Prada, E. F. (1998). Conservación del germoplasma. En J. F. Valdés (Ed.), *Re-cursos genéticos de la caña de azúcar* (pp. 22-25). Imago.
- Perez-Barraza, M. H., Salazar-Garcia, S., & Vazquez-Valdivia, V. (2000). Delayed inflorescence bud initiation, a clue for the lack of response of the "Tommy Atkins" mango to promoters of flowering. *ISHS Acta Horticulturae*, 509, 567-572. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.509.64>
- Pérez-Pazos, J. V., Luna-Castellanos, L. L., & Burbano-Figueroa, O. (2018). Acumulación de biomasa en yuca (*Manihot esculenta* C.) ante la respuesta a la aplicación de fertilizantes NPK y biofertilizantes en condiciones de invernadero en dos tipos de suelo. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 456-463. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2916>
- Pino, J. A. (1980). Preliminary study of the disease caused by *Choenephora cucurbitarum* in clones of cassava (*Manihot esculenta*) in Cuba. *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Viandas, Hortalizas y Granos*, 3(1), 23-39.
- Pohl, I. E. (1827). *Manihot*. En *Plantarum Brasiliae. Íconos y descripciones* (Vol. 1, 16-56). <https://www.biodiversitylibrary.org/item/9622#page/14/mode/1up>
- Pratissoli, D., Zanúncio, J. C., Barros, R., & De Oliveira, H. N. (2002). Leaf consumption and duration of instars of the cassava defoliator *Erinnyis ello* (L., 1758) (Lepidoptera, Sphingidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 46(3), 251-254. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262002000300004>
- Ramírez, C. (2001). *Aporte al estudio de la biología, comportamiento y distribución del barrenador del tallo de la yuca Chilomima clarkei Amsel*

- (*Lepidoptera: Pyralidae*) en el departamento de Tolima [tesis de grado, Universidad de Tolima].
- Rivier, M., Moreno, M., & Dufour, D. (2001). Planta procesadora: descripción y planos de los equipos. En *Almidón agro de yuca en Colombia* (T. 2). CIAT.
- Roca, W. M., Chaves, R., Marin, M. L., Arias, D. I., Mafla, G., & Reyes, R. (1989). In vitro methods of germplasm conservation. *Genome* 31, 2, 813-817.
- Roca, W. M., Reyes, R., & Beltran, J. (1984). Effect of various factors on minimal growth in tissue culture storage of cassava germplasm. En *Proceedings of Sixth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops* (pp. 441-446).
- Rodríguez, L. A. (1984). Oviposición de *Phyllophaga crinita* Burmeister sobre diferentes cultivos en el norte de Tamaulipas, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 9, 184-186.
- Rós, A. B., Hirata, A. C. S., De Araújo, H. S., & Narita, N. (2011). Crescimento, fenologia e produtividade de cultivares de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41(4), 552-558. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.11075>
- Rosero Alpala, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Lenis, J. I., Salazar, S., & García, J. L. (2017). *Corpoica Belloti, Corpoica Sinuana y Corpoica Ropain: nuevas variedades de yuca industrial para el Caribe seco y húmedo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/11550>
- Segreda Rodríguez, A., Saborío Argüello, D., Aguilar Brenes, E., Morales González, J., Chacón Lizano, M., Rodríguez Rojas, L., Acuña Chinchilla, P., Torres Portuquez, S., & Gómez Bonilla, Y. (1983). Cultivo de yuca *Manihot esculenta* Crantz. INTA.

- Servais, E. (2022). *Identification et occurrence des ravageurs et maladies du manioc en moyennes parcelles dans les tropiques de Cochabamba* (Bolivia) [tesis de maestría, Liège Université].
- Shigaki, T. (2016). Cassava: The nature and uses. *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 687-693). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00124-0>
- Simmonds, N. E. (1976). *Evolution of crop plants* (3a. ed.). Longman.
- Stechauner-Rohringer, R., & Pardo-Locarno, L. C. (2010). Redescrición de inmaduros, ciclo de vida, distribución e importancia agrícola de *Cyclocephala lunulata* Burmeister (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae) en Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 14(1), 203-220.
- Suárez, L., & Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27-35.
- Taborda, L. A. (2018). *Determinación y análisis integral de impactos de la agroindustria rural de almidón de yuca en Cauca Colombia* [tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69148>
- Ternes, M. (2002). Fisiología da planta. En M. P. Cereda (Ed.), *Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas* (pp. 66-82). Fundación Cargill.
- Tironi, L., Zanon, A., Alves, C., Freitas, A., Santos, P., Cardoso, G., Tonel, L., Rodrigues, B., Tagliapietra, M., & Streck, N. (2019). *Eco-fisiologia da mandioca visando altas produções*. Editora GR
- Tofiño, A., Ceballos, H., & Romero, H. M. (2008). Posibilidades de expansión del cultivo de yuca *Manihot esculentum* Crantz en el Caribe seco colombiano a partir de investigación multidisciplinaria. *Actualidades Biológicas*, 30(88), 15-27. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/329317>

- Urías, L., & Reyes, Q. J. A. (1990). Population fluctuations and life cycle of *Erinnyis ello* (L.), 'gusano de cuerno' of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale*, 84(2), 265-271.
- Van Heemst, H. D. J. (1988). *Plant data values required for simple crop growth simulation models : review and bibliography*. (Simulation report CABO-TT; No. nr. 17). CABO. <https://edepot.wur.nl/218353>
- Vasil, I. K. (1994). Molecular improvement of cereals. *Plant Molecular Biology*, 25(6), 925-937. <https://doi.org/10.1007/bf00014667>
- Villalobos, V., & T. Thorpe. (1991). Micropropagación conceptos, metodología y resultados. In W. Roca, & L. Mroginski (Eds.), *Cultivo de tejidos en la 30 Agricultura. Fundamentos y aplicaciones* (pp. 127-141). CIAT.
- Winder, J. A. (1976). Ecology and control of *Erinnyis ello* and *E. alope*, important insect pests in the New World. *PANS*, 22(4), 449-466. <https://doi.org/10.1080/09670877609414334>
- Yaninek, J. S. (1989). *Handbook on the cassava green mite (Mononychellus tanajoa) in Africa: A guide to its biology and procedures for implementing classical biological control*. IITA.
- Yaninek, J. S., Gutiérrez, A. P., & Herren, H. R. (1989). Dinámica de *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) en África: evidencia experimental de los efectos de la temperatura y la planta huésped en las tasas de crecimiento de la población. *Entomología Ambiental*, 18(4), 633-640.
- Ziv, M. (1989). The effect of growth retardants on shoot proliferation and morphogenesis in liquid cultured *Gladiolus* plants. *ISHS Acta Horticulturae*, 280, 207-214. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.280.37>

Autoría

Elvia Amparo Rosero Alpala

Correo: erosero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9670-3047>

Ingeniera agrónoma y máster en Ciencias Agrarias, con énfasis en fitomejoramiento, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, y Ph. D. de la Universidad Carolina (República Checa), que le otorgó su título en el área de anatomía y fisiología de plantas. Actualmente, se desempeña como investigadora Ph. D. asociada en el C. I. Turipaná de AGROSAVIA. 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.

Amaury Aroldo Espitia Montes

Correo: aespitia@agrosavia.co

Orcid: <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 el C. I. Turipaná de AGROSAVIA 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 alta calidad de ñame, yuca, batata y plátano, manejo integrado de estos cultivos, fisiología vegetal, recursos genéticos, investigación participativa y abonos orgánicos. Hace parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de la corporación. Publicaciones: "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

Correo: sregino@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9325-7336>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación y hace parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA. 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. Publicación: "Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana" (*Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 25, n.o 2).

Jorge Luis García Herazo

Correo: jgarciah@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0152-8299>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Desde 2015 está vinculado al C. I. Turipaná de AGROSAVIA como profesional de apoyo a la investigación, adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos. Cuenta con experiencia en establecimiento de experimentos de investigación agrícola en cultivos de ñame, yuca y batata, encaminados a la obtención de genotipos potenciales para nuevas variedades a través de mejoramiento genético convencional. Publicación: "Multi-trait selection indices for identifying new cassava varieties adapted to the Caribbean region of Colombia" (*Agronomy*, vol. 11, n.o 9).

Katia Vanesa Contreras Valencia

Correo: kcontreras@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5624-4122>

Ingeniera agroindustrial con maestría en Agronegocios. 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.

Luis Alejandro Taborda Andrade

Correo: ltaborda@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7424-839X>

Doctor en Agroecología, con énfasis en desarrollo rural; máster en Ingeniería Agroindustrial, e ingeniero agroindustrial. Consultor con más de cinco años de experiencia en escalonamiento y transferencia de tecnologías, y análisis de adopción e impactos de innovaciones agropecuarias bajo la perspectiva de la teoría del cambio. Cuenta con experiencia en la aplicación del enfoque metodológico *scaling readiness* y con estudios de mercado y análisis de cadenas de valor agropecuarias. Ha participado en proyectos de desarrollo liderados por los centros CGIAR (Alianza Bioversity-CIAT) y Cirad en América Latina y África, así como por la Universidad Nacional y AGROSAVIA en Colombia.

Rocío Margarita Gámez Carrillo

Correo: rgamez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9227-3425>

Bacterióloga y microbióloga de la Pontificia Universidad Javeriana. Candidata a Doctorado en Biociencias de la Universidad de La Sabana. Becaria en el doctorado. Reconocimiento "Mujer en la Ciencia", L'Oréal Colombia - Comisión Colombiana de Cooperación con la Unesco – Colciencias, Ictetex. Las principales líneas de investigación son producción y escalamiento de semillas *in vitro* e indexación; escalamiento de semilla en condiciones *ex vitro* súper élite, élite y categorías comerciales; estandarización y desarrollo de protocolos de producción *in vitro* en yuca, plátano, banano, ñame, papa, mora y piña; producción masiva a través de sistemas de Inmersión Temporal, RITA; estandarización de técnicas de embriogénesis somática y organogénesis directa, entre otras.

Hernando Alberto Araujo Vásquez

Correo: haraujo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3679-3973>

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agronómicas, 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, frijol y tabaco) y cultivos permanentes (aguacate). Es investigador máster de AGROSAVIA.

Rommel Igor León Pacheco

Correo: rleon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9928-5282>

Fue investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) (2005-2016), y desde 2016 se desempeña como investigador máster sénior en AGROSAVIA. Es ingeniero agrónomo con maestría en Agronomía, con orientación en mejoramiento genético de plantas y ecofisiología vegetal. Tiene más de quince años de experiencia como investigador en sistemas productivos de cultivos transitorios. Ha sido coordinador e investigador en proyectos, subproyectos y acciones orientadas a la identificación de genotipos superiores, a través de recursos fitogenéticos, programas de mejoramiento genético, manejo integrado de la productividad y ecofisiología del estrés en cultivos de raíces, tubérculos, hortalizas y algunos frutales.

Carlos Alberto Abaunza GonzálezCorreo: cabaunza@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0003-4496-1455>

Agrólogo de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, con maestrías en Agroecología y Desarrollo Rural Sostenible de la Universidad Internacional de Andalucía y en Gestión Ambiental de la Pontificia Universidad Javeriana. Es investigador más-ter de AGROSAVIA, con énfasis en estudios de información espacial de atributos de suelos para hacer más eficientes los procesos de análisis de los sistemas de producción agropecuaria, enlazando los elementos agroclimáticos para identificar escenarios acordes con la adaptación a la variabilidad climática, el ordenamiento territorial y la evaluación de tierras en los niveles predial y regional. Ha aplicado el enfoque agroecológico como paradigma del análisis ambiental, considerando los espacios de producción y de conservación como coexistentes, con la finalidad de explorar escenarios posibles para implementar los planes de la formulación en el territorio.

Mónica TrujilloCorreo: monica.trujillo@sei.org

Economista y magíster en Agronegocios y Alimentos. Actualmente, es gerente de la iniciativa global “Gobernando las vías de la bioeconomía”, del Stockholm Environment Institute (SEI), para América Latina. Tiene más de quince años de experiencia profesional en estrategias de desarrollo sostenible basadas en el crecimiento económico y la conservación de la biodiversidad. Ha trabajado en agronegocios, con productores y empresas, en inteligencia de mercados, planes de negocios y políticas públicas, en Colombia y Argentina. Su experiencia en conservación y uso sostenible de la biodiversidad está relacionada con el fortalecimiento de la gobernanza, la gestión de ecosistemas y la articulación con políticas públicas multisectoriales y de crecimiento verde.

Carina Cecilia Cordero Cordero

Correo: ccordero@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3688-5835>

Ingeniera agrónoma con Maestría en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología Vegetal de la Universidad de Córdoba. Se encuentra vinculada a AGROSAVIA desde el año 2016 en el Centro de Investigación Motilonia como investigadora máster, donde ha trabajado en proyectos de investigación en el área de ecofisiología vegetal en raíces y tubérculos, mejoramiento genético en yuca, frijol y maíz, producción de semilla de genotipos biofortificados de frijol, análisis socioeconómico de los principales sistemas de producción hortícola en la región Caribe de Colombia y en planes de vinculación de ofertas tecnológicas de la Corporación. Actualmente lidera trabajos de investigación en ecofisiología vegetal, y continúa con su trabajo en el análisis de la cadena de valor de hortalizas, en mejoramiento genético y producción de semilla de especies para el Caribe seco Colombiano, y se encuentra adscrita a la Red de Hortalizas y Plantas Aromáticas de Agrosavia.

Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Correo: arorozco@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6297-8918>

Profesional en Ingeniería Agronómica de la Universidad del Magdalena, con experiencia como profesional de apoyo a la investigación en el C. I. Caribia de AGROSAVIA. Cuenta con experiencia en manejo agronómico y ejecución de investigaciones en cultivos hortícolas, yuca, mango, musáceas, entre otros, y con conocimientos en manejo integrado de plagas y enfermedades y transferencia de tecnología.

Martha Liliana Montes PérezCorreo: mmontes@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-6832-1252>

Ingeniera ambiental y sanitaria, con maestría en Ciencias Agrarias de la Universidad del Magdalena. Se ha desempeñado como profesional de apoyo a la investigación en Agrosavia, sede Caribia. Durante más de cinco años ha apoyado la ejecución de trabajos de investigación en sistemas hortícolas, en yuca, en sistemas productivos de frutales en campo y en el cultivo de tejidos *in vitro* en laboratorio.

Gabriel Ernesto Silva AcostaCorreo: gesilva@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-6519-8973>

Investigador máster del C. I. Caribia de AGROSAVIA. Ingeniero agrónomo y administrador de empresas de la Universidad del Magdalena. Magíster en Ciencias en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo. Cuenta con experiencia investigativa en manejo agronómico de cultivos hortícolas-transitorios (ahuyama, ají, berenjena, tomate, lechuga, frijol, maíz y yuca) y frutales (mango y musáceas) y en programas de fitomejoramiento en hortalizas. Está capacitado en diseño y manejo agronómico de estructuras de agricultura protegida y de sistemas hidropónicos para la producción de hortalizas.

Julio Ernesto Muñoz FalcónCorreo: jemunozf@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-1375-2426>

Investigador Ph. D. del C. I. Caribia de AGROSAVIA en el área de mejoramiento genético de plantas. Ingeniero agrónomo de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, en Venezuela, con doctorado en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Valencia, en España. Más de diez años de experticia en proyectos de investigación relacionados con conservación de recursos fitogenéticos y mejoramiento genético asistido por marcadores moleculares de especies

hortícolas como tomate, pimentón y berenjena. Experiencia como líder de un proyecto en desarrollo de cultivares y producción de semillas de híbridos y variedades de cultivos transitorios como maíz y arroz.

Víctor Alfonso de la Ossa Albis

Correo: vdelaossa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0038-3008>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Cuenta con experiencia profesional de más de diez años en la ejecución de proyectos de investigación y producción agrícola, con énfasis en mejoramiento genético y creación de bases de datos. Actualmente 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 AGROSAVIA.

Luis Giovanni Mauricio Montejo Núñez

Correo: lmontejo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6025-6337>

Profesional del área de agronomía. Titulado como ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Desde antes de inicio de su carrera se ha dedicado a investigar y profundizar en sistemas agrícolas y su relación con la sostenibilidad ambiental. Los recursos hídricos son su principal área de interés, en la que ha desarrollado trabajos importantes para comprender la relación medioambiental, recursos naturales y sistemas agropecuarios. También ha trabajado, con resultados sobresalientes, en el área de administración agropecuaria, horticultura, instalación de sistemas de riego, mantenimiento e instalación de invernaderos, fertilizantes y fertirriego, supervisión y logística para empresas del sector agropecuario.

Ricardo Enrique Támara MorelosCorreo: rtamara@agrosavia.coOrcid: <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 AGROSAVIA, donde se desempeña como investigador más-ter. 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.)” (2019).

Leonardo Andrés López RebolledoCorreo: lalopezr@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0002-9099-1957>

Ingeniero agrícola de la Universidad de Sucre, con experiencia en suelos, construcciones agrícolas y sistemas de riego, y habilidades en tecnología e informática. Actualmente trabaja como profesional de apoyo a la investigación, adscrito a la Red de Cultivos Transitorios y Agroindustriales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná – Unidad Local El Carmen de Bolívar.

Shirley Patricia Pérez CanteroCorreo: sperezc@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0000-0001-5260-0321>

Magíster en Dirección del Desarrollo Local del Instituto Superior de Educación, Administración y Desarrollo (España) y de la Universidad Francisco de Paula Santander de Cúcuta (Colombia). Ingeniera agrónoma egresada de la Universidad

de Córdoba (Colombia). Se ha desempeñado como ingeniera agrónoma en manejo integrado de cultivos y producción de semilla de calidad, especialmente de raíces y tubérculos. Ha trabajado con diferentes especies, como maíz, berenjena y aguacate, como facilitadora de emprendimientos productivos en comunidades rurales, indígenas y afrocolombianas y en procesos organizacionales, así como en formulación, liderazgo y ejecución de proyectos agrícolas en AGROSAVIA. Cuenta con amplia experiencia en trabajo con pequeños productores en el mejoramiento participativo e investigación en campo.

Juan Guillermo Cubillos Hinojosa

Correo: jgcubillosh@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3391-420X>

Microbiólogo de la Universidad Popular del Cesar; magíster en Ciencias Agrarias, en la línea de suelos y aguas, de la Universidad Nacional de Colombia, y Ph. D. en Ciencia del Suelo, en la línea de microbiología y bioquímica de suelos, de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). Actualmente, se encuentra finalizando estudios de especialización en Fitosanidad en la Universidade Federal do Paraná (Brasil). Realizó estancia posdoctoral en el C. I. Motilonia de AGROSAVIA durante 2020 y 2021, donde actualmente es investigador Ph. D. en el área de microbiología agrícola y fitopatología, adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos. Cuenta con experiencia en investigación y docencia en el área de microbiología agrícola, ambiental y biotecnología agrícola, y actúa en la bioprospección de microorganismos de interés en agricultura, fitopatología, uso de controladores biológicos, producción de biofertilizantes, microorganismos promotores de crecimiento de plantas y bioactividad de la materia orgánica.

Clara Yalexty Delgado OchicaCorreo: cydelgado@agrosavia.coOrcid: <https://orcid.org/0009-0000-1673-7320>

Bióloga egresada de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá); magíster en Ciencias Agrarias, en la línea de entomología, de la Universidad Nacional de Colombia, y especialista en Manejo Integrado de los Cítricos, en la línea de control de plagas, del Fondo de Defensa da Citricultura (Fundecitrus), en Brasil. Fue joven investigadora en la Universidad Javeriana (2009-2011). Actualmente, es investigadora máster del C. I. Motilonia de AGROSAVIA, adscrita a la Red de Innovación de Cultivos Transitorios. Cuenta con experiencia en investigación y docencia en el área de entomología agrícola, y con diez años de experiencia en biofábricas de producción de agentes de control biológico (hongos y nematodos entomopatógenos, depredadores y parasitoides). Actúa en la bioprospección de microorganismos y organismos de interés agrícola, principalmente de controladores biológicos.

Remberto Rafael Martínez FigueroaCorreo: rmartinez@agrosavia.coOrcid: <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, selección de variedades promisorias, técnicas integradas de manejo agronómico y producción de material de siembra de cultivos de raíces y tubérculos del Caribe colombiano (yuca, batata y ñame) y 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 AGROSAVIA.

Thierry Tran

Correo: Thierry.Tran@cgiar.org

Investigador sénior en CIRAD durante 15 años. Ha estudiado y desarrollado tecnologías para la transformación de la yuca y ha participado en la transferencia de estas tecnologías al sector privado. Ha liderado estudios de evaluación de la calidad poscosecha de diferentes productos derivados de la yuca, y ha estudiado los impactos socioeconómicos y ambientales de las cadenas de valor agroindustriales en Asia, África y América Latina.

Bernardo Ospina Patiño

Correo: b.ospina@clayuca.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7970-2942>

M. C. en Desarrollo Agrícola Internacional, de la Universidad de California (Davis, Estados Unidos), e ingeniero agrícola de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Actualmente, se desempeña como director ejecutivo y líder de proyectos de la Corporación Clayuca. Cuenta con experiencia en investigación en el área de desarrollo tecnológico para la yuca, con énfasis en tecnologías de manejo poscosecha que agregan valor al cultivo. Entre estas tecnologías se destacan el secado natural de trozos de yuca para uso en alimentación animal, el secado artificial, la producción de etanol y el procesamiento de harina refinada de yuca, batata y de otras raíces y tubérculos tropicales.

Impresión y encuadernación.
DGP Impresores S.A.S.
Terminó de imprimirse en junio de 2024,
en Bogotá D.C., Colombia

El trabajo recopila información base sobre el desarrollo del sistema productivo de yuca industrial en el Caribe colombiano. Este modelo productivo inicia con el capítulo 1, sobre la taxonomía y botánica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), con información básica sobre la especie cultivada, sus centros de origen y su diversidad. El capítulo 2 aborda las condiciones edafoclimáticas para la producción de yuca industrial. La descripción de la cadena de valor de la yuca industrial, que conecta diferentes segmentos, se realiza en el capítulo 3, donde se resaltan los usos de las variedades registradas de yuca industrial en el Caribe. Luego, los avances obtenidos gracias al mejoramiento genético de la yuca se abordan en el capítulo 4, y en el capítulo 5 se presenta una descripción detallada de las variedades industriales más cultivadas y las zonas de cultivo. El capítulo 6 recoge información valiosa sobre la fisiología de la yuca, y el capítulo 7 aborda la producción de semilla de alta calidad de yuca, y describe los procesos vigentes y la normativa para la producción de semilla de diferentes categorías. Los capítulos 8, 9, 10 y 11 abordan, respectivamente, el manejo del cultivo, el uso del recurso hídrico, el manejo integrado de enfermedades y el control de insectos plaga en el cultivo de yuca industrial. El capítulo 12 brinda recomendaciones para la cosecha que se deben considerar en la producción de materia prima en diferentes industrias y describe los procesos agroindustriales en poscosecha. Finalmente, el capítulo 13 trata sobre los costos de producción y la viabilidad económica del cultivo de yuca industrial.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

ISBN: 978-958-740-720-4



9 789587 407204



Distribución gratuita
Prohibida su venta