

Aportes y perspectivas del mejoramiento genético de yuca

para el fortalecimiento de su red de valor en Colombia



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



AGROSAVIA
EDITORIAL



Aportes y perspectivas del mejoramiento genético de yuca

para el fortalecimiento de su red de valor en Colombia

Elvia Amparo Rosero Alpala
Hernán Ceballos Lascano
Eberto Rodríguez Henao
Editores



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Aportes y perspectivas del mejoramiento genético de yuca para el fortalecimiento de su red de valor en Colombia. / Editado por: Elvia Amparo Rosero Alpala; Hernán Ceballos Lascano y Eberto Rodríguez Henao -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

174 páginas (Colección Estudios Agropecuarios)

Incluye referencias bibliográficas, fotografías y gráficos.

ISBN: 978-958-740-626-9

ISBN e-Book: 978-958-740-627-6

1. Mandioca 2. Manihot esculenta 3. Mejoramiento genético 4. Variedades del alto rendimiento 5. Agroindustria 6. Producción vegetal 7. Mercados.

I. Rosero Alpala, Elvia Amparo (Editora) II. Ceballos Lascano, Hernán (Editor) III. Rodríguez Henao, Eberto (Editor).

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.
Código postal: 230550, Colombia.

Esta publicación se deriva del macroproyecto "Generación de tecnología y conocimiento para incrementar la productividad y sostenibilidad del sistema productivo de yuca en Colombia" y 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", Convenio 20220440 MADR-AGROSAVIA, Plan Yuca País. Toda la información sobre variedades industriales registradas fue compilada desde las fichas técnicas aprobadas por el ICA durante los años 1993-2018.

Colección Estudios Agropecuarios

Tipología: Análisis y reflexiones en torno al sector agropecuario

Primera edición: 500 ejemplares

Impreso en Bogotá, Colombia, 2023

Impresión: DGP Editores S.A.S.

editorial@agrosavia.co

Líder editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Edición: Jorge Enrique Beltrán Vargas

Corrección de estilo: Ruth Romero Vaca

Diseño y diagramación: Mónica Cabiativa Daza

Ilustración de cubierta: Juan Felipe Martínez Tirado

Citación sugerida: Rosero Alpala, E. A., Ceballos Lascano, H., & Rodríguez Henao, E. (Eds.). (2023).

Aportes y perspectivas del mejoramiento genético de yuca en el fortalecimiento de su red de valor en Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406276>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran 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 hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co



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



Contenido

Agradecimientos	7
Presentación	8
Introducción	9

Capítulo 1. Uso, demanda y prospectiva de la producción de yuca en Colombia

10

Luis Alejandro Taborda Andrade, Thierry Tran, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Katia Vanesa Contreras Valencia

Uso de la yuca en Colombia	10
Demanda de la yuca en Colombia	12
Demanda y consumo de yuca de mesa (o consumo directo) en Colombia	19
Prospectiva de la producción de yuca en Colombia	23
Demandas en el sistema productivo de yuca que deben ser abordadas desde la investigación	27

Capítulo 2. Área de cultivo y localidades de evaluación de genotipos de yuca

28

Elvia Amparo Rosero Alpala, Lizbeth Pino Durán

El cultivo de yuca en Colombia	28
Dinámica de la producción del cultivo de yuca por regiones naturales	33



Vocación del cultivo de yuca según su uso en Colombia	37
Alcance del proceso de mejoramiento genético a nivel de regiones naturales	42

Capítulo 3. Proceso de mejoramiento genético para la obtención de variedades de yuca registradas en Colombia

44

Hernán Ceballos Lascano, Elvia Amparo Rosero Alpala, Sandra Milena Salazar Erazo, Nelson Morante Herrera, Lizbeth Pino Durán, Eberto Rodríguez Henao, Fernando Calle Calle, Jorge Iván Lenis Calderón

Citotaxonomía, diversidad, comportamiento floral y técnicas de hibridación	44
Producción de semilla sexual de yuca en el CIAT	50
Objetivos del mejoramiento genético, criterios de selección y su aporte en el mejoramiento del cultivo de yuca	53
El cultivo de la yuca y su proceso de mejoramiento genético en Colombia	58
Variedades mejoradas generadas en cooperación entre AGROSAVIA y el CIAT	61

Capítulo 4. Características de evaluación y selección de genotipos superiores de yuca

65

Elvia Amparo Rosero Alpala, Eberto Rodríguez Henao, Sandra Milena Salazar Erazo, Jorge Iván Lenis Calderón, Nelson Morante Herrera, Carina Cecilia Cordero Cordero, Héctor Augusto Sandoval Contreras, Jorge Luis García Herazo, José Ives Pérez Zúñiga, Víctor Alfonso De la Ossa Albis, Juan Carlos González, Karen Andrea Alarcón Beltrán, Luis Giovanni Mauricio Montejó Núñez, Lina Vanessa Garavito Morales, Rommel Igor León Pacheco, Martha Montes, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Remberto Rafael Martínez Figueroa, Katia Vanesa Contreras Valencia, Sonia Gallego Castillo, John Eiver Belalcázar Martínez, Hernán Ceballos Lascano, Xiaofei Zhang, Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Marco legal para la producción de material de siembra	65
Ciclos de selección y diseño experimental	66
Recomendaciones de establecimiento, manejo y evaluaciones	68
Variables sobre respuesta a plagas y enfermedades	72
Protocolo de evaluación de la calidad física y culinaria de las raíces de yuca	73
Construcción de costos para generar cultivares y estimación de costo-beneficio	76
Estimación de la relación costo-beneficio	77

Capítulo 5. Metodología de mejoramiento genético para la obtención de variedades de yuca registradas

78

Elvia Amparo Rosero Alpala, Eberto Rodríguez Henao, Sandra Milena Salazar Erazo, Nelson Morante Herrera, Fernando Calle Calle, Jorge Iván Lenis Calderón, Hernán Ceballos Lascano

Variedades de yuca aptas para el consumo fresco	82
Variedades de yuca aptas para el uso agroindustrial	87
Variedades de yuca aptas para uso doble propósito (agroindustria y consumo fresco)	92
Variedades de yuca forrajera aptas para alimentación animal	94

Capítulo 6. Características morfoagronómicas de las variedades de yuca registradas

99

Eberto Rodríguez Henao, Elvia Amparo Rosero Alpala, Nelson Morante Herrera, Jorge Iván Lenis Calderón, Sandra Milena Salazar Erazo, Hernán Ceballos Lascano

Variedades de yuca aptas para el consumo fresco	99
Variedades de yuca aptas para el uso agroindustrial	109

Variedades de yuca aptas para uso doble propósito (agroindustria y consumo fresco)	123
Variedades de yuca forrajera aptas para alimentación animal	126

Capítulo 7. Proceso de vinculación de variedades mejoradas de yuca y adopción por agricultores 135

Amaury Aroldo Espitia Montes, Sol Mara Regino Hernández,
Eberto Rodríguez Henao, Shirley Patricia Pérez Cantero

Estrategia de vinculación de AGROSAVIA	135
¿Qué contiene un Plan de Vinculación (PV)?	136
Ofertas para vincular por parte de AGROSAVIA	138
Vinculación de variedades mejoradas	138
Área y rendimiento de variedades liberadas reportados en campos de agricultores	140

Capítulo 8. Perspectivas del mejoramiento genético en el futuro de la producción de la yuca en Colombia 142

Xiaofei Zhang, Rommel Igor León Pacheco, Elvia Amparo Rosero Alpala

Perspectivas en el futuro para el desarrollo de nuevas variedades de yuca	142
Enfoques y herramientas modernas para los futuros programas de mejoramiento genético de yuca para Colombia	146

Conclusiones generales	148
Referencias	149
Los autores	161
Anexo 1	172

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), por la financiación del proyecto Plan Yuca País, que ha permitido la integración de diferentes actores para el fortalecimiento de la cadena de valor de la yuca y un equipo técnico que une esfuerzos para llevar los conceptos utilizados en este libro al acceso del público, que puede enriquecer su conocimiento, así como retroalimentar los procesos vigentes. Un especial agradecimiento a las diferentes colaboraciones institucionales que han permitido fortalecer los procesos de mejoramiento genético emprendidos por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y apoyados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica), entre otras. Un agradecimiento enorme a los agricultores que día a día usan las variedades mejoradas para las diferentes zonas geográficas, ellos son los clientes satisfechos que gozan del progreso gracias al ingreso de nuevas ofertas tecnológicas a los sistemas de producción locales. Asimismo, agradecemos a las industrias y empresas que se han aliado a AGROSAVIA y el CIAT para promover el cultivo de variedades de yuca mejoradas, sin este soporte no sería posible una vinculación asertiva de estas tecnologías a la cadena de valor de la yuca en el país.

Presentación

Este libro 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). Este proyecto aunó esfuerzos técnicos, científicos y tecnológicos para impulsar el subsector productivo de la yuca industrial como polo de desarrollo local, a través de la promoción de capacidades de producción, de transformación y de mercadeo por parte de organizaciones de pequeños productores de yuca de los departamentos de Sucre, Bolívar y Córdoba.

Este documento recopila información importante sobre el uso, la demanda y la prospectiva de la producción de yuca en Colombia (capítulo 1) y el área de cultivo y su integración en el proceso de mejoramiento genético de la yuca (capítulo 2). Además, ofrece una descripción del proceso de mejoramiento genético para la obtención y registro de cultivares comerciales de yuca en Colombia (capítulo 3). Los capítulos 4, 5 y 6 muestran la metodología de mejoramiento usada en la obtención de las variedades de yuca registradas ante el ICA, así como también la descripción de las características morfoagronómicas de las variedades registradas hasta la fecha. La información sobre los atributos sobresalientes de las variedades registradas y su adopción por los agricultores (capítulo 7) y las perspectivas del proceso de mejoramiento para la yuca en Colombia (capítulo 8) cierran el contenido de este documento.

Introducción

El mejoramiento genético del cultivo de yuca ha dado enormes pasos para contribuir al fortalecimiento de esta cadena de valor. Desde sus inicios, la colecta, conservación y caracterización de genotipos a nivel nacional ha sido el principal insumo para el desarrollo de nuevas variedades. Mediante este proceso, motivado por el objetivo global de instituciones como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), se ha podido recolectar germoplasma de otros países americanos y del resto del mundo. A nivel nacional, los esfuerzos han sido realizados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y, más adelante, por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica). La conexión entre la importancia socioeconómica de este cultivo y el conocimiento técnico ha permitido la identificación de zonas agroecológicas y de características de interés en los genotipos evaluados que deben ser consideradas en el desarrollo de nuevas variedades.

La yuca, al ser una especie alógama y altamente heterocigota, ha demandado grandes esfuerzos en los procesos de cruzamientos dirigidos y abiertos para generar perfiles de productos deseados en poblaciones con una alta segregación genética. Sin embargo, una vez identificados los genotipos élite o promisorios, la multiplicación vegetativa de esta especie permite clonar fácilmente estos genotipos con los perfiles deseados. De esta forma, la información relacionada con el proceso de obtención de las variedades liberadas es descrita en este documento, con el fin de mostrar la complejidad y duración del proceso. Asimismo, se resaltan las características morfoagronómicas de estas variedades, con el propósito de dejar, al público interesado, información relevante para la elección de variedades mejoradas apropiadas para los sistemas de producción en zonas específicas de Colombia.

Este libro reúne gran parte del conocimiento práctico usado en el proceso de mejoramiento genético de la yuca y aborda temáticas de interés en los procesos de evaluación en los que los productores y los usuarios finales son considerados para la identificación de genotipos deseados.

Capítulo 1.

Uso, demanda y prospectiva de la producción de yuca en Colombia

Luis Alejandro Taborda Andrade, Thierry Tran, Gabriel Ernesto Silva Acosta,
Katia Vanesa Contreras Valencia

En el presente capítulo se aborda el contexto del mercado para las raíces frescas de yuca que se destinan principalmente para la producción de almidón nativo y almidón fermentado en Colombia. Se hace una descripción general de algunas dinámicas prospectivas y de las principales variables del mercado que afectan el precio y el suministro de raíces para la industria.

Uso de la yuca en Colombia

El cultivo de yuca es de relevancia para la seguridad alimentaria en Colombia. El Ministerio de Agricultura reportó que en Colombia se sembraron 218.521 ha de yuca en el 2021. Entre el 95 % y el 97 % corresponde a yuca de consumo en fresco, y el porcentaje restante representa yuca destinada a generación de valor desarrollado en las zonas de producción. En la comprensión de las dinámicas de mercado de la producción de raíces frescas de yuca se identifica que el análisis se puede realizar en función de los procesos de agregación de valor, tal como se muestra en la figura 1.1.

En el lenguaje coloquial de los actores de la cadena de yuca en Colombia se ha incorporado, por un lado, la denominación *yuca industrial o amarga* y, por el otro lado, *yuca dulce*. A este último grupo se le asigna la producción de raíces frescas, que se caracterizan por circular en el mercado mayorista y cuyo destino es el consumo en los hogares. Sin embargo, no existen rasgos morfológicos de la planta que puedan ser utilizados para distinguir las variedades de las yucas amargas de las dulces. Las principales diferencias se encuentran en la composición química de sus raíces. Debe mencionarse que las principales características de una yuca industrial son su alta productividad de raíces frescas y su alto contenido de materia seca, lo que

resulta en una alta productividad de materia seca por área. Asimismo, no es necesario que una yuca industrial tenga altos contenidos de glucósidos cianogénicos. Los términos *yuca amarga* y *yuca industrial* se usan indistintamente, teniendo en cuenta que muchas veces la industria procesa yucas no amargas.

En la figura 1.1, se identifica que actualmente en Colombia la agregación de valor de las raíces frescas de yuca está en los siguientes productos:

- La producción de almidones, que se destinan a procesos industriales como productos intermedios.
- Los trozos secos, destinados a la industria de alimentos balanceados y al consumo en unidades productoras de ganadería bovina.
- La producción de harinas (artesanal) y de productos como yuca para-
finada, precocida y congelada, y de *snacks*, destinados a los sistemas agroalimentarios.

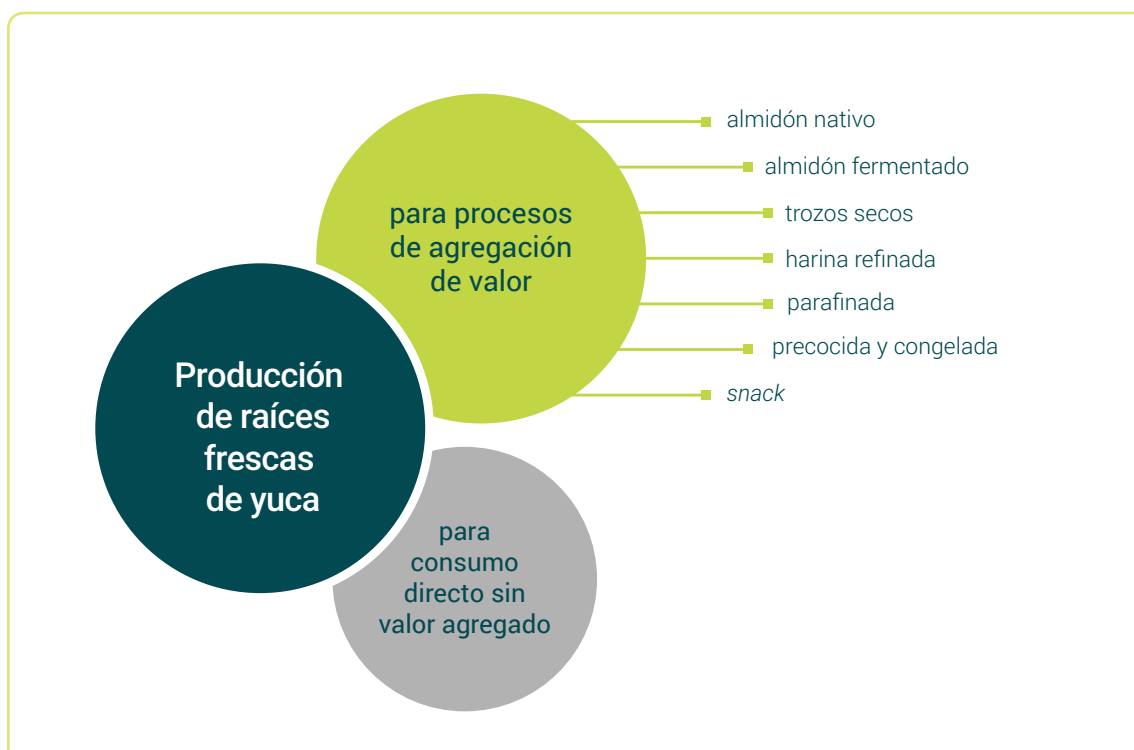


Figura 1.1. Segmentación de la producción de raíces frescas de yuca según el destino de mercado.

Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, los esfuerzos en procesos de mejoramiento genético fueron realizados para variedades de yuca de consumo fresco. Más adelante, y con la intención de ampliar el uso de la yuca, fueron desarrolladas variedades de doble propósito, buscando satisfacer la necesidad de contar con variedades con mayor concentración de almidón y rendimientos de raíces más altos que las variedades de yuca de consumo fresco, conocidas como variedades dulces. Sin embargo, solo hasta el año 2000 se registraron las primeras variedades específicamente seleccionadas por su vocación industrial. Desde entonces, el cultivo de yuca para agregación de valor, como la producción de almidón nativo y fermentado, ha ido aumentando a medida que crece la demanda de materia prima para estos procesos antes mencionados y para otros potenciales, como el de los trozos secos. Estos últimos productos se consideran materias primas (o productos intermedios) para la elaboración de una amplia variedad de productos de alimentación humana y animal, la producción de bebidas, así como para la industria farmacéutica, cosmética y la industria de bioplásticos, entre otras.

Por su parte, la adición de valor en el eslabón de yuca de consumo fresco también ha ido en aumento. La demanda de yuca parafinada, troceada y congelada, precocida o en *snacks*, entre otros productos derivados, aumenta con el tiempo, lo que contribuye al desarrollo sostenible de numerosas industrias dedicadas a la transformación de estas yucas. Colombia ha sido pionera en la producción de croquetas congeladas de yuca, un producto de alto valor agregado y con un enorme potencial en el mercado de exportación.

Demanda de la yuca en Colombia

Uso de la yuca para la producción de almidón nativo y modificado

El almidón nativo (no fermentado o modificado) es aquel que, en su estado inicial, es extraído de las raíces de yuca, sin sufrir ninguna modificación ni alteración. El almidón extraído de las raíces de yuca posee características morfológicas del grano (apariencia, forma, tamaño y distribución) que lo hacen diferente a almidones de otras materias primas, como maíz o papa (Medina & Salas, 2007). Estas características le dan cierta funcionalidad a

los almidones, que los convierte en una materia prima muy atractiva para amplios propósitos industriales.

Entre muchas características deseables, el almidón nativo de yuca ofrece ventajas de una sinéresis reducida, lo que lo hace particularmente apropiado para la producción de alimentos refrigerados o congelados (Sánchez et al., 2010). Otra ventaja del almidón nativo de yuca es su pureza, derivada de las bajas concentraciones de grasas, aceites y proteínas en las raíces.

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 que pueda ser utilizado como aditivo alimentario. Los ejemplos de usos más comunes son como espesante, aglutinante, emulgente y estabilizador (Poltec SAS, 2022).

En Colombia existen tres empresas cuyo modelo de negocio se basa en la producción de almidón nativo, dos de las cuales también producen almidones modificados. En la tabla 1.1, se presentan algunos datos relacionados con la capacidad de producción de estas empresas.

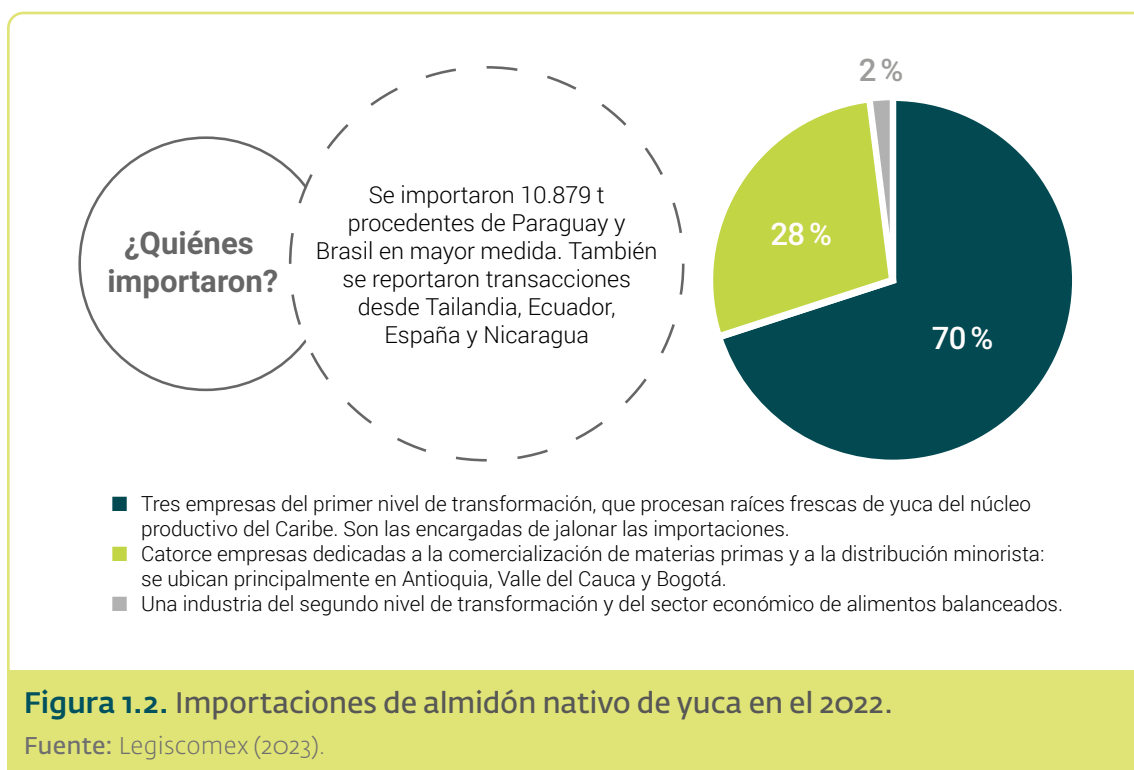
Tabla 1.1. Principales actores del procesamiento, la importación y el consumo de almidones nativos y modificados de yuca

Industria	Procesa raíces de yuca	Tipo de almidón que ofrece		Importa almidón nativo	Principales clientes
		Nativo	Modificados		
Almidones de Sucre	Sí	Sí	No	Sí	Industria de alimentos (70%) Otras industrias: cervecera, empresas de aromas, salsamentarias y cartoneras
Ingredion	Sí	Sí	Sí	Sí	Industria de alimentos
Poltec SAS	Sí (desde 2021)	Sí	Sí	Sí	Mediana y pequeña industria de alimentos (premezclas para cadenas de restaurantes)

Fuente: Elaboración propia

Importaciones de almidón nativo

Para el año 2022, se importaron alrededor de 11.000 t de fécula de mandioca, que es el código de partida registrado en el comercio internacional y revisado en Legiscomex. En la figura 1.2, se observa la participación de las empresas que importaron en ese periodo: tres industrias transformadoras importaron alrededor del 70 % de todo el almidón de yuca que ingresó al país; el porcentaje restante lo importaron catorce empresas comercializadoras que distribuyen materias primas a minoristas y una empresa relacionada con la industria de alimentos balanceados.



Se puede inferir que el mercado potencial a desarrollar consiste en sustituir la cantidad de almidón importado por producción interna. Para esto se requeriría una cantidad aproximada de 69.000 t de raíces frescas, las cuales se cosecharían de aproximadamente 3.880 ha de yuca. Estos cálculos nos permiten comprender el tamaño de la demanda insatisfecha que existe de áreas cultivadas con yuca, siendo su producción utilizada como producto intermedio (almidón nativo).

Uso de la yuca para la producción de almidón agrio o fermentado

Tal como se describió en el apartado anterior, el proceso de obtención de almidón fermentado (o agrio) es el mismo que el del almidón nativo. Sin embargo, para el primer proceso se le agrega la fermentación, la cual se realiza en tanques plásticos o fabricados con enchapes de cerámica. La duración de la fermentación puede estar entre 20 y 120 días, con 90 días en promedio, según estudios de Taborda (2018). La calidad del almidón se monitorea mediante pruebas de expansión, que se basan en someter la masa que incluye almidón fermentado a altas temperaturas. La calidad y capacidad de expansión del almidón fermentado depende de diversos factores que influyen en el proceso fermentativo, como la calidad del agua, la temperatura, las cepas microbianas, etc. Sin embargo, en general se reconoce que los mejores resultados del proceso fermentativo se dan a través de la combinación sinérgica de fermentación durante 10-14 días, seguida por la exposición al sol. Algunos estudios han evidenciado que la fermentación reduce la viscosidad y el peso promedio de la masa molar, lo que hace macromoléculas más densas y con mayor grado de ramificación, lo cual está ligado a una mayor expansión en la masa (Dufour et al., 2022).

El epicentro de producción de almidón agrio en el país es el departamento del Cauca. El proceso para la obtención de este tipo de almidón, que es usado principalmente para la industria alimenticia, requiere de un proceso de fermentación, el cual es realizado posteriormente a la extracción de almidón en estaciones de transformación conocidas como *rallanderías*. En el departamento del Cauca 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 este

departamento. Esto se debe a diversos factores, tales como: a) el clima (sequía entre el 2014 y el 2015), b) el elevado costo de las raíces (debido principalmente a que la mecanización del suelo es baja por la topografía montañosa de la región, por lo que se requiere un mayor número de jornales por hectárea) y, más recientemente, c) el aumento del área de cultivos ilícitos en lugares productivos para el cultivo de yuca. Esto ha llevado a las rallanderías del Cauca con mayor capacidad económica a construir o alquilar plantas de procesamiento en Sucre y/o Córdoba, donde pueden encontrar mayor suministro de raíces de yuca industrial.

La Secretaría de Agricultura de Sucre censó 27 rallanderías, de las cuales 15 operan regularmente. En el 2022, cuando se realizaron las encuestas de este estudio de mercado, se registró un número más alto de rallanderías, operando especialmente en época de cosecha (noviembre a febrero), las cuales fueron alquiladas por operadores y otros intermediarios caucanos. Generalmente procesan las raíces en Sucre y/o Córdoba y transportan el almidón nativo hasta el Cauca, donde es fermentado. De acuerdo con lo que informan los ralladores encuestados, intentaron fermentar el almidón en Sucre, pero los resultados no fueron los mismos que en el Cauca, donde, aparentemente, se cuenta con las condiciones idóneas de altura, clima y temperatura para la fermentación. Un uso importante del almidón fermentado es en productos expandidos (como las rosquillas, el pan de yuca o el pandebono). Recientemente se ha demostrado su relevancia en la panificación libre de gluten, lo que podría permitir el reemplazo parcial de la harina de trigo importada (Dufour et al., 2022), sin embargo, todavía se carece de estudios que permitan establecer la mínima cuota para ingresar en el mercado de las harinas refinadas en el país.

Tres nuevas rallanderías fueron construidas recientemente (una en el 2018 y dos en el 2022) en Sucre, con capacidad de procesamiento de 30 t/día de almidón. Esto significa que requieren cerca de 150 t/día de raíces frescas en promedio. Una de las principales limitaciones para la construcción de estas plantas fue la disponibilidad de agua. Pues se requiere en promedio 16 l de agua por cada kilogramo de almidón procesado. Por lo cual, conseguir elevados caudales de agua puede ser un reto en los departamentos de Sucre y Córdoba. Por tanto, el impacto ambiental en la producción de almidón (nativo o fermentado) puede ser negativo si no se hace un manejo apropiado del agua.

Uso de la yuca para la producción de trozos secos

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 del motor, la velocidad del rotor y la forma de las cuchillas. Ahora bien, ninguna industria solicita un tamaño o forma específica, sin embargo, en algunos casos el cliente final puede solicitar a sus proveedores un producto pequeño y homogéneo. El requisito general que rige los procesos es que el producto no tenga una humedad superior al 12 %, para evitar la contaminación microbiológica y las toxinas que pueden producir dichos microorganismos. También se debe evitar la contaminación por materiales como piedras, trozos de madera y otras impurezas que se incorporan a los *chips* durante el secado y el transporte. Adicionalmente, algunas industrias exigen que se empaque en sacos de fibra limpios y sin rótulos de insumos agrícolas, para cumplir con las exigencias del ICA en la fabricación de alimentos balanceados.

Los trozos secos de yuca son empleados para la elaboración de alimentos balanceados para las explotaciones pecuarias, como piscicultura, avicultura, porcicultura, ganadería de carne, ganadería especializada (lechería), mascotas, entre otros. La formulación de los productos balanceados es muy dinámica, pues depende del mercado vigente de la soya y el maíz, ya que el 80 % de estas materias primas son importadas. En un escenario donde el precio del maíz sea muy alto, por una posible escasez global, la concentración de maíz podría bajar hasta en un 45 % de la formulación, sustituyéndose con subproductos como harina de arroz, harina de mogolla, recortes de galleta, recortes de guanábana, cascarilla de café, *trozos secos de yuca*, entre otros.

Algunas industrias de balanceados han identificado que la yuca proporciona características especiales a algunos de sus productos. Por ejemplo, en la piscicultura es importante utilizarla debido a que el almidón que se incorpora permite que el pellet flote, lo que ayuda a dar un buen uso al alimento para los peces. Asimismo, los aportes de energía y fibra pueden ser fácilmente sustituidos con otras materias primas, que en algunos casos pueden ser más económicas y fáciles de conseguir, como mogolla, palmiste, palmiste expeller, entre otras.

En el caso de la producción de alimentos para ganadería especializada o lechería es diferente. En este caso en particular, los trozos secos pueden entrar en la formulación de balanceados hasta en un 70 % si el precio de la yuca está hasta en un 90 % del precio del maíz. A manera de ejemplo, si el precio del maíz se cotiza en \$1.450/kg, mientras que el precio de los trozos secos es de \$1.200/kg, se genera un escenario donde el precio de los trozos secos representa un 83 % del valor del maíz, y por lo tanto podrán entrar en la formulación de balanceados para ganadería especializada.

En Córdoba y Sucre, varias organizaciones de productores se dedican a secar y comercializar trozos secos de yuca. Sin embargo, dos empresas proveen en su mayoría los trozos de yuca seca a las principales industrias de balanceados. El mayor consumidor de trozos secos de yuca del país tiene un modelo de suministro propio, que incluye trabajar directamente con productores y organizaciones de productores mediante contratos *forward*.

En la tabla 1.2, se presentan los principales flujos de trozos secos de yuca consumidos por la industria de balanceados, que totalizan más de 10.000 t de trozos secos de yuca. Por motivos de confidencialidad, se suprime el nombre comercial.

Tabla 1.2. Principales compradores y volumen de ventas de *chips* secos de yuca en el periodo 2020-2022

Industria	Toneladas de trozos secos comprados en 2020-2021	Toneladas de trozos secos comprados en 2021-2022	Proveedor
A	7.300	8.600	Productores y organizaciones de productores de yuca por contrato
B	4.000	1.500	
C	500	150	
D	500	0	
Total	12.300	10.250	Asociación Nacional de Productores y Procesadores de Yuca (Anpppy)

Fuente: Elaboración propia

Demanda y consumo de yuca de mesa (o consumo directo) en Colombia

Según Rivera et al. (2021), en Colombia el consumo promedio de yuca por persona al año es de 38,04 kg, comparable al consumo de Latinoamérica, de 39,4 kg por persona al año, y muy superior al promedio mundial, de 15,3 kg por persona al año. A diferencia de la producción de yuca que se destina para usos agroindustriales, cuya producción se concentra principalmente en tres departamentos del país, la distribución del área cultivada de yuca de mesa es más homogénea a lo largo de todo el territorio nacional. De acuerdo con lo reportado por la Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021), la comercialización de yuca dulce se realiza principalmente en fresco. Las raíces son cosechadas, empacadas en bolsas y/o costales y transportadas hasta los centros de acopio, mayoristas y almacenes de cadena. Los centros de acopio y mayoristas son intermediarios de comerciantes minoristas, como tiendas de barrio, restaurantes, cadenas de hoteles y demás actores consumidores y/o distribuidores de la yuca de mesa o yuca dulce. En la tabla 1.3, se presentan los principales mercados mayoristas donde la yuca es distribuida en el país.

Tabla 1.3. Principales compradores de yuca de mesa en Colombia, 2020

Mercado mayorista	Kilos de yuca comercializados en el 2020	Porcentaje
Bogotá, D. C., Corabastos	32.636.310	40,1 %
Barranquilla, Barranquillita	7.324.800	9,0 %
Bucaramanga, Centroabastos	4.791.585	5,9 %
Medellín, Central Mayorista de Antioquia	4.766.498	5,9 %
Cartagena, Bazurto	4.157.800	5,1 %
Cúcuta, Cenabastos	3.568.245	4,4 %
Medellín, plaza minorista José María Villa	2.871.000	3,5 %

(Continúa...)

(Continuación tabla 1.3)

Armenia, Mercar	2.356.900	2,9%
Tunja, Complejo de Servicios del Sur	2.186.720	2,7%
Neiva, Surabastos	2.056.188	2,5%
Valledupar, Mercabastos	2.010.720	2,5%
Cali, Santa Helena	1.994.625	2,5%
Villavicencio, CAV	1.874.190	2,3%
Montería, Mercado del Sur	1.650.960	2,0%
Los demás	7.060.710	9%
Total general	81.307.251	100,0%

Fuente: Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021)

La comercialización de yuca en Colombia para el consumo en fresco (yucas de mesa) se encuentra organizada en cuatro denominaciones: Yuca Chiro-sa, Yuca Criolla, Yuca ICA y Yuca Llanera, cuyos nombres hacen alusión al cultivar cosechado, al lugar de producción o a particularidades propias del material (Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario [Sipsa] & Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2022). Según la plaza de mercado donde se comercialicen o sus propiedades organolépticas, estos cuatro productos pueden tener distintos precios de venta al consumidor y, en algunos casos, fungir como bienes sustitutos de otros alimentos agrícolas, como, por ejemplo, plátano, papa, banano verde, ñame y batata, motivado, principalmente, por variaciones de precio y por la calidad del producto (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2017).

Comercialmente, se reporta que el precio promedio de un kilogramo de yuca, para consumo en fresco, en los principales mercados mayoristas del país fue de \$1.035 en el año 2021, siendo la Yuca Chiro-sa la que presentó mayor valor (\$1.133/kg), cuyo precio de venta estuvo hasta \$168 por encima de las demás yucas comercializadas. Sin embargo, se identifica que existe volubilidad en los precios históricos (años 2013-2021) de los diferentes tipos de yuca comerciales, cuyos precios pueden variar en 100% de un año a otro para algunos cultivares (figura 1.3 y tabla 1.4) (Sipsa & DANE, 2022). Esta situación, posiblemente, está relacionada con periodos de carestía o

de baja producción de los cultivos de yuca en algunas regiones productoras del país o con periodos de sobreoferta de yuca o de otros productos sustitutos.

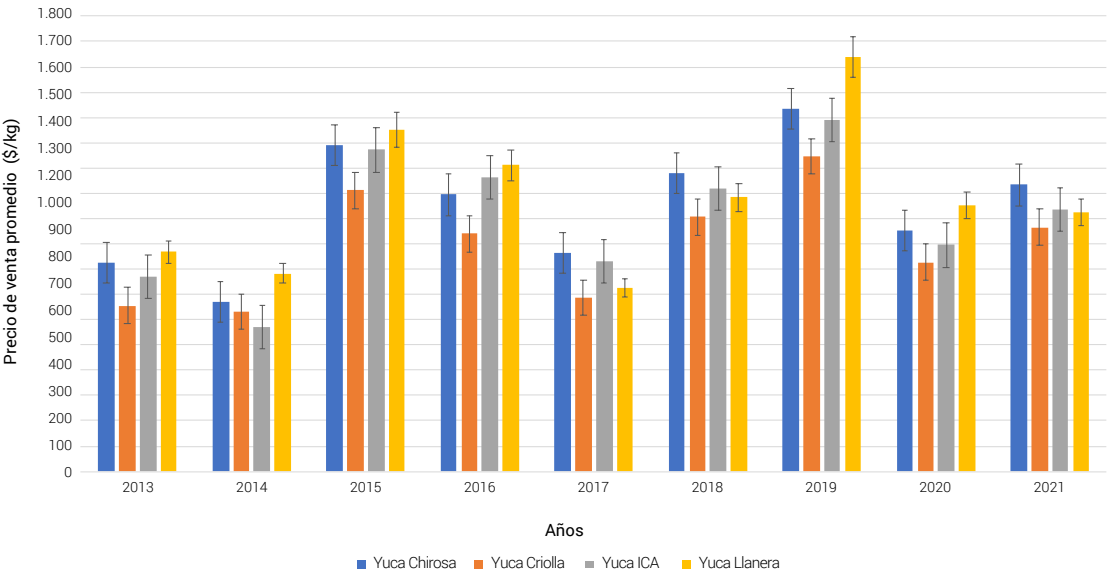


Figura 1.3. Comportamiento promedio de los precios de venta (\$/kg) de los materiales de yuca dulce más comercializados en Colombia (2013-2021).

Fuente: Elaboración propia con base en Sipsa y DANE (2022)

Tabla 1.4. Precios promedio, máximo y mínimo (\$/kg) para los cultivares de yuca dulce más comercializados en Colombia (2020-2021)

Cultivar de yuca	Precio promedio (\$/kg)	Precio máximo (\$/kg)	Precio mínimo (\$/kg)	Plaza de mercado con precios más altos durante el año (mayor precio promedio)	Plaza de mercado con precios más bajos durante el año (menor precio promedio)
2020					
Yuca Chirrosa	\$952	\$1.348	\$735	Buenaventura	Rionegro
Yuca ICA	\$895	\$1.985	\$460	Neiva	Florencia
Yuca Criolla	\$828	\$1.553	\$351	Cúcuta	Montería
Yuca Llanera	\$1.052	\$1.666	\$667	Bogotá	Villavicencio

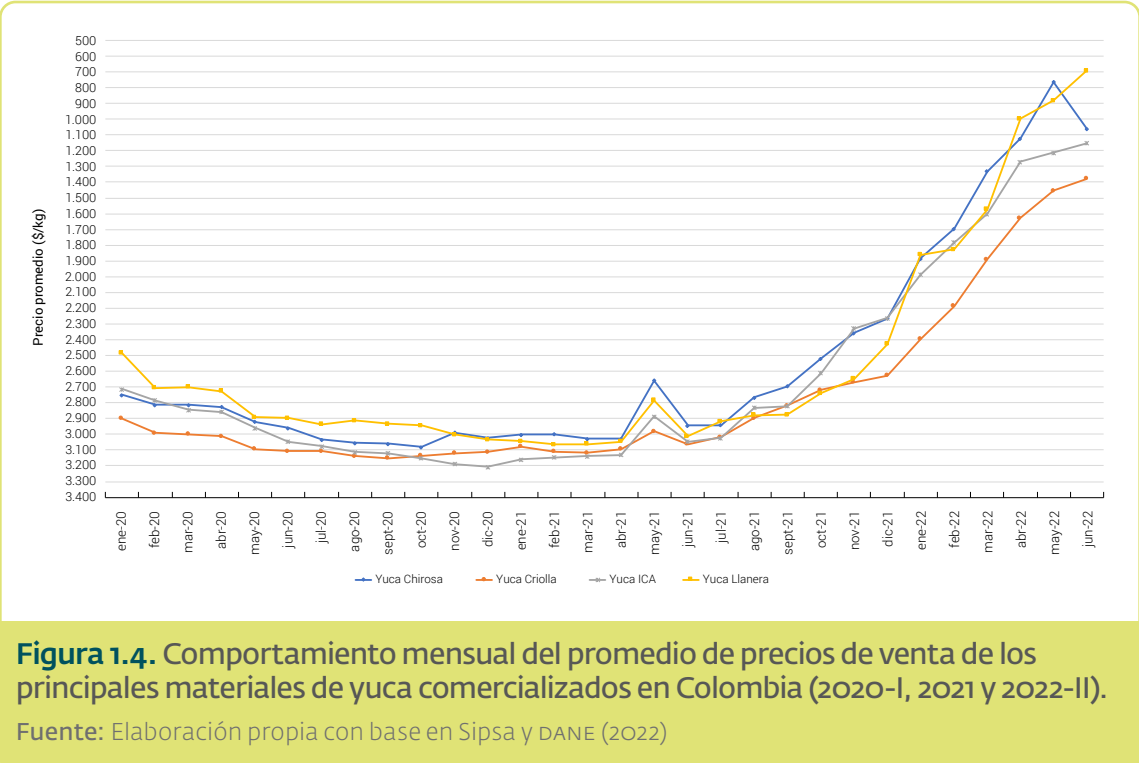
(Continúa...)

(Continuación tabla 1.4)

2021					
Yuca Chirrosa	\$1.133	\$2.138	\$758	Buenaventura	Ibagué
Yuca ICA	\$1.034	\$2.417	\$454	Neiva	Florencia
Yuca Criolla	\$965	\$1.884	\$357	Cúcuta	Montería
Yuca Llanera	\$1.024	\$1.849	\$613	Bogotá	Yopal

Fuente: Elaboración propia con base en Sipsa y DANE (2022)

Por otra parte, se identifica un comportamiento homogéneo, con tendencia al alza, en la variación de precios de los principales cultivares de yuca comercializados en Colombia durante los años 2020, 2021 y 2022-I (figura 1.4). Esto quiere decir que los precios de los cultivares, por ejemplo, la Yuca Chirrosa, la Yuca Criolla, la Yuca ICA y la Yuca Llanera, tienden a comportarse de manera similar durante un determinado semestre del año, calculándose en un promedio de \$344/kg la diferencia en precio que puede haber entre estos cultivares durante los semestres de 2020-I a 2022-II (Sipsa & DANE, 2022).



Durante el 2020 se exportaron 339 t de yuca. En la tabla 1.5, se presentan los principales países compradores de las raíces de yuca de mesa.

Tabla 1.5. Principales compradores de la yuca de mesa de Colombia (2020)

País de destino	Kilos exportados
Estados Unidos	293.287
Canadá	14.710
España	13.533
Aruba	11.129
Reino Unido	7.680
Australia	4.185
Curazao	1.893
Chile	516
Nueva Zelanda	486
México	180
Otros	8
Total general	347.606

Nota: Cifras con corte a diciembre del 2020

Fuente: Sicex, citado por Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales (2021)

Prospectiva de la producción de yuca en Colombia

Análisis de la demanda actual de raíces de yuca para usos agroindustriales en Colombia

El actual escenario en el contexto de una pospandemia (crisis global de contenedores, subida del precio del dólar, guerra en Ucrania, entre otros) ha dinamizado la demanda nacional de almidones nativos, fermentados y modificados. En la tabla 1.6 se presenta la cantidad de toneladas de raíces frescas de yuca que cada segmento de mercado consumió en el 2021. El rendimiento promedio utilizado para estimar la cantidad de toneladas fue de 18 t/ha.

Tabla 1.6. Demanda actual de yuca para cada segmento de agregación de valor en Colombia (2021-2022)

Segmento de mercado	Hectáreas de yuca industrial	Toneladas de raíces de yuca	Precio base del kilo de raíces/chips secos
Almidón nativo	2.760	49.680	\$350-\$450
Almidón agrio	1.742	31.356	\$350-\$450
Alimentos balanceados	1.700	30.750 (12.300 t de chips)	\$1.100-\$1.200
Productores pecuarios	500	9.000 (3.600 t de chips)	\$1.100-\$1.200
Total	6.702	120.786	

Fuente: Elaboración propia

El segmento de almidón nativo fue el que mayor cantidad de raíces consumió (49.680 t). Este segmento se caracteriza por el hecho de que los principales actores usualmente utilizan contratos *forward* para asegurar el suministro de raíces.

Un ejemplo de la demanda de almidón nativo se puede ver en una empresa (se reserva su nombre) que, al igual que muchas del sector, se dedica a transformar y vender almidones modificados. Esta empresa reporta una importación promedio de 3.500 t de almidón al año, desde Tailandia, Paraguay, Brasil o Nicaragua. Todo el almidón que obtiene lo modifica, pues no comercializa almidón nativo. El almidón de yuca representa el 70 % de todas las materias primas que esta empresa compra, por lo cual serían necesarias cerca de 340 t/día para obtener la cantidad de almidón que requiere. Se estima que deberían sembrarse en la región cerca de 5.400 ha de yuca industrial para cubrir solo la demanda de esta empresa. La tendencia de crecimiento de las industrias procesadoras actuales así como también de empresas importadoras que desean usar almidón nacional, incrementan estas cifras y evidencian el potencial de crecimiento de áreas de cultivo de la yuca industrial en las diferentes regiones del país.

Por su parte, en el segmento del almidón agrio (fermentado), se encuentran las rallanderías, que son instalaciones más pequeñas (algunas artesanales), ubicadas en los departamentos de Cauca (alrededor de 60 rallanderías, de las cuales 40 operan regularmente) (Taborda, 2018) y Sucre (27

rallanderías, de las cuales cerca de 16 operan regularmente). A diferencia de las empresas almidoneras, las rallanderías no utilizan contratos *forward* para comprar las raíces. Algunos pagan de contado, y generalmente suelen ofrecer precios por encima de los valores de referencia presentados en la tabla 1.4. Debe destacarse que las grandes procesadoras de almidón nativo cuentan con tratamiento adecuado de aguas residuales, lo que no siempre ocurre con las rallanderías, debido a sus características frecuentemente artesanales, lo cual puede resultar en ventajas que le permiten pagar dichos precios al productor.

Durante el periodo 2021-2022, la competencia por las raíces de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba se incrementó. Adicionalmente, se estima que más del 60 % de la yuca cultivada en el Cauca fue sustituida por el cultivo de la hoja de coca. Por esta razón, esta demanda se desplazó al Caribe, lo que provocó incrementos en los precios de las raíces. En el 2022, la tonelada de raíces frescas de yuca de variedades amargas alcanzó un máximo histórico de \$1.400.000. Esta situación derivó en incumplimientos de hasta un 70 % de los contratos *forward* firmados entre las industrias y los productores.

Por otro lado, el segmento de la industria de alimentos balanceados tiene diversos actores, con mercados particularmente diferentes. Dos empresas que actualmente consumen un alto volumen de trozos de yuca negocian la cantidad de acuerdo con la disponibilidad y la fijación de precio, el cual debe estar siempre por lo menos un 20 % por debajo del precio del maíz, que es, junto con la soya, su principal materia prima.

Por otra parte, algunas empresas procesadoras de alimentos balanceados están interesadas en los subproductos de la industria de almidones, como la fibra (afrecho) y la proteína (mancha) derivados del proceso de extracción del almidón. Esto representa una oportunidad de diversificar y añadir valor a estos residuos de las almidoneras y rallanderías.

En la tabla 1.7, se presentan estimaciones de la demanda insatisfecha de raíces de yuca para procesos agroindustriales a partir de variedades amargas. Para calcular estos valores se utilizaron los siguientes criterios: a) la pérdida del área cosechada de yuca en el Cauca por la sustitución por cultivos ilícitos; b) la estimación del área requerida para satisfacer la demanda de empresas con capacidad de procesamiento subutilizada, y c) la cantidad de

raíces requeridas para abastecer nuevas unidades de procesamiento, que están en proceso de fabricación (p. ej., Almidones de Sucre), entre otros.

Tabla 1.7. Demanda insatisfecha de yuca para cada segmento agroindustrial en Colombia

Segmento	Hectáreas de yuca	Toneladas de raíces de yuca
Almidón nativo	12.000	216.000
Almidón agrio	4.500	81.000
Balanceados	3.400	61.200
Total	19.900	358.200

Fuente: Elaboración propia

El análisis derivado de este estudio muestra que se debe triplicar el área de siembra de yuca de variedades amargas en Colombia. Para lograr esto, el país debe superar barreras tales como el bajo acceso o disponibilidad de tierras, la baja disponibilidad de material de siembra de alta calidad de yuca, la baja rentabilidad de los sistemas actuales de producción de yuca industrial, la baja confianza comercial entre productores e industria, la baja tecnificación (uso de variedades mejoradas, mecanización, etc.), la estacionalidad de la producción (todos los productores siembran y cosechan en las misma épocas, lo que genera escasez o saturación del mercado en la misma época del año, respectivamente), la sustitución del cultivo de yuca por el de hoja de coca, entre otras.

Adicionalmente, se debe prever que los escenarios de mercados son dinámicos. Nuevas circunstancias locales y globales pueden modificar la dinámica de producción y comercialización de los productos obtenidos a partir de raíces frescas de yuca. Una de las principales maneras de competir con las importaciones es reduciendo los costos de producción de raíces frescas. Actualmente los costos de producción promedio son de \$360.000/t. Si se pretende competir con el almidón importado, se deberían reducir estos costos de producción a \$200.000, y, para lograrlo, es necesario superar las barreras antes presentadas.

Demandas en el sistema productivo de yuca que deben ser abordadas desde la investigación

Desde el eslabón primario, a nivel nacional se han identificado 325 demandas en los sistemas productivos de yuca, que deben ser respondidas para abordar el desafío tan importante de ampliar las áreas y la capacidad de producción de yuca a nivel nacional (figura 1.5). Los esfuerzos realizados a nivel técnico que han permitido llegar a recomendaciones o tecnologías deben avanzar para llegar a ser apropiados socialmente en los campos. Esto es esencial, especialmente en áreas de investigación como el manejo sanitario de los cultivos, el manejo integral del sistema productivo, el manejo de suelos y aguas, etc. Por otra parte, la investigación enfocada en estrategias de agregación debe continuar y pasar a emprendimientos comerciales que permitan vincular ciencia y tecnología con el mercado. Esto también es evidente en las más de treinta demandas que hacen parte de la línea de socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial. Finalmente, y como se ha descrito anteriormente, la disponibilidad de material de siembra de alta calidad, además del desarrollo y acceso a nuevos cultivares, debe ser una línea fuerte que, guiada por procesos de transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación, permita a los productores yuqueros apropiar estas tecnologías en sus campos.

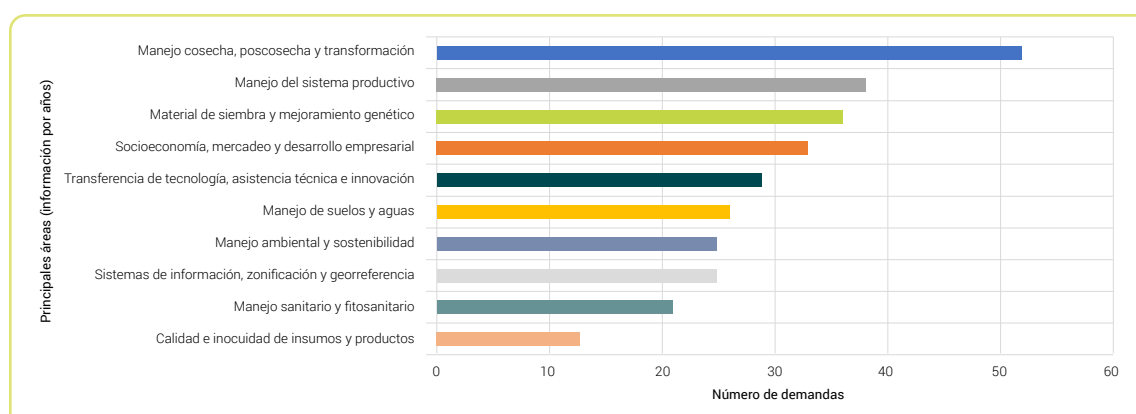


Figura 1.5. Demandas identificadas en el sistema productivo de yuca en las diferentes áreas de investigación.

Fuente: Portal Siembra (2022)

Capítulo 2.

Área de cultivo y localidades de evaluación de genotipos de yuca

Elvia Amparo Rosero Alpala, Lizbeth Pino Durán

El cultivo de yuca en Colombia

El cultivo de yuca en Colombia ha mostrado una alta relevancia social y económica en todo el territorio nacional. En los últimos años, el área del cultivo de yuca a nivel nacional ha sobrepasado las 200.000 ha, siendo la región Caribe el mayor productor de yuca en el país. A su vez, los departamentos de Bolívar, Magdalena, Sucre y Córdoba son los mayores productores en la región Caribe, y también se resalta su participación a nivel nacional (figura 2.1). En seguida, se ubica la región Andina, donde el cultivo de la yuca se adapta desde los 800 hasta los 2.200 m s. n. m., encontrándose en climas medios a cálidos. Finalmente, las regiones de la Orinoquía y la Amazonia cuentan con menores áreas del cultivo, sin embargo, no se desconoce su importancia para la seguridad alimentaria de las comunidades locales y las ciudades cercanas a estas regiones; especialmente se resalta la región de la Orinoquía como principal proveedor de la yuca que se consume en la capital del país y de la yuca procesada como parafinada, congelada, en croquetas, etc.

Consistentemente con la distribución regional y departamental en cuanto al área de producción (área sembrada), las áreas cosechadas y de producción en el Caribe alcanzaron 112.624 ha y 1.234.945 t de raíces frescas, lo que contribuye en un alto porcentaje del total del área cosechada en Colombia (198.871 ha), cuya producción alcanzó en el 2021 un total de 2.263.816 t (tabla 2.1).

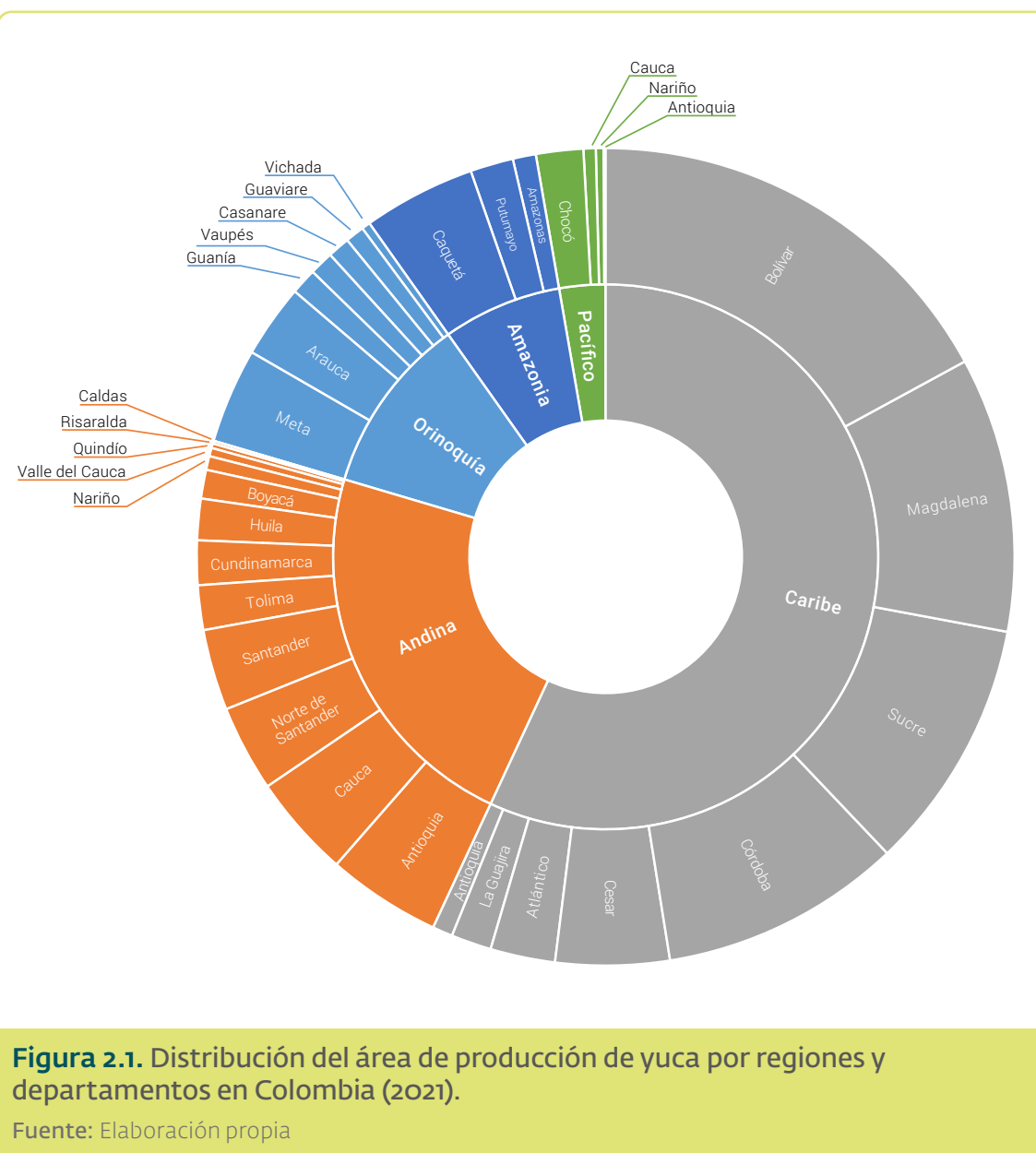


Tabla 2.1. Área sembrada, área cosechada, producción de raíces frescas y rendimiento de la yuca a nivel departamental (2021)

Región	Departamento	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Amazonía	Amazonas	1.928	1.825	14.635	8
	Caquetá	9.422	7.990	56.645	8
	Putumayo	3.602	3.555	25.295	8
	Subtotal	14.952	13.370	96.576	8
Andina	Antioquia	9.528	9.289	120.431	12
	Boyacá	2.401	2.298	20.005	8
	Caldas	23	21	233	11
	Cauca	8.609	8.420	137.976	12
	Cundinamarca	3.716	3.526	38.997	11
	Huila	3.460	3.283	22.753	7
	Nariño	1.153	1.122	6.738	7
	Norte de Santander	7.221	6.975	93.401	12
	Quindío	379	364	6.445	14
	Risaralda	223	222	1.440	9
	Santander	6.779	6.559	90.507	13
	Tolima	3.731	3.653	34.606	10
	Valle del Cauca	699	610	8.699	13
	Subtotal	47.921	46.343	582.229	11
Caribe	Antioquia	1.691	1.591	20.956	12
	Atlántico	5.412	4.996	48.379	10
	Bolívar	36.101	32.424	305.580	10
	Cesar	9.520	8.935	100.066	12
	Córdoba	20.239	19.716	240.910	12
	La Guajira	3.369	3.165	31.009	11
	Magdalena	22.995	21.626	258.645	11
	Sucre	21.092	20.172	229.399	12
	Subtotal	120.418	112.624	1.234.945	11
Insular	San Andrés, Providencia y Santa Catalina	12	12	121	10
	Subtotal	12	12	121	10

Orinoquía	Arauca	6.148	5.943	117.612	18
	Casanare	1.853	1.727	17.448	9
	Guainía	2.184	2.162	16.874	9
	Guaviare	1.582	1.558	14.904	9
	Meta	7.941	7.790	127.583	14
	Vaupés	2.011	1.719	9.242	8
	Vichada	715	708	6.313	7
	Subtotal	22.434	21.607	309.976	12
Pacífico	Antioquia	95	92	736	8
	Cauca	1.026	902	4.464	4
	Chocó	3.948	3.226	28.456	8
	Nariño	640	631	5.857	7
	Valle del Cauca	70	65	455	7
	Subtotal	5.779	4.916	39.969	8
Total general		211.516	198.872	2.263.816	11

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la distribución porcentual de la contribución de cada región en el total del área sembrada y la producción de raíces frescas en Colombia se muestra en las figuras 2.2a y 2.2b. A pesar de la importancia del cultivo en todos los departamentos de Colombia, se observa que la vocación para el cultivo es diferente entre departamentos y regiones, encontrándose diferencias substanciales en los promedios de rendimiento (figura 2.2c). Mientras que regiones con mayor vocación, como el Caribe, la región Andina y la Orinoquía, presentaron un promedio superior a 11 t/ha, las regiones que cultivan yuca en ambientes aún más tradicionales, como el Pacífico y la Amazonia, presentan promedios de rendimiento alrededor de 7 t/ha.

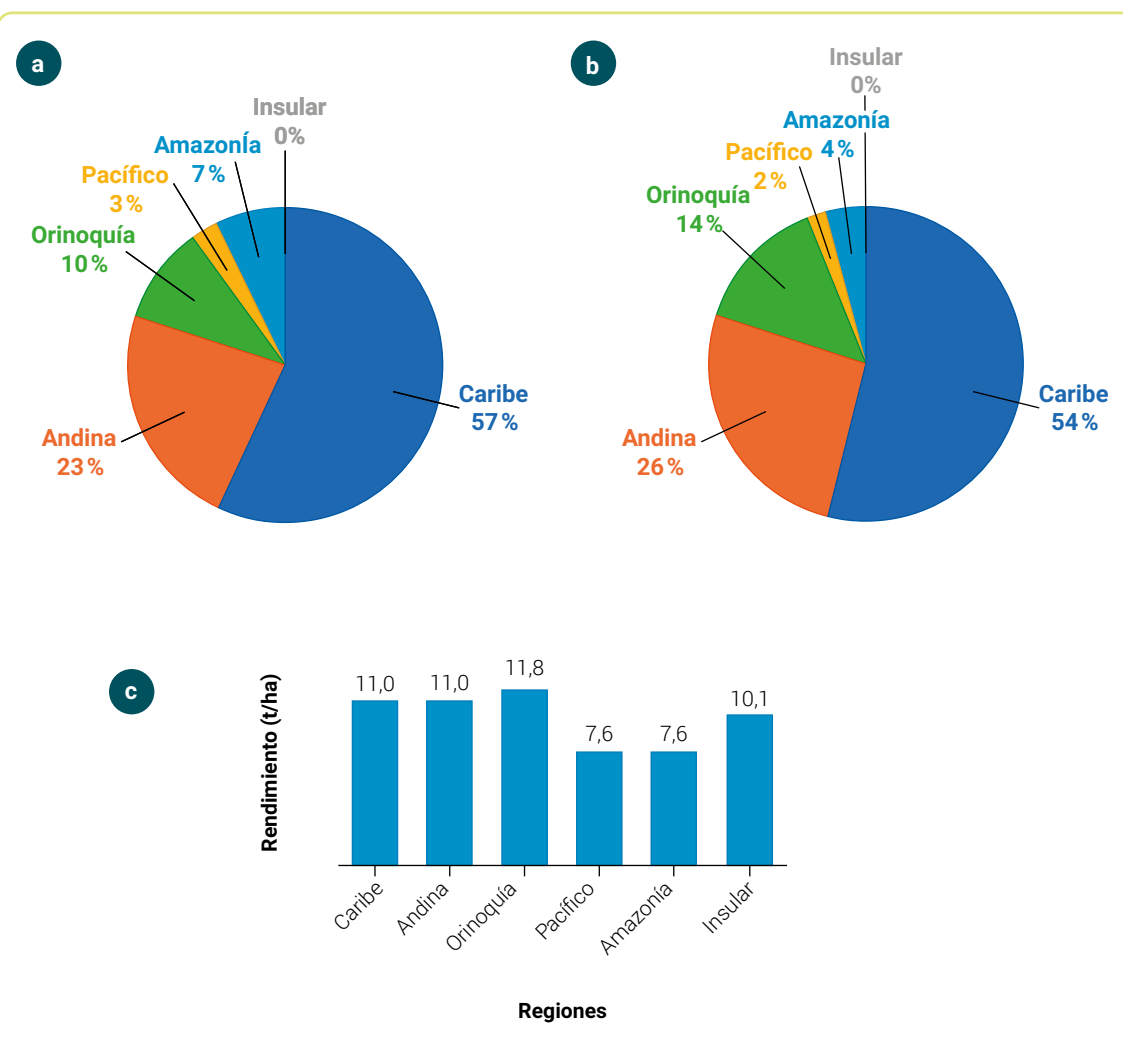


Figura 2.2. Distribución del área cultivada, producción y rendimiento del cultivo de yuca en las regiones naturales de Colombia en el 2021. a. Área sembrada; b. Producción total; c. Rendimiento promedio obtenido en cada región.

Fuente: Elaboración propia

Dinámica de la producción del cultivo de yuca por regiones naturales

El cultivo de yuca durante los últimos quince años ha tenido una dinámica posiblemente ligada a las condiciones ambientales y de mercado; sin embargo, se resalta que en todos los años el total del área sembrada ha sido superior a las 200.000 ha. Sin embargo, en varios años el área cosechada fue significativamente inferior, fenómeno que responde a factores ambientales que afectaron el cultivo. Estas significativas pérdidas en áreas cultivadas repercutieron directamente en la producción total de raíces frescas a nivel nacional (figura 2.3).

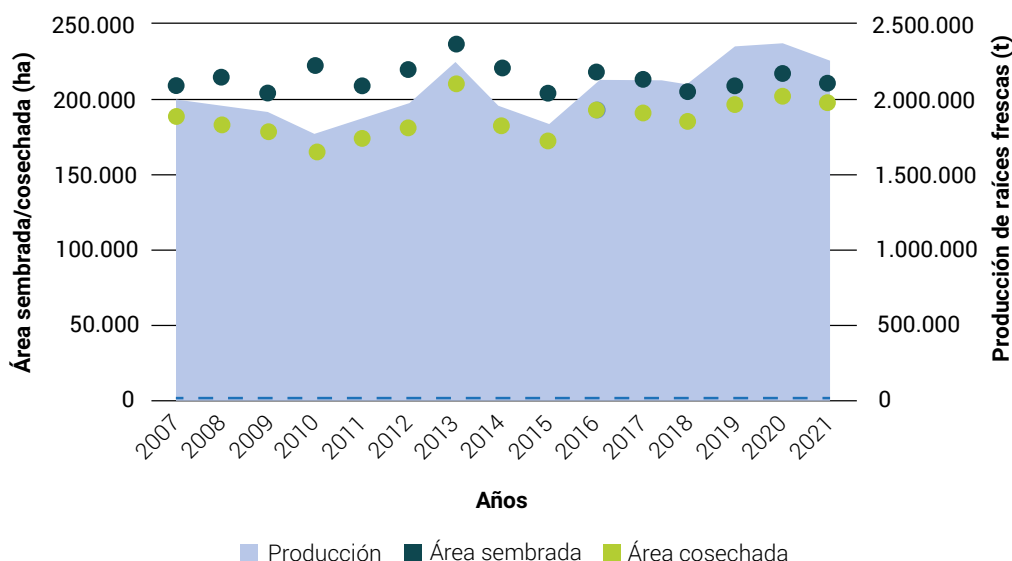


Figura 2.3. Dinámica en el área sembrada, el área cosechada y la producción de raíces frescas de yuca en Colombia durante los últimos quince años.

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la dinámica observada del cultivo de la yuca en las principales regiones productoras durante los últimos quince años evidenció que en general en Colombia esta fue altamente influenciada por la dinámica local en la región Caribe (figura 2.4a). El descenso significativo del área cosechada versus el área sembrada durante los años 2019-2020 estuvo ligado a la extrema sequía vivida durante esos años en esta región. Por otra parte, la región Andina ha mostrado una consolidada estabilidad, donde se resalta la mayor producción de raíces frescas, en la misma área sembrada y cosechada, durante los años 2018-2021 (figura 2.4b). Finalmente, la región de la Orinoquía ha mostrado una gran inestabilidad durante los últimos años; a pesar de esto, se resalta su contribución, con más de 15.000 ha. Los descensos observados alrededor del año 2019 se debieron a la alta incidencia de la enfermedad denominada cuero de sapo, que causó la reducción del área sembrada debido a la escasez de material de siembra con calidad asegurada y, por lo tanto, se registró una menor producción (figura 2.4c).

Por otra parte, las regiones Pacífico y Amazonia, aunque presentan una limitada contribución en cuanto al área sembrada, el área cosechada y la producción, se ha observado una dinámica creciente en los últimos años, lo que indica un incremento en el consumo, que fortalece el sistema de cultivo de estas regiones (figuras 2.5a y 2.5b). El consumo de yuca en estas regiones actualmente se está dando por el consumo de yuca fresca, pero también como materia prima para la extracción de almidón fermentado.

Finalmente, la región Insular, aunque con pequeñas áreas, en el año 2012 ingresó a las estadísticas agropecuarias, y su dinámica muestra una tendencia de crecimiento en los últimos años (figura 2.6).

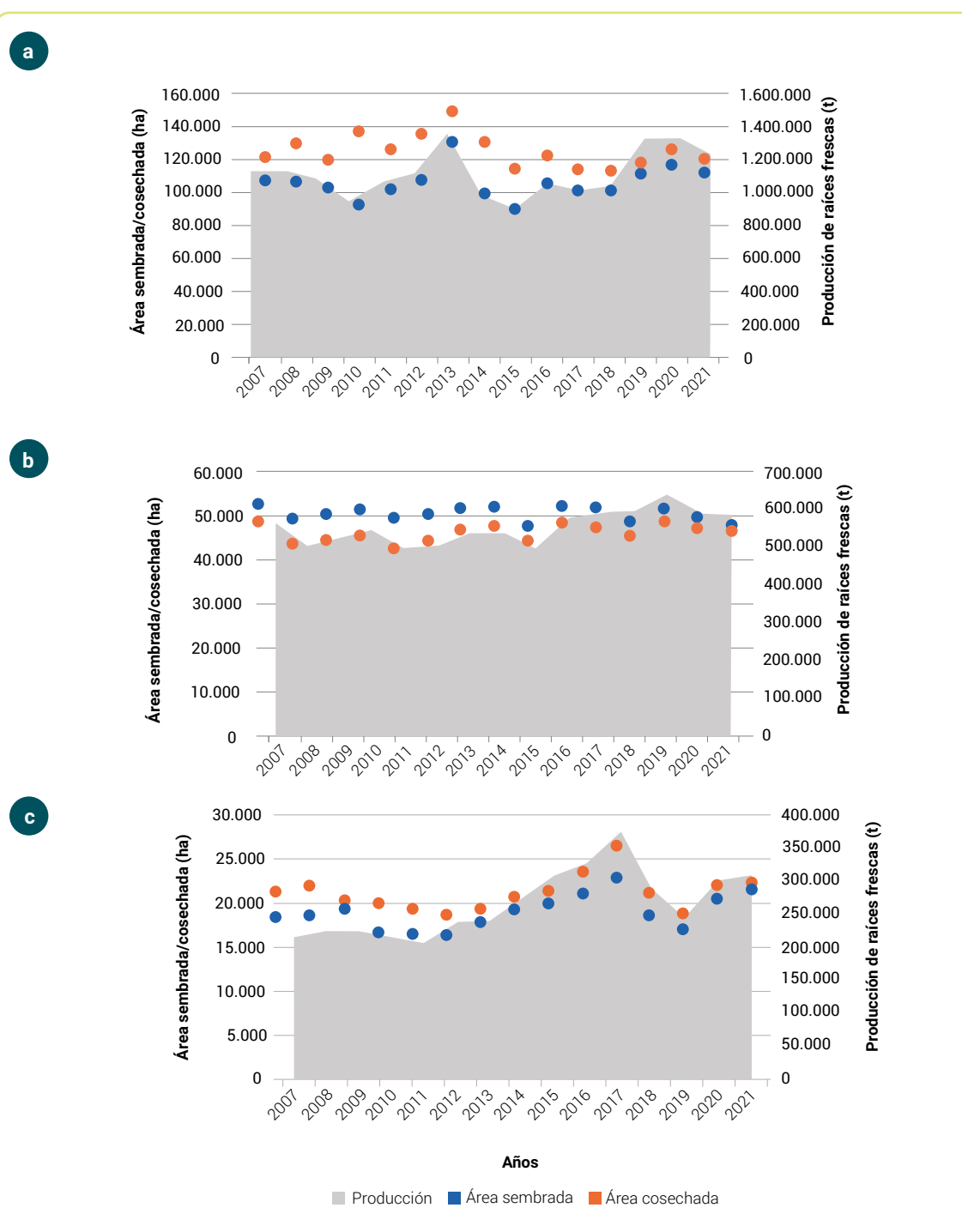


Figura 2.4. Dinámica de los últimos quince años en la producción de yuca en las tres regiones más importantes en Colombia. a. Región Caribe; b. Región Andina; c. Región Orinoquía.

Fuente: Elaboración propia

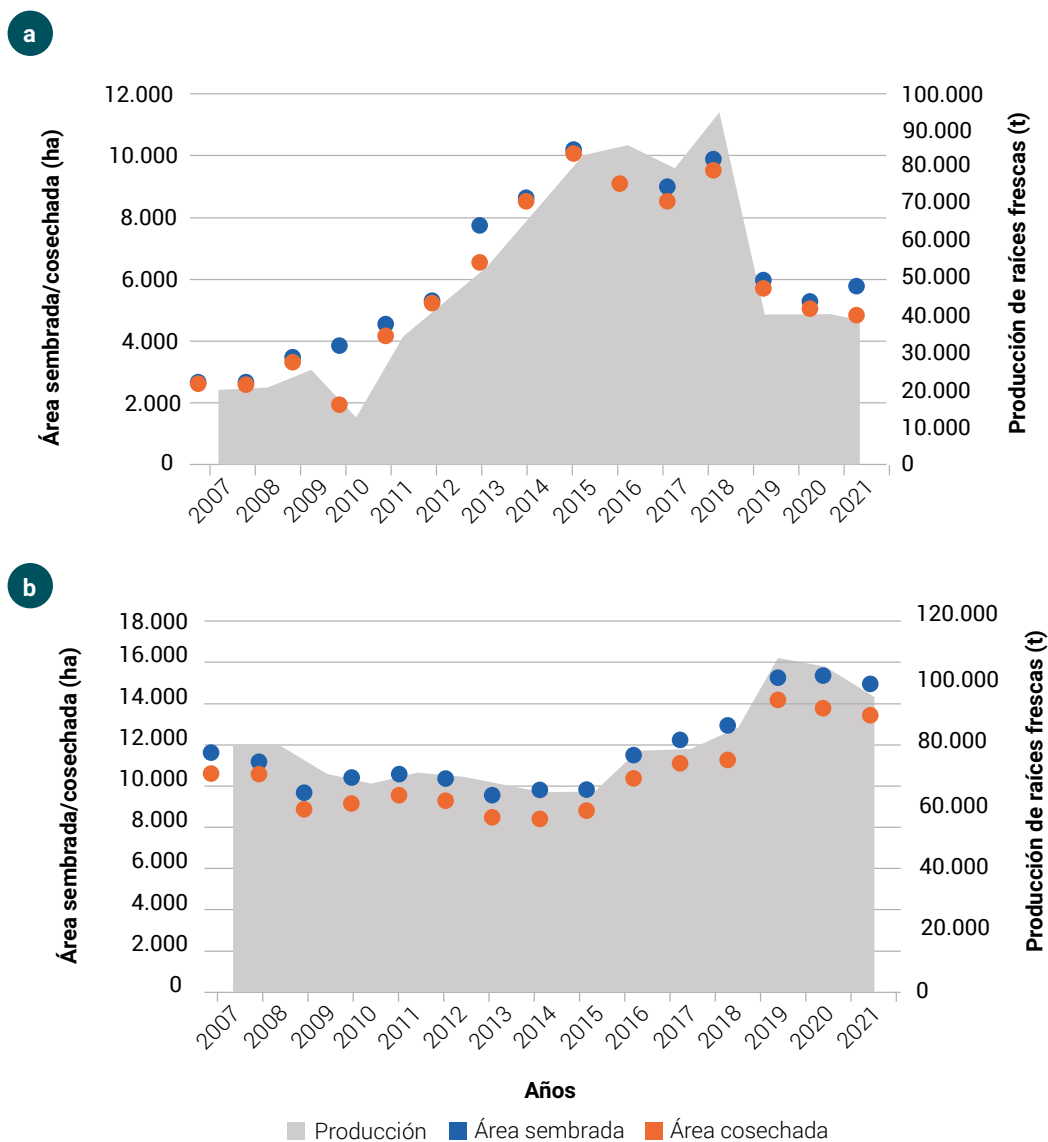


Figura 2.5. Dinámica de los últimos quince años en la producción de yuca en las dos regiones menos productoras en Colombia. a. Región Pacífico; b. Región Amazonia.

Fuente: Elaboración propia

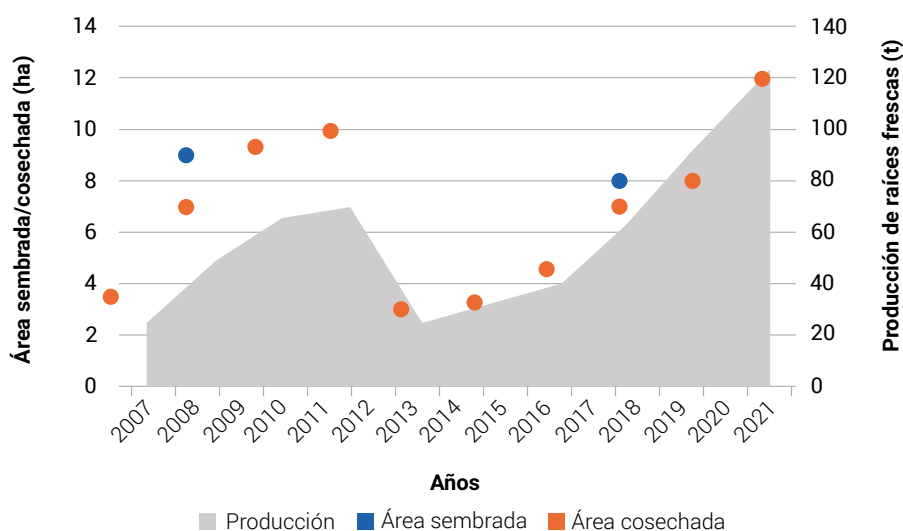


Figura 2.6. Dinámica de los últimos quince años en la producción de yuca en la región Insular de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Vocación del cultivo de yuca según su uso en Colombia

Frente a la vocación del cultivo de la yuca, se han identificado dos usos principales: a) consumo en fresco y b) uso industrial. Estos segmentos principales del cultivo han sido usados por la estadística agropecuaria para hacer seguimiento a la dinámica del cultivo a través del tiempo. El panorama actual de la yuca en Colombia muestra que su mayor parte es destinada a la yuca de consumo en fresco, representada en cerca de 200.000 ha sembradas en el 2021, con una producción de 2.000.000 t de raíces frescas, y se encuentra distribuida en diferentes magnitudes en todas las regiones naturales de Colombia (tabla 2.2). Por su parte, la yuca industrial, que generalmente se usa para la producción de almidón nativo, almidón fermentado y *chips* secos de yuca, representa alrededor de 12.000 ha, con

una producción de más de 200.000 t de raíces frescas, y se ubica principalmente en la región Caribe y la región Andina (departamento del Cauca).

Tabla 2.2. Área sembrada, área cosechada, producción de raíces frescas y rendimiento de la yuca según su vocación de uso (2021)

Uso/departamento	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Yuca de consumo fresco				
Amazonía	14.952	13.370	96.575	7
Andina	44.241	42.720	520.951	11
Caribe	111.581	104.030	1.076.790	10
Insular	12	12	121	10
Orinoquía	22.433	21.606	309.975	12
Pacífico	5.779	4.915	39.968	7
Subtotal	199.000	186.655	2.044.382	10
Yuca de uso industrial				
Andina	3.679	3.622	61.278	16
Caribe	8.836	8.594	158.155	17
Subtotal	12.515	12.216	219.433	17

Fuente: Elaboración propia

La yuca de consumo fresco, al hacer parte en más del 90% de la producción nacional de yuca, representa una dinámica similar a través del tiempo que la presentada anteriormente. La yuca industrial ingresó a la estadística agropecuaria en el año 2010, y desde entonces ha tenido una tendencia creciente. A nivel de regiones, en el Caribe se registraron las primeras áreas sembradas de yuca industrial con una tendencia creciente y más adelante ingresó la región Andina, que, aunque inició con un área reducida de siembra, la ha ido incrementando a través del tiempo (figura 2.7). Durante los años 2014-2016, se registró un área sembrada con yuca industrial en la Orinoquía, sin embargo, en años posteriores su cultivo dejó de ser registrado. Situación similar se presentó en la región Pacífico durante el año 2016. De esta forma, solamente las regiones Caribe y Andina han permanecido en el cultivo de yuca industrial, demostrando incluso una tendencia creciente a través del tiempo. Sin embargo, situaciones de orden público en la región del Cauca han presionado fuertemente la sustitución de la yuca por

cultivos ilícitos durante los años 2020-2022. Esta situación ha creado una demanda insatisfecha de materia prima y ha promovido el establecimiento de rallanderías en la Costa Caribe, así como también el constante transporte de materia prima del Caribe al Cauca, lo que crea desabastecimiento en las industrias almidoneras o procesadoras de yuca seca en el Caribe.

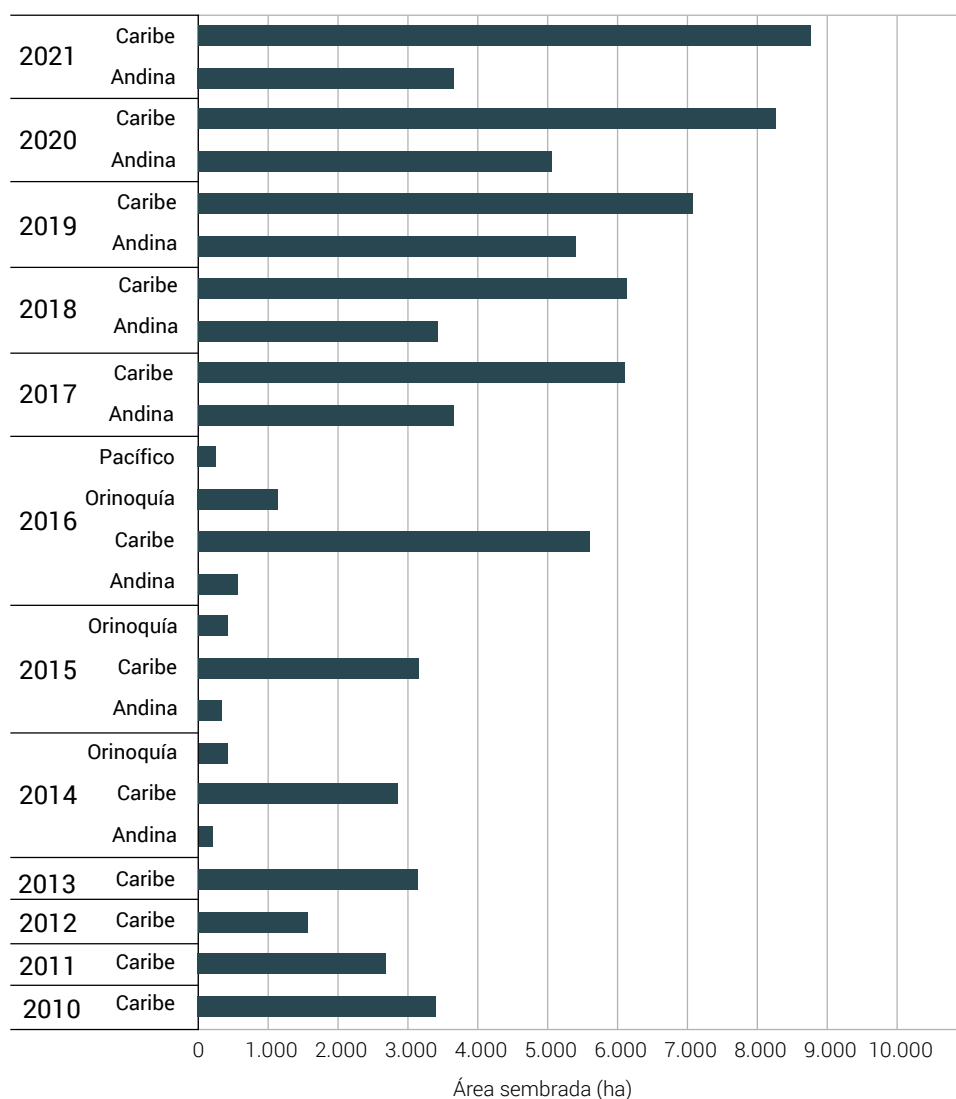


Figura 2.7. Dinámica de los últimos doce años en el área sembrada de yuca industrial en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En general, el rendimiento obtenido en la yuca industrial es superior al reportado en yuca de consumo fresco. Aunque la región Caribe ha reportado promedios superiores a 15 t/ha, la región Andina ha reportado valores incluso menores (figura 2.8). Estas cifras claramente demuestran el gran potencial del cultivo de yuca en estas zonas, que pueden alcanzar promedios superiores (38 t/ha) en sistemas de cultivo que incluyan tecnologías de manejo adecuadas a la zona de producción (variedades mejoradas, fertilización y recomendaciones de manejo del cultivo).

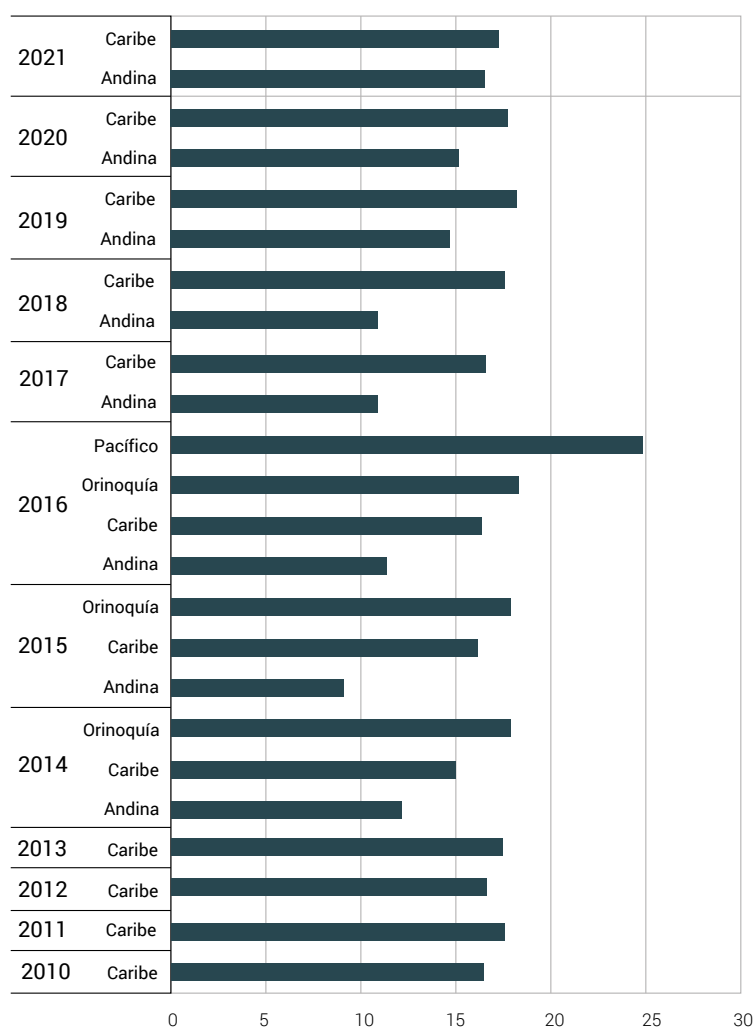
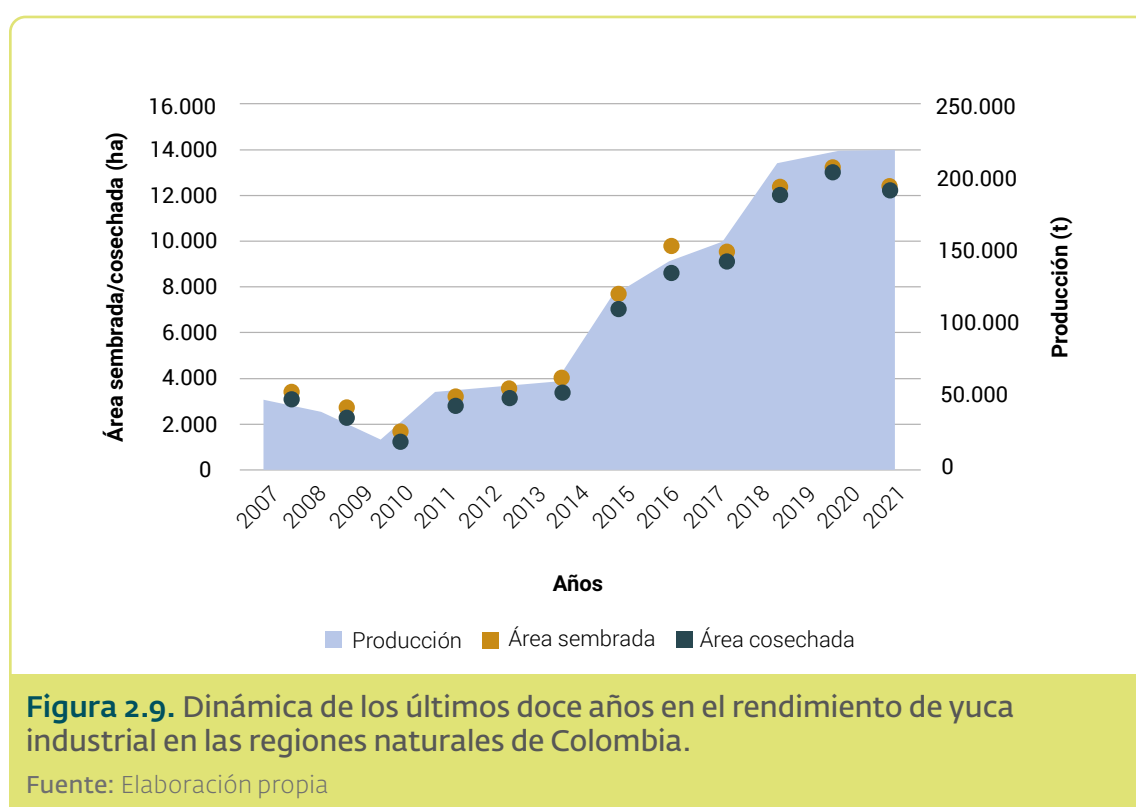


Figura 2.8. Dinámica de los últimos doce años en el rendimiento de la yuca industrial en las regiones naturales de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, un resumen de la dinámica encontrada en términos de área sembrada, área cosechada y producción de yuca industrial se evidencia en la figura 2.9. A partir del inicio del registro de la producción del cultivo de yuca industrial en Colombia, solamente durante el año 2014 se observó un declive en la producción; el resto de los años subsiguientes ha mostrado un crecimiento constante, hasta alcanzar, en el año 2021, un área total sembrada y cosechada superior a 12.000 ha y una producción superior a 2.000.000 t, con un rendimiento promedio de 17,1 t/ha.



Alcance del proceso de mejoramiento genético a nivel de regiones naturales

Conforme a la importancia del cultivo de la yuca a nivel nacional, el desarrollo de variedades mejoradas y de investigación enfocada en este cultivo se ha dado en regiones específicas, con el fin de generar un mayor impacto futuro en el sistema de producción de la yuca en Colombia. Los mayores esfuerzos han estado concentrados en la región Caribe (figura 2.10), inicialmente a través del desarrollo de variedades de consumo fresco y más adelante por medio del desarrollo de variedades de doble propósito.

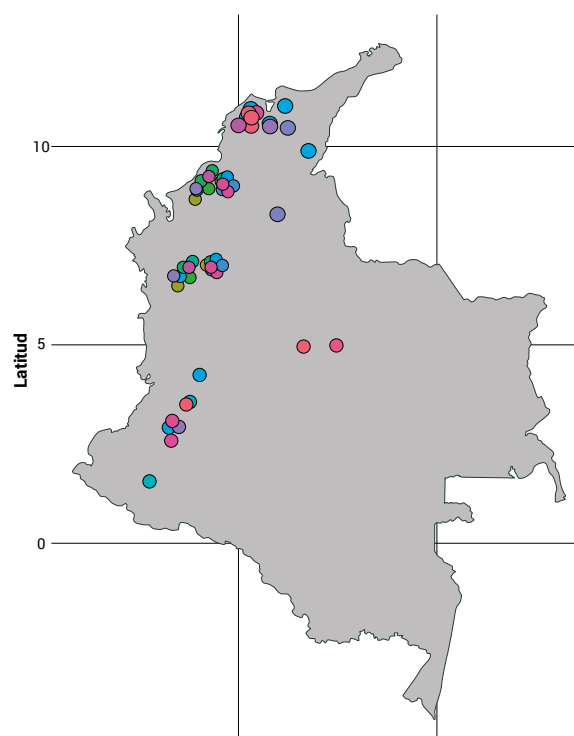


Figura 2.10. Distribución espacial de la investigación enfocada en el desarrollo de variedades mejoradas de yuca en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En los últimos años, se ha hecho especial énfasis en el desarrollo de variedades industriales por parte del CIAT y de AGROSAVIA, para contribuir al fortalecimiento de este eslabón de la cadena de valor de la yuca. Sin embargo, se han realizado importantes esfuerzos en el mejoramiento de la calidad nutricional a través de la evaluación de poblaciones con alto contenido de carotenos en esta región del país, así como también en el desarrollo de variedades con buena calidad culinaria y mejor desempeño agronómico. La siguiente región que ha sido cubierta por los esfuerzos de investigación ha sido la Orinoquía, donde las condiciones agroclimáticas permitirían no solamente la producción de yuca para consumo fresco, sino posibles emprendimientos en yuca industrial para almidón nativo, fermentado o bioetanol. En este escenario, el esfuerzo ha estado concentrado en poblaciones para consumo y variedades industriales.

Por otra parte, la región de Valles Interandinos, donde se ubica el departamento del Cauca, ha llamado la atención, ya que se trata del principal núcleo productor de almidón fermentado del país. Aquí, se han identificado, evaluado y desarrollado variedades con altos rendimientos y con buena calidad de almidón para el proceso de fermentación.

En los últimos años, considerando la importancia de ofrecer alternativas de cultivo en la región Pacífico, los esfuerzos han abordado esta zona del país, permitiendo la evaluación de poblaciones aptas para consumo en fresco y con alta calidad nutricional, y de poblaciones para producción de almidón. En todos los casos, la evaluación bajo las condiciones locales permitirá identificar genotipos que se adapten a condiciones de alta humedad por el régimen de precipitación encontrado en esta región. Recientemente se ha reportado el desarrollo de un protocolo que facilita la selección, entre materiales segregantes, de aquellos que requieren menos tiempo de cocción (un criterio fundamental para que las variedades que se orientan al consumo fresco sean aceptadas) (Tran et al., 2021). Este protocolo facilitará la selección de genotipos de yuca que mejor se ajusten a los requerimientos del mercado para yuca fresca (incluyendo el de exportación de trozos congelados).

Capítulo 3.

Proceso de mejoramiento genético para la obtención de variedades de yuca registradas en Colombia

Hernán Ceballos Lascano, Elvia Amparo Rosero Alpala, Sandra Milena Salazar Erazo, Nelson Morante Herrera, Lizbeth Pino Durán, Eberto Rodríguez Henao, Fernando Calle Calle, Jorge Iván Lenis Calderón

Citotaxonomía, diversidad, comportamiento floral y técnicas de hibridación

La especie *Manihot esculenta* Crantz pertenece al género *Manihot* y a la familia Euphorbiaceae. Tres subespecies han sido reconocidas: *M. esculenta* subsp. *esculenta*, la cual es domesticada e incluye a todos los cultivares conocidos como cultivo; la silvestre *M. esculenta* subsp. *peruviana*, encontrada en el oriente del Perú y occidente del Brasil, y la silvestre *M. esculenta* subsp. *flabellifolia*, que muestra amplia distribución desde la zona central del Brasil hasta la Amazonia venezolana. La amplia distribución de las dos especies silvestres hace difícil la asignación de un origen de domesticación (Allem, 1994), asimismo su origen como especie es aún desconocido. La yuca es una especie funcionalmente diploide, $2n = 2x = 36$ (Nassar & Ortiz, 2008), aunque se ha sugerido que ciertas porciones del genoma pueden estar duplicadas y, por lo tanto, la yuca puede tratarse como un alotetraploide segmental (Magoon et al., 1969). La yuca es una especie altamente diversa, en la cual se reconoce que solo un tercio de su diversidad se encuentra conservada en colecciones *ex situ*. La más grande colección se encuentra custodiada por el CIAT, donde se alberga alrededor de 6.500 accesiones; seguida por la de Embrapa, con 4.000, y la del International Institute of Tropical Agriculture (IITA), con cerca de 3.700 accesiones.

La yuca es una especie monoica. Las flores femeninas abren normalmente entre 10 y 14 días antes que las masculinas, que se encuentran en el mismo racimo floral; pero la autofecundación puede suceder en flores de diferentes racimos florales o racimos provenientes de diferentes plantas. La autopolinización y la polinización cruzada son mecanismos para la producción de poblaciones segregantes; sin embargo, dependen del genotipo, el diseño de la plantación y el tipo de insectos polinizadores presentes. En general, las plantas con mayores niveles de ramificación presentan mayor habilidad en la producción de inflorescencias, mientras que plantas de hábito erecto carecen de estructuras florales (Jennings & Iglesias, 2002).

Esta característica es importante en la floración de la yuca, ya que está estrechamente ligada con la ramificación en la planta. Cuando se inicia el primordio floral, inmediatamente se activa el desarrollo de ramas por debajo de él. En el primer evento de floración (que puede ocurrir entre los 3 y 12 meses después de la siembra, dependiendo de la variedad), las ramas asumen una fuerte dominancia apical, “ahogando” el desarrollo de la inflorescencia, a la que generalmente aborta sin generar frutos ni semillas. A partir del segundo evento de floración (que generalmente ocurre entre 30 y 60 días luego del primero), las inflorescencias pueden competir con las ramas que se desarrollan por debajo de ellas y, por lo tanto, pueden eventualmente producir frutos y semillas. Dependiendo de cuán pronto se inicia la floración y de cuántas veces la planta florece durante su desarrollo, se pueden presentar plantas con ramificaciones bajas (a unos 30 cm del suelo) y frecuentes (cada 30-50 cm), lo que resulta, o bien en plantas muy ramificadas, o bien en plantas que no florecen y por lo tanto presentan un porte totalmente erecto. La figura 3.1 ilustra genotipos contrastantes de yuca en relación con su arquitectura y hábito de crecimiento.

Desde el punto de vista botánico, las flores de yuca, así como las de otras especies de euforbiáceas, son de tipo inflorescencia. Las flores de yuca son en realidad apétalas, y lo que pareciera ser tépalos (fusión de sépalos y pétalos) es en realidad brácteas. Las flores masculinas están reducidas a un solo estambre, pero, contrario a lo que sucede con las flores femeninas, se fusionan entre sí para producir una inflorescencia de diez flores, cada una con un estambre (figura 3.2). En otras palabras, lo que normalmente se llama “flores” masculinas es en realidad una inflorescencia, conocida como *ciato*, que está protegida por brácteas y bracteólas. Las flores femeninas con un ovario trilocular también son llamadas *ciatos*.



Figura 3.1. Ilustración de arquitectura de planta y niveles de ramificación. a. Clon de yuca con inicio de floración temprana y numerosos eventos de floración, que condujeron a una arquitectura altamente ramificada; b. Porte erecto de un clon que aún no ha florecido y, por lo tanto, no ha ramificado.

Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Los agricultores claramente prefieren variedades erectas, que no ramifican. Lamentablemente, la ausencia o una reducida ramificación implica también ausencia o limitada floración. Teniendo en cuenta que el hábito de crecimiento (niveles de ramificación y por tanto número de eventos de floración durante el desarrollo de la planta) es altamente heredable, esto representa un serio problema para el mejoramiento genético de la yuca. Los genotipos más deseables (por su arquitectura erecta) son los más difíciles de cruzar. Afortunadamente se han logrado avances importantes en la manipulación e inducción temprana de la floración en genotipos erectos de yuca. Colombia ha sido pionera en estos progresos, que dependen de una inducción temprana de la floración en cultivares recalcitrantes mediante la extensión del fotoperiodo (figura 3.3), apoyada por la poda de primordios de ramas, lo que fortalece la dominancia apical de la inflorescencia, con un marcado aumento del número de flores y semillas que pueden obtenerse en el primer evento de floración (figuras 3.4 y 3.5) (Pineda, et al., 2020; Pineda, Morante et al., 2020).



Figura 3.2. Morfología de estructuras florales en la yuca. a. Flor femenina; b. Flor masculina; c. Primordio de inflorescencia, que ilustra la fuerte dominancia apical de las ramas que se desarrollan por debajo suyo; d. Típica inflorescencia del segundo o tercer evento de floración; e. Ejemplo de inducción de floración combinada con la poda de ramas, que ilustra la profusión de flores en el primer evento de floración comparada con la fotografía c; f. Producción de frutos a partir del primer evento de floración (posible gracias a la poda de las ramas por debajo de la inflorescencia), el cual generalmente es estéril debido al temprano aborto de la inflorescencia.

Fotos: Marcela Pineda y Hernán Ceballos Lascano

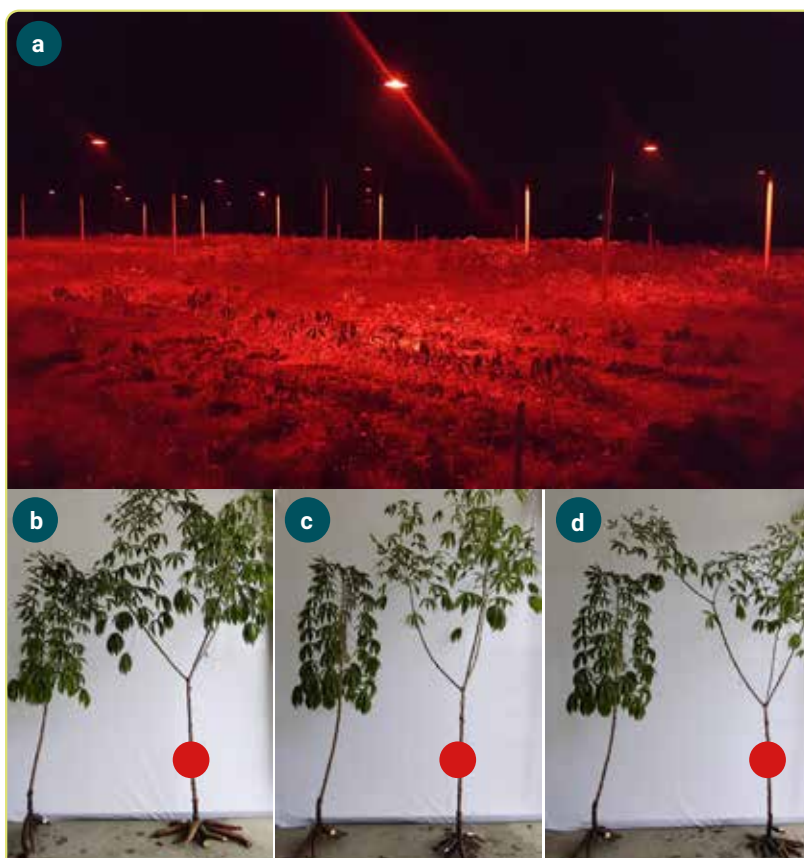


Figura 3.3. Extensión del fotoperiodo a través de la exposición de las plantas a luz roja durante la noche. a. Plantas expuestas a luz roja como mecanismo de extensión del fotoperiodo; b, c, d. Efecto de la extensión del fotoperiodo (plantas en la derecha de cada fotografía) en la variedad Verónica.

Fotos:
Hernán Ceballos Lascano

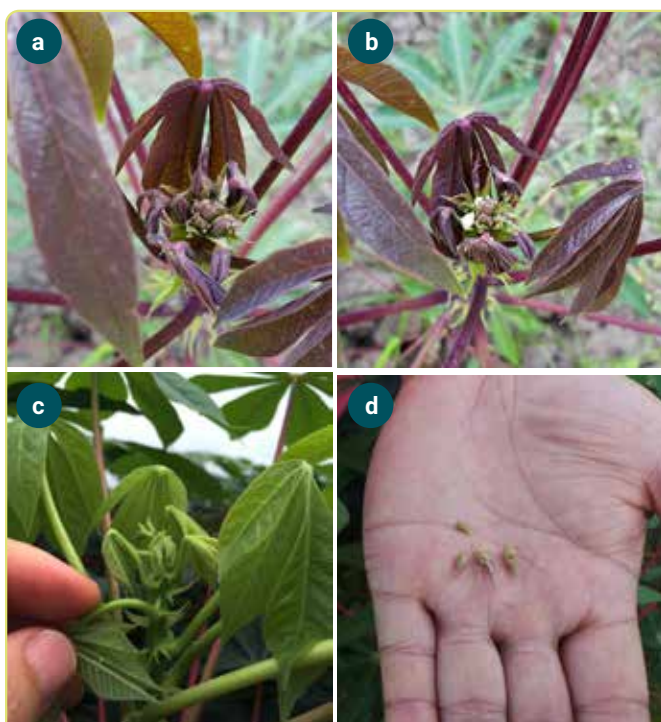


Figura 3.4. Poda de primordios de ramas para inducir dominancia apical de los primordios florales. a. Antes de la poda; b. Después de la poda; c. Aspecto globular del cogollo una vez que la floración ha iniciado; d. Tamaño de las ramitas recién podadas.

Fotos: Hernán Ceballos Lascano



Figura 3.5. Efecto de la poda de primordios de ramas sobre la inducción de inflorescencias, número de flores y formación de frutos. a. GM 971-2 sin podar; b. GM 971-2 podada; c. Flores hermafroditas; d. floración inducida en genotipo SM 4000-17; e. estimulación en la formación de frutos en el genotipo SM 3348-29.

Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Posterior a la polinización y subsecuente fertilización, el ovario se desarrolla para formar el fruto, el proceso hasta llegar a la madurez toma aproximadamente tres meses. El fruto tiene de 1,5 a 2,0 cm de diámetro, y es una cápsula dehiscente y trilobular de forma ovoide o globular con seis aristas longitudinales estrechas y prominentes (figura 3.6). La cápsula es dura, con tres lóculos, en cada uno de los cuales se forma una semilla. Las semillas, que tienen forma elíptica, pueden ser café o gris con moteado negro o café; el color depende del progenitor femenino.



Figura 3.6. Frutos y semillas de yuca. a. Racimo de frutos con llenado completo; b. Corte transversal de fruto mostrando la disposición de las semillas viables; c. Frutos dehiscentes.

Fotos: Nelson Morante Herrera

Producción de semilla sexual de yuca en el CIAT

Para la producción de semilla sexual de yuca, el CIAT usa dos vías, las cuales se describen a continuación:

Cruzamientos controlados

Para cruzamientos controlados, se siembran de 10 a 20 plantas por genotipo seleccionado como parental. Cuando inicia la floración de los genotipos (típicamente se espera a la segunda floración), comienza la polinización manual. En horas de la mañana se escogen las flores femeninas, para ello se cubren con bolsas de tela (20 × 25 cm), con el objetivo de protegerlas de polen extraño. Las flores masculinas que van a abrir en ese mismo día son colectadas por la mañana (antes de su antesis) y conservadas en frascos de plástico o de vidrio identificados con el nombre del parental. La polinización se lleva a cabo descubriendo las inflorescencias femeninas y frotando suavemente las anteras con el polen sobre el estigma de la flor femenina. Esta operación se realiza luego del mediodía. Con una flor masculina se pueden polinizar hasta tres flores femeninas, dependiendo de la variedad, la cantidad y la calidad del polen que estas produzcan. Luego de efectuada la polinización, los racimos de flores se identifican con un marbete, en el cual se anotan los datos del cruzamiento: madre, padre, la fecha y el número de flores polinizadas (figura 3.7).

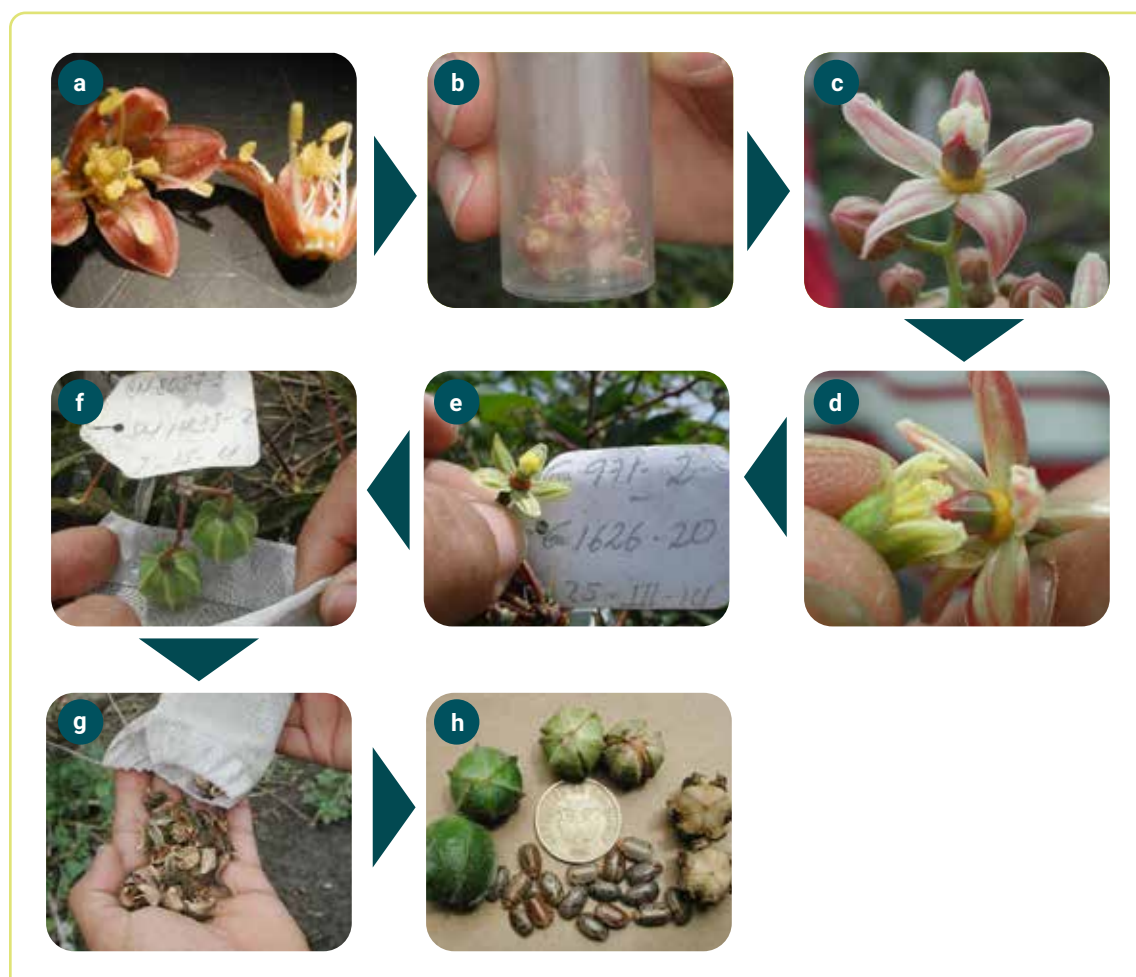


Figura 3.7. Proceso de polinización y producción de semilla híbrida o autofecundada en yuca. a. Flores masculinas con polen viable; b. Flores masculinas colectadas aptas para fecundar; c. Flor femenina receptiva; d. Proceso de emasculación usando flores masculinas previamente colectadas; e. Flor femenina polinizada con marcación realizada para identificar el cruzamiento, fecha y número de flores polinizadas (se observa el polen de color amarillo depositado en el estigma); f. Cobertura de frutos para evitar caída de semillas dehiscentes; g. Semillas colectadas en bolsa para posterior colecta; h. Semillas limpias listas para establecimiento en invernadero.

Fotos: Nelson Morante Herrera

Cruzamientos abiertos o libre polinización (policruzamientos)

Para la siembra de lotes de policruzamientos se usa el método más común, que es plantar una mezcla de clones seleccionados en bloques aislados. En este caso, la polinización es abierta y libre, donde intervienen los polinizadores naturales bióticos, principalmente abejas y abejorros (los abióticos son prácticamente inexistentes). Cuando ya se ha producido la polinización y hay formación de frutos, aproximadamente dos meses después de la fecundación, los racimos de frutos son cubiertos con una bolsa de tela, para evitar la pérdida de semillas, ya que el fruto es dehiscente. En este caso, se colectan las semillas de plantas individuales, manteniendo el registro del progenitor femenino (figura 3.8).



Figura 3.8. Frutos obtenidos en policruzamientos. a. Frutos secos sin marcación y producidos naturalmente por la planta; b. Frutos previamente cubiertos con malla de protección para evitar la caída de semillas por dehiscencia.

Fotos: Nelson Morante Herrera

En el caso de la polinización abierta, únicamente el progenitor femenino es conocido, y la fuente de polen es una mezcla proveniente de un grupo de clones conocidos. Las progenies que resultan de la polinización abierta de un progenitor femenino conocido son hermanos medios. Las plantas dentro de una familia de hermanos medios comparten similitudes fenotípicas entre sí, pero en menor medida que en el caso de hermanos completos, provenientes de cruzamientos controlados, en los que se conocen ambos progenitores.

Objetivos del mejoramiento genético, criterios de selección y su aporte en el mejoramiento del cultivo de yuca

El objetivo del mejoramiento genético de la yuca está basado principalmente en la adaptación de los genotipos a diferentes ambientes y al mercado para el que está dirigido (usos potenciales); sin embargo, existen características comunes clave para el mejoramiento de los distintos perfiles de productos finales: alto rendimiento de raíces frescas (RRF), alto y estable contenido de materia seca (CMS), tipo de planta deseable (TPD) y baja afectación de plagas y enfermedades endémicas.

Las condiciones ambientales afectan la expresión fenotípica de algunas características, particularmente de aquellas con baja heredabilidad. Parámetros productivos como el rendimiento son características típicamente poligénicas: son altamente afectadas por el ambiente y controladas por un gran número de genes, cada uno de los cuales tiene un impacto individual pequeño en la expresión del carácter. Por lo tanto, para una adecuada selección de genotipos promisorios, se deben realizar evaluaciones multilocales, que permiten descomponer dicha característica en términos de los efectos genéticos, ambientales y de la interacción del genotipo con el ambiente. En yuca, características como el RRF, el CMS y el TPD son altamente influenciadas por el ambiente (en orden decreciente, siendo mucho más relevante en el RRF que para el TPD), y su expresión en gran parte responde a la interacción (generalmente significativa) de genotipo $\times$ ambiente (Boakye et al., 2013; Kvitschal et al., 2006; Lahai et al., 2013; Okechukwu et al., 2014; Okpara et al., 2014; Santos et al., 2013). El rendimiento de las raíces frescas en yuca obedece a la expresión de las rutas metabólicas asociadas con la síntesis, la translocación y el posterior almacenamiento de carbohidratos en las raíces; todas estas rutas metabólicas son en gran parte dependientes de las condiciones ambientales. Sin embargo, el nivel del efecto ambiental depende de cada genotipo (Boakye et al., 2013; Kvitschal et al., 2006) y de la característica fenotípica que se esté evaluando.

Debido a que la mayoría de los caracteres de interés económico del cultivo son de naturaleza cuantitativa, la varianza fenotípica se ve afectada por los efectos de la acción conjunta del genotipo, el entorno ambiental y la interacción del genotipo y el ambiente ($G \times A$), como lo describen en su tratado Allard y Bradshaw (1964). En consecuencia, la medición de estos atributos en un solo ambiente resulta en un procedimiento poco eficaz, puesto que la identificación de cultivares superiores debe basarse en el análisis de la interacción $G \times A$ y de la estabilidad fenotípica (Morais et al., 2008). Este último procedimiento es deseable para identificar los cultivares con comportamientos predecibles en diversos entornos ambientales. Entre las metodologías más utilizadas para este fin, se puede señalar las de Eberhart y Russel (1966), Lin y Binns (1988), Gauch y Zobel (1996), Toler y Burrows (1998) y, recientemente, el modelo de análisis de la interacción genotipo-ambiente (AMMI) (Barros et al., 2013, Gonçalves et al., 2010; Oliveira, Santana et al., 2014). Otros métodos de recomendación de genotipos se basan en el uso de índices de selección *multitraits*, conformados por varios atributos de interés del mejorador, los cuales ofrecen una clasificación que representa una estimación de la superioridad genética y la estabilidad fenotípica de uno o un grupo de genotipos (Sagrilo et al., 2008). La integración de varias características asegura la identificación de genotipos superiores en diversos aspectos, que incluso pueden impactar positivamente sobre la cadena de valor de un cultivo, lo que garantiza una mayor adopción de las variedades liberadas. Ceballos et al. (2016) reportaron el uso de estos índices de selección en yuca considerando aspectos agronómicos del cultivo, como el RRF, el CMS, el TPD, la respuesta a enfermedades y el índice de cosecha.

Debido a la alta influencia del ambiente sobre la respuesta de las características de interés, el uso de la estimación de parámetros genéticos es una importante guía en el momento de enfocar el proceso de mejoramiento, selección y determinación de ganancias genéticas. La estimación y predicción de parámetros y valores genéticos a través de los análisis *restricted maximum likelihood* y *best linear unbiased prediction* (REML/BLUP) han mostrado una alta precisión. Para variables relacionadas con el rendimiento de raíces frescas, el número de raíces por planta e incluso en el contenido de almidón en las raíces se han reportado valores de heredabilidad en el sentido amplio menores al 65 % (Silva et al., 2016), aunque en ciertas poblaciones se han encontrado valores superiores tanto del RRF (78,39 %) como del CMS en las raíces (87,55 %) (Peprah et al., 2020). En las características de calidad como de contenido de almidón, contenido de glucósidos

cianogénicos, amilosa, entre otras, se han reportado valores superiores al 85 % (Oliveira, Freitas et al., 2014). A pesar de ser un cultivo clonal, en yuca se recomienda garantizar un buen número de repeticiones (tres o cuatro), un buen diseño experimental y un buen manejo de los ensayos, de manera que la heredabilidad individual de los factores en estudio se maximice.

Para la generación de poblaciones segregantes, los progenitores son identificados de acuerdo con su adaptación a condiciones agroecológicas del cultivo y los sembrados en la Estación Experimental del CIAT, en Palmira (Valle del Cauca). A partir de los progenitores seleccionados se realizan cruzamientos para producir semilla sexual recombinante. Se ha podido determinar que las temperaturas más bajas promueven que en muchos genotipos la floración ocurra más tempranamente. Los experimentos de inducción a la floración mediante la extensión del fotoperiodo resultan en rendimientos más claros en Palmira (1.000 m s. n. m.) que en localidades más bajas (Pineda, Morante et al., 2020). Como ya se mencionará, existen dos tipos de cruzamientos: para los cruzamientos dirigidos se usa actualmente la sigla GM, seguida por cuatro dígitos, que identifican los progenitores femenino y masculino. Los cruzamientos de polinización abierta o policruzas se identifican con la sigla SM, seguida también por cuatro dígitos, que identifican el progenitor femenino y la parcela de cruzamiento donde la semilla fue obtenida (lo que permite determinar el grupo de progenitores masculinos que pudieron haber estado involucrados en la semilla botánica generada). Las semillas así obtenidas e identificadas son germinadas en bandejas, las plántulas crecen por dos meses en invernadero y posteriormente son transferidas a campo. Solo las plántulas vigorosas serán trasplantadas. Las parcelas donde crecen las plantas generadas a partir de semilla botánica germinada se denominan viveros F₁. Por muchos años los viveros F₁ se trasplantaban entre marzo y mayo, y las plantas crecían por un año. Los tiempos en que se realizaban estas actividades se ajustaban estrechamente con las fechas típicas en que los agricultores plantan la yuca, lo que sucede principalmente entre abril y junio de cada año.

Durante el crecimiento, los viveros F₁ se recorren y se eliminan las plantas que presentan cualquier tipo de síntomas de enfermedades, deficiencia nutricional y/o ataques severos de insectos. En el momento de la cosecha, se extraen las plantas del suelo, de modo que se pueda inspeccionar la planta entera: la relación entre el volumen de raíces y la biomasa total de la planta, llamada el índice de cosecha (INC); el vigor general de la planta (se

evitan tanto plantas demasiado vigorosas como las débiles), y una corona con buen número de raíces con tamaño uniforme, de forma cónico-cilíndrica y con pedúnculo relativamente corto. Se presta particular atención a la ausencia de raíces con síntomas de cuero de sapo y de pudrición de cualquier tipo. Se seleccionan plantas que presenten buen TPD, que permita obtener estacas de buena calidad en cuanto a grado de lignificación, diámetro y número de yemas. Los tallos seleccionados y cosechados en la etapa F1 inician el proceso de multiplicación clonal, y son enviados a las respectivas zonas de adaptación, donde se inicia un proceso de evaluación fenotípica, que dura generalmente de cuatro a seis años. Se usan diferentes diseños experimentales, pasando por la evaluación de surco sencillo (ESS) o el campo de observación, con ocho plantas por genotipo plantadas en un surco y sin replicaciones. La selección de materiales en la ESS se realiza mediante un índice de selección, que integra variables relevantes: el RRF; el CMS, que es estimado por el método gravimétrico; el TPD, que incluye la arquitectura, el vigor y la sanidad de las plantas (se buscan tipos de planta erecto, con una altura promedio, ni excesiva ni demasiado baja), y el contenido de β -carotenos (BC) en las raíces, en proyectos de biofortificación, para generar variedades de yuca con alto valor nutricional. Este índice permite ordenar los genotipos evaluados de acuerdo con un orden de mérito, que por sí solo facilita el proceso de selección. Usualmente la ESS incluye la evaluación de alrededor de 1.500 genotipos en una sola localidad. Los genotipos seleccionados a partir de la ESS pasan a ser evaluados en ensayos preliminares de rendimiento (EPR), estableciéndose alrededor de 150 genotipos sembrados en dos o tres repeticiones de dos surcos, de cinco plantas cada uno. La siguiente etapa de evaluación y selección son los ensayos avanzados de rendimiento (EAR), los cuales ya se realizan en tres localidades, usando entre tres y cuatro repeticiones y parcelas de 20 plantas por genotipo. En los EAR el número de genotipos se ha reducido considerablemente (entre 40 y 80). Cualquier genotipo que se destaque de manera consecutiva durante los EAR pasa a ser considerado como élite y es incluido en las pruebas regionales (PR). Las PR se siembran en varias localidades, representativas de cada región agroecológica, con tres repeticiones por localidad. Si la disponibilidad de material de siembra lo permite, las parcelas en las PR son ligeramente más grandes, con cinco surcos de cinco plantas cada uno, en las que se cosechan las nueve plantas centrales de cada parcela. Las pruebas regionales típicamente se repiten por dos o tres años. Los genotipos que son postulados para su potencial liberación cuentan aproximadamente con quince evaluaciones en distintos años y localidades (Ceballos et al., 2016). Conforme a la Unión Internacional para la

Protección de la Obtención de Nuevas Variedades (UPOV, por sus iniciales en inglés), el registro y la liberación de genotipos como variedades comerciales es posible siempre y cuando se cumpla con un perfil superior, confirmado a través de su distinción, uniformidad y estabilidad (International Union for the Protection of New Varieties of Plants [UPOV], 2002). Para el caso de la yuca, al tratarse de un cultivo clonal, se garantiza su uniformidad, por su mecanismo de multiplicación vegetativa; por lo tanto, el proceso de selección a través de los años y en varios ambientes de las subregiones se realiza para demostrar la(s) característica(s) distintiva(s) frente a variedades previamente registradas y cuya estabilidad en el ambiente está garantizada.

Cambios significativos se han implementado en la forma en que se crecen los viveros F₁. Desde mediados de la década del 2010, se implementó una estrategia muy diferente, en la cual la semilla era germinada en agosto de cada año, trasplantada al campo a los dos meses de edad, y en los viveros F₁ solo se mantienen por seis meses luego del trasplante (Ceballos et al., 2020). En la época típica de cosecha (marzo-mayo), las plantas tienen unos seis meses de edad y permiten una selección para características de alta heredabilidad, como pigmentación de las raíces, ausencia de ramificación temprana, vigor adecuado y evidencia de un buen desarrollo de raíces potencialmente comerciales. A esa edad, sin embargo, solo tres esquejes de buena calidad pueden ser obtenidos. Estas tres estacas son plantadas en el ambiente objetivo en una sola localidad o cada una de ellas en tres localidades representativas del ambiente objetivo, en lo que se llama F₁C₁. Esta simple modificación de adelantar la germinación de la semilla botánica por seis meses (en una época donde no hay demasiadas actividades para el personal) tiene importantes consecuencias: a) las plantas de las que posteriormente se extraerán estacas para la plantación para la ESS crecen ya en condiciones representativas del ambiente objetivo; b) como se cuenta con tres plantas por genotipo en la F₁C₁, se puede sembrar para tres ESS, en tres localidades diferentes. Esto es un enorme avance para poder reducir el impacto negativo que la interacción $G \times A$ tiene sobre la eficiencia de la selección en las ESS.

En yuca, el mejoramiento genético ha contribuido enormemente en el progreso del cultivo, incluso se ha mencionado que este proceso ha finalizado la domesticación de este cultivo (Ceballos et al., 2013; Ceballos et al., 2021). Las variedades liberadas a partir de 1990 a nivel mundial han tenido un significativo incremento en RRF y CMS (Kawano, 2003; Kawano et al.,

1998); sin embargo, se ha evidenciado que la selección favorece genotipos con alto contenido de materia seca o alto rendimiento, y es muy difícil encontrar genotipos que expresen estas dos características simultáneamente (Ceballos & Hershey, 2016). Por esta razón, la adición de valor agregado al cultivo ha sido una característica que los mejoradores han percibido como una estrategia para la yuca, en lugar de solamente concentrar los esfuerzos en mejorar su rendimiento; la adición de valor nutricional a través del incremento de contenido de caroteno, de proteína, la producción de almidones especiales o la resistencia a enfermedades como el mosaico de la yuca CMD son algunos ejemplos (Aiemnaka et al., 2012; Ceballos et al., 2013; Rabbi et al., 2014). Por otra parte, resultados iniciales de la selección genómica en este cultivo han demostrado ser útiles, especialmente en características monogénicas o controladas por pocos genes, como la resistencia a enfermedades como el CMD y el estriado marrón de la yuca (CBSD); la precisión de la selección en el caso de la materia seca también parece ser suficiente para garantizar ciclos rápidos de selección genómica (Wolfe et al., 2017; Kayondo et al., 2018).

El cultivo de la yuca y su proceso de mejoramiento genético en Colombia

La yuca se caracteriza por una notable interacción $G \times A$, que resulta en una marcada especificidad de la adaptación de las variedades a condiciones ambientales determinadas. Por lo tanto, es importante realizar la selección en cada región agroecológica. De acuerdo con la Resolución 067516 del 2020 del ICA para el registro de variedades comerciales, se han identificado seis subregiones (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Principales subregiones naturales de Colombia en las que el cultivo de yuca es económicamente importante

Subregión natural	Departamentos/descripción de la subregión
Caribe (Caribe seco-Caribe húmedo)	Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, Sucre, Norte de Santander, distrito del Zulia, Norte de Antioquia y Urabá, Magdalena Medio y Santander
Pacífico	Chocó y zonas costeras de los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño
Valles Interandinos	Valle geográfico del río Cauca-valle geográfico del río Magdalena
Andina < 1.800 m s. n. m.	Área cafetera marginal (800 m s. n. m.)-área cafetera (1.800 m s. n. m.)
Orinoquía	Vichada, Arauca, Casanare, Guainía, Guaviare, Vaupés y Meta
Amazonia	Amazonas, Caquetá y Putumayo

Fuente: Resolución 067516

Dentro de los actuales objetivos del mejoramiento genético de la yuca para las diferentes subregiones naturales de Colombia se busca encontrar genotipos promisorios, que cumplan con numerosos parámetros, tales como: a) rendimiento superior a 20 t/ha en producción comercial; b) contenido de materia seca superior al 35%; c) potencial de recuperación del contenido de materia seca en cosecha extendida en yuca para uso industrial; d) características especiales, como alto contenido de carotenos; e) rendimiento superior a 15 t/ha en manos de los agricultores, y f) adecuada calidad culinaria en variedades para consumo fresco. Se busca también una adecuada adaptación a los ambientes antes mencionados, esta condición representa una ventaja incomparable, debido a que la selección garantiza una baja afectación de plagas y enfermedades y demás factores bióticos y abióticos desfavorables relacionados con agroecosistemas específicos y dinámicos en términos de alteraciones climáticas.

La actual dinámica climática sugiere que por el calentamiento global y el cambio climático se podrían producir condiciones aún más adversas. A pesar de que la yuca ha sido considerada un cultivo estratégico para las

condiciones de cambio climático (Ceballos et al., 2011), se hace necesario evaluar los niveles de adaptabilidad y los factores climáticos asociados a la producción y eficiencia en el almacenamiento de almidones en las raíces. En un escenario de cambio climático, los modelos sugieren el posible incremento de la frecuencia del fenómeno de El Niño (Cai et al., 2014; Timmermann et al., 1999) y la precipitación tropical se reduciría en ciertas áreas a lo largo de los márgenes de las zonas de convección, las cuales desde ya sufren de deficiencia de agua (David et al., 2006). Estos cambios sugieren investigar sobre cultivares tolerantes al exceso o déficit de agua y adaptados particularmente a condiciones agroecológicas específicas, que garanticen la formación de sistemas resilientes de producción, especialmente en regiones altamente vulnerables.

AGROSAVIA, en alianza con el CIAT, se ha enfocado en las subregiones con mayor demanda debido a la importancia económica de este cultivo: Caribe, Pacífico, Orinoquía, Valles Interandinos y región Andina (< 1.800 m s. n. m.). Debido a la gran importancia del cultivo de la yuca en Colombia, el desarrollo de nuevas variedades se ha orientado con un enfoque participativo y de cadena agroindustrial, dirigiendo sus esfuerzos hacia el desarrollo de genotipos de alta productividad de raíces y materia seca para consumo en fresco. Recientemente se ha intensificado el debate sobre la necesidad de desarrollar genotipos con alta calidad nutricional, para ello se ha priorizado la biofortificación para contribuir a la superación de los problemas de seguridad alimentaria y extrema pobreza (Ceballos et al., 2013; Welsch et al., 2010). Este proceso de selección ha sido mejorado mediante la introducción y estandarización de técnicas de espectroscopia, como espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) acoplada a técnicas de regresión (Davrieux et al., 2016), que, considerando la alta heredabilidad y estabilidad de esta característica nutricional, permite eficientemente discernir diferencias entre genotipos (Ortiz et al., 2011). Tanto para yuca de consumo fresco como para uso industrial, nuevas técnicas de multiplicación masiva han permitido generar poblaciones de evaluación a gran escala, lo que ha posibilitado así el establecimiento de pruebas semicomerciales, con las cuales se pueden realizar en corto plazo pruebas industriales en plantas de extracción de almidón. Adicionalmente, se está trabajando en la obtención de genotipos con buena calidad culinaria, lo que permitirá tener una oferta de productos para consumo fresco.

Variedades mejoradas generadas en cooperación entre AGROSAVIA y el CIAT

Durante los años 80, fueron registradas por el ICA las tres primeras variedades de yuca en Colombia, con adaptación entre 0 y 1.500 m s. n. m.: Manihoica P-11, Manihoica P-12 y Manihoica P-13. En 1990 se liberaron las variedades Catumare (CM 523-7) y Cebucán (CM 2177-2), adaptadas a la Orinoquía (Rodríguez & Hershey, 1990). La primera variedad liberada por su adaptación a la región Caribe fue la ICA-Costeña (CG 1141-1), en 1991 (De la Torre & Hershey, 1991). Ya en esa época comenzaron a aplicarse los innovadores procedimientos de mejoramiento participativo para incorporar en el proceso de selección a los agricultores y sus prioridades. En 1993 se liberó la variedad ICA-Negrita (CM 3306-4), también adaptada a la Costa Atlántica (López Montes et al., 1993). Durante la década de los 90, se fue acentuando la necesidad de satisfacer las exigencias de distintas aplicaciones industriales, de modo que las variedades liberadas fueron de doble propósito: tanto para consumo humano (consumo fresco) como para fines industriales. La variedad Corpoica-Reina (CM 6740-7), adaptada al Piedemonte Llanero, cumplió con estas características, y fue liberada en el año 2000 (Ceballos, Calle et al., 2000; Ceballos, Iglesias et al., 2000). En ese mismo año se liberó otra generación de variedades adaptadas a la región Caribe. Sin embargo, por primera vez, se liberaron dos variedades específicamente dirigidas a las necesidades de la industria de almidones y concentrados para alimentación animal: Corpoica-Colombiana (CM 3306-19) y Corpoica-Sucreña (CM 3555-6) (López Montes et al., 2000a, 2000b). Las dos variedades restantes, Corpoica-Caribeña (SG 765-2) y Corpoica-Rojita (SG 765-4), seguían siendo de doble propósito (López & Jaramillo, 2000a, 2000b). En el año 2003 fue liberada la variedad Nataima-31 (CG 489-31), adaptada a los valles cálidos del Alto Magdalena (Vargas et al., 2002). Esta es la primera variedad en el mundo con resistencia a la mosca blanca (*Aleurotrachelus socialis* Bondar) (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Variedades de yuca inscritas en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales en Colombia

Uso	Variedad	Responsable	Creador	Fecha de registro	Adaptación
Consumo fresco	Manihoica P-11	ICA		1984	0-1.500 m s. n. m.
Consumo fresco	Manihoica P-12	ICA		1984	0-1.500 m s. n. m.
Consumo fresco	Manihoica P-13	ICA		1986	0-1.500 m s. n. m.
Consumo fresco	ICA-Cebucán	ICA-CIAT	CIAT	1990	Piedemonte Llanero
Consumo fresco	ICA-Catumare	ICA-CIAT	CIAT	1990	Piedemonte Llanero y Valles Interandinos
Consumo fresco	ICA-Costeña	ICA-CIAT	CIAT	1991	Costa Atlántica
Consumo fresco	ICA-Negrita	ICA-CIAT	CIAT	1993	Caribe húmedo y seco
Industrial	Corpoica-Colombiana	Corpoica	CIAT	2000	Caribe húmedo (1.100-1.600 m s. n. m.)
Industrial	Corpoica-Sucreña	Corpoica	CIAT	2000	Caribe húmedo (1.100-1.600 m s. n. m.)
Consumo fresco	Corpoica-Caribeña	Corpoica	CIAT	2000	Caribe húmedo (1.400-1.600 m s. n. m.)
Consumo fresco	Corpoica-Rojita	Corpoica	CIAT	2000	Caribe húmedo (1.400-1.600 m s. n. m.)
Consumo fresco	Corpoica-Reina	Corpoica	CIAT	2000	Orinoquía (Piedemonte)
Consumo fresco	Nataima-31	Corpoica	CIAT	2002	Subregión natural valle geográfico del río Magdalena
Industrial	Corpoica-Caiseli	Corpoica	CIAT	2004	Caribe húmedo y Caribe seco
Industrial	Corpoica-Ginés	Corpoica	CIAT	2004	Caribe húmedo y Caribe seco
Industrial	Corpoica-Verónica	Corpoica	CIAT	2004	Caribe húmedo y Caribe seco
Industrial	Corpoica-Tai	Corpoica	CIAT	2004	Caribe seco

(Continúa...)

(Continuación tabla 3.2)

Industrial	Corpoica-Orense	Corpoica	CIAT	2004	Caribe húmedo y Caribe seco
Forrajera	Corpoica SM 1438-2	Corpoica	CIAT	2011	Sabanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba y Magdalena Medio santandereano
Forrajera	Corpoica SM 2625-1	Corpoica	CIAT	2011	Magdalena Medio santandereano
Forrajera	Corpoica SM 2612-24	Corpoica	CIAT	2011	Sabanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba
Forrajera	Corpoica SM 1511-6	Corpoica	CIAT	2011	Sabanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba y Magdalena Medio santandereano
Forrajera	Corpoica SM 2546-40	Corpoica	CIAT	2011	Sabanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba
Forrajera	Corpoica SM 2081-34	Corpoica	CIAT	2011	Sabanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba
Forrajera	Corpoica SM 2769-11	Corpoica	CIAT	2011	Magdalena Medio santandereano
Industrial	Corpoica-Belloti	Corpoica	CIAT	2016	Caribe
Industrial	Corpoica-Ropain	Corpoica	CIAT	2016	Caribe
Industrial	Corpoica-Sinuana	Corpoica	CIAT	2016	Caribe
Industrial	Corpoica-La Francesa	Corpoica	CIAT	2016	Suroccidente de Colombia-departamento del Cauca
Industrial	Corpoica-Cumbre 3	Corpoica	CIAT	2016	Suroccidente de Colombia-departamento del Cauca
Industrial	Corpoica-Melúa-31	Corpoica	CIAT	2019	Orinoquía

Fuente: Elaboración propia

En el año 2004, fueron liberadas variedades con adaptación a la región Caribe (López Montes et al., 2004). Dos de estas variedades son doble propósito: Corpoica-Caiseli (SMB 2446-2) y Corpoica-Orense (CM 9021-2). Junto a estas variedades, se liberaron tres de uso industrial exclusivamente (raíces amargas por su alto contenido de glucósidos cianogénicos): Corpoica-Tai (variedad liberada originalmente en Tailandia con el nombre de Rayong

60), Corpoica-Ginés (CM 4838-1) y Corpoica-Verónica (CM 4919-1). En el año 2011 se realizó la liberación de siete variedades de yuca orientadas al uso forrajero en alimentación animal para la Costa Caribe (Corpoica SM 1438-2, Corpoica SM 2625-1, Corpoica SM 2612-24, Corpoica SM 1511-6, Corpoica SM 2546-40, Corpoica SM 2081-34 y Corpoica SM 2769-11), para las zonas de las sábanas colinadas y planas de Sucre y Córdoba y el Magdalena Medio santandereano; estas variedades presentan una alta producción de follaje de yuca (hojas, pecíolos y ramas tiernas), con un alto valor nutricional, expresado principalmente por el alto contenido de proteína, que supera el 21%, el cual se puede integrar a la dieta de los animales en épocas de limitación de forraje. En el año 2016, después de doce años, fueron liberadas las variedades industriales Corpoica-Belloti (SM 2775-4), Corpoica-Sinuana (SM 1411-5) y Corpoica-Ropain (GM 273-57), tres variedades que muestran una adecuada adaptación a las condiciones del Caribe, buen rendimiento y contenido de materia seca (Rosero et al., 2020); sin embargo, hasta hoy la industria del almidón aún continúa enfrentando un grave problema debido a la estacionalidad del cultivo, lo cual genera grandes pérdidas a los agricultores, ya que variedades actualmente cultivadas no exhiben el potencial de recuperación de materia seca frente a su pérdida en cosecha extendida. En cuanto a oferta de nuevas variedades para el sector productor de yuca del departamento del Cauca, se liberaron las variedades Corpoica-La Francesa (SM 1495-5) y Corpoica-Cumbre 3 (SM 856-11), variedades de alto rendimiento en la producción de almidón y de buena adaptación a las condiciones de la zona intermedia del departamento (Rodríguez et al., 2020). Para la Orinoquía, en el año 2017 se recibió el registro de la variedad Corpoica-Melúa 31 (SM 2792-31), adaptada a esta región, la cual ha demostrado buen rendimiento, alto contenido de materia seca y baja afectación de plagas y enfermedades propias de las condiciones climáticas de esta región.

Capítulo 4.

Características de evaluación y selección de genotipos superiores de yuca

Elvia Amparo Rosero Alpala, Eberto Rodríguez Henao, Sandra Milena Salazar Erazo, Jorge Iván Lenis Calderón, Nelson Morante Herrera, Carina Cecilia Cordero Cordero, Héctor Augusto Sandoval Contreras, Jorge Luis García Herazo, José Ives Pérez Zúñiga, Víctor Alfonso De la Ossa Albis, Juan Carlos González, Karen Andrea Alarcón Beltrán, Luis Giovanni Mauricio Montejó Núñez, Lina Vanessa Garavito Morales, Rommel Igor León Pacheco, Martha Montes, Gabriel Ernesto Silva Acosta, Remberto Rafael Martínez Figueroa, Katia Vanesa Contreras Valencia, Sonia Gallego Castillo, John Eiver Belalcázar Martínez, Hernán Ceballos Lascano, Xiaofei Zhang, Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Marco legal para la producción de material de siembra

La normativa vigente para la evaluación e inscripción de variedades de yuca en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA es la Resolución número 067516 del 11 de mayo del año 2020, “por medio de la cual se establecen los requisitos para la inscripción de los cultivares en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales y se dictan otras disposiciones”. En esta resolución se definen los procedimientos y requisitos a considerar para la obtención y registro de variedades mejoradas de yuca como cultivo transitorio.

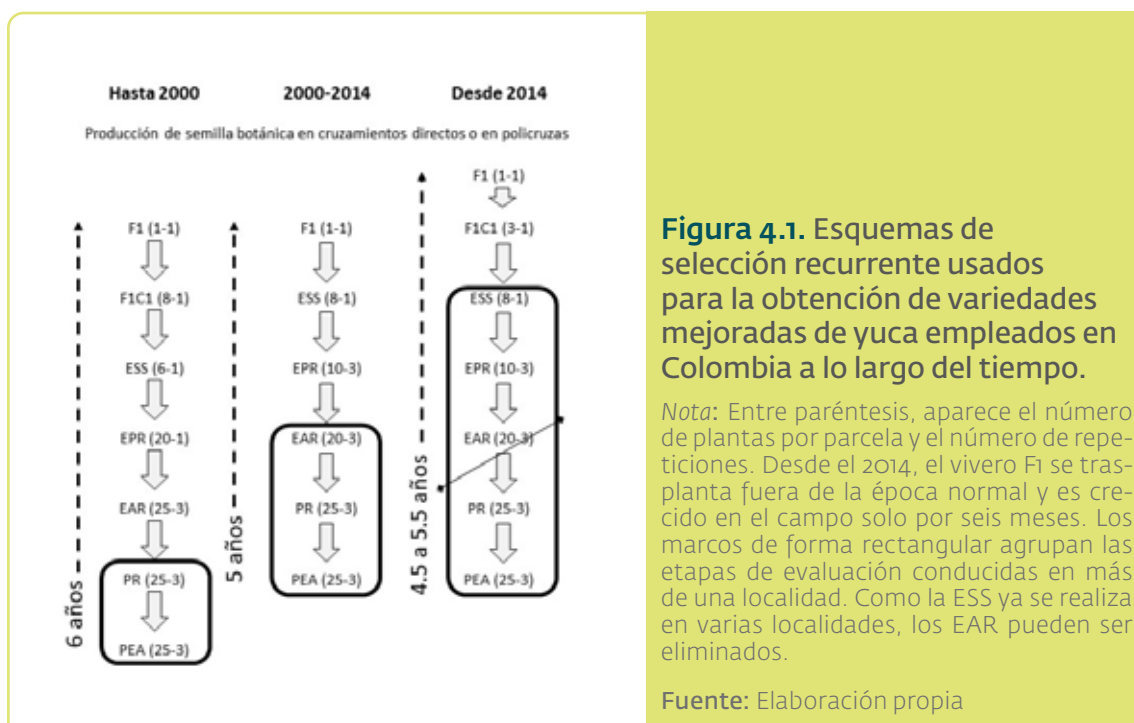
Ciclos de selección y diseño experimental

El proceso de selección recurrente consiste en la generación y evaluación de diferentes ciclos de selección (figura 4.1). Las poblaciones evaluadas en F_1C_1 se establecen en un arreglo de cuatro a seis plantas por surco en una sola localidad. Debido a la baja disponibilidad de material de siembra, en la evaluación de surco sencillo (ESS) se usa un diseño experimental no replicado. La ESS incluye la evaluación de 1.500 a 2.500 genotipos. La germinación de semilla y trasplante de plántulas en los viveros F_1 a partir del año 2014 se realiza fuera de los tiempos en que normalmente se planta la yuca en Colombia, y la cosecha de plantas y tallos se realiza aproximadamente a los seis meses del trasplante. Esto tiene importantes implicaciones: a) las operaciones relacionadas con el vivero F_1 se realizan en épocas donde el personal no tiene actividades urgentes que realizar; b) la cosecha de plantas a los seis meses de haber sido trasplantadas coincide con las épocas normales de cosecha y siembra de la yuca en la mayoría de las regiones de Colombia y c) las mismas ESS se pueden plantar en tres localidades diferentes simultáneamente (figura 4.1).

Los ensayos preliminares de rendimiento (EPR) tienen, a partir del año 2000, tres repeticiones de dos surcos de cinco plantas cada uno e involucran entre 150 y 250 genotipos. Los ensayos avanzados de rendimiento (EAR) se realizan, a partir del año 2000, en tres localidades usando tres repeticiones y parcelas de veinte plantas. Estos ensayos incluyen típicamente entre 60 y 80 clones. Las modificaciones en el esquema de evaluación introducidas en el año 2014 permiten que tanto las ESS y los EPR se planten en tres localidades diferentes. La selección en la etapa ESS está basada, por vez primera, en ensayos replicados (una repetición, pero en tres localidades diferentes). Esto significa un enorme progreso en la eficiencia de la selección, porque el impacto que la interacción del genotipo y el ambiente ($G \times A$) se reduce drásticamente. Adicionalmente, los EPR también se conducen simultáneamente en tres localidades diferentes (figura 4.1), lo que continúa disminuyendo el impacto negativo del $G \times A$ en la eficiencia de la selección. Las innovaciones implementadas a partir del año 2014 permiten ejercer una presión de selección mayor, reduciendo el tamaño de los EPR, que pasan a tener entre 80 y 120 genotipos, y permite (dependiendo de las

circunstancias y la calidad de los datos obtenidos) obviar la etapa de los EAR.

Las pruebas regionales (PR) se plantan en varias localidades representativas de cada región agroecológica, con tres repeticiones por localidad. Normalmente las PR se conducen por dos años consecutivos e incluyen unos 20 clones. Si la disponibilidad de material de siembra lo permite, las parcelas en las PR son ligeramente más grandes, con cinco surcos de cinco plantas cada uno, en las que se cosechan las nueve plantas centrales de cada parcela. Después de pasar por mínimo dos ciclos en PR, los genotipos con potencial de ser postulados como nuevas variedades son establecidos en pruebas de evaluación agronómica (PEA). Generalmente una PEA puede incluir entre 5 y 10 clones experimentales, y requiere la inclusión de varios testigos comerciales (3-5). Los clones experimentales con mejor desempeño en las PEA son establecidos en pruebas semicomerciales (en colaboración con agricultores líderes en la región), con el fin de confirmar su comportamiento agronómico, así como también producir material de siembra para el lanzamiento como variedad.



Recomendaciones de establecimiento, manejo y evaluaciones

Todas las labores agronómicas realizadas sobre los experimentos son reportadas en los libros de campo. La preparación del suelo y la siembra se realizan de acuerdo con las condiciones edafológicas y agroclimáticas de cada zona. El manejo de arvenses incluye aplicación de herbicidas preemergentes, graminicidas y con pantalla para herbicidas que puedan causar fitotoxicidad al cultivo (en caso de ser necesario), además de desyerbas manuales. El manejo agronómico de plagas y enfermedades, de ser necesario, se realiza con productos comercialmente usados. La fertilización se realiza de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos de cada zona y considerando el manejo que el agricultor ofrece rutinariamente al cultivo. Los genotipos son cosechados de acuerdo con la zona agroecológica o según el periodo vegetativo para cada genotipo en evaluación y el propósito de estos (7-18 meses). En general, el manejo agronómico a implementar para las parcelas de evaluación se desarrolla con base en el manejo comercial realizado en cada zona de evaluación, con el fin de no introducir condiciones diferentes a las proporcionadas por los agricultores a las nuevas variedades que se generen de los procesos de investigación. Se presta una especial atención a eliminar clones que presenten síntomas de cuero de sapo en sus raíces en las etapas tempranas de evaluación. En las etapas más avanzadas, se analizan cuidadosamente las raíces de cada planta y se evita coleccionar tallos de aquellas plantas cuyas raíces presentaron síntomas (aun sospecha) de cuero de sapo.

Para cada experimento se registra información útil y de parámetros que son evaluados y considerados durante la selección de genotipos promisorios. Durante el primer mes solamente se registra la variable de germinación; en el tercer mes se registra el comportamiento de los genotipos con respecto al vigor y su respuesta a trips y bacteriosis; en el quinto mes se registra la respuesta a trips, ácaros y bacteriosis; durante el séptimo mes, la respuesta a ácaros y bacteriosis, y, finalmente, previamente a la cosecha se realiza la evaluación de precosecha, la cual incluye el registro de las variables altura de planta, altura de ramificación, número de ramificaciones,

número de estacas por planta, volcamiento y evaluación del tipo de planta (TPD). En la cosecha, la cual depende de las condiciones ambientales de cada zona, se toman todas las variables restantes por parcela; los parámetros y detalles de la información a tomar se describen a continuación:

- Fecha: se seguirá el formato mes/día/año.
- Área cosechada: se decide no incorporar en el formato.
- Distancia de siembra: se escribe la distancia entre plantas y entre surcos (por ejemplo, 1,0 × 1,0 m).
- Fecha de cosecha: se seguirá el formato mes/día/año.
- Fecha de evaluación: se seguirá el formato mes/día/año.
- Localidad: lugar de toma de datos.
- Evaluador: persona responsable.
- Se debe registrar un identificador único, que consta de año de evaluación, número del ensayo, propósito, tipo de ensayo, localidad, número de repetición, nombre del genotipo y número de parcela. Ejemplo: 202208CQMUL_CIAT_rep1_PER183_1.
- Identificador espacial: se siembra siguiendo el consecutivo; sin embargo, la distribución en campo se realiza de acuerdo con el área disponible. Se realiza el plano de campo y se informa el número de surcos y de bloques usados en el experimento. Con el fin de realizar un análisis estadístico confiable, se debe registrar el número de la columna y el número de fila donde queda sembrado cada genotipo.
- Número de estacas sembradas: número de estacas sembradas por parcela.
- Número de estacas germinadas: se debe hacer resiembra hasta máximo quince días después de la siembra; el conteo para evaluar la germinación se realiza al mes después de la siembra.
- Vigor: se debe evaluar entre dos y cuatro meses después de la siembra, con las siguientes calificaciones: 1 = muy poco vigor, 2 = poco vigor, 3 = intermedio, 4 = vigorosa y 5 = muy vigorosa. Las bases de datos a entregar deben ser corregidas en caso de que haya sido usada una escala inversa.
- Altura de planta: se evalúa, en centímetros, desde la superficie del suelo hasta la última rama.

- Altura a la primera ramificación: medida desde la superficie del suelo hasta la primera ramificación; en caso de que la planta no tenga ramificación, se registra el mismo valor de la altura de la planta.
- Número de ramificaciones: corresponde al número ramificaciones en la planta (niveles).
- Número de estacas por planta: se estima el número de semillas comerciales (cangres o esquejes de buena calidad, de 20 cm y mínimo 5 nudos) que se esperar obtener por planta.
- Longitud de tallo: longitud de tallo con hojas en centímetros.
- Evaluación de planta (ТРД): 1 = claramente mejor que el promedio, 2 = probablemente mejor que el promedio, 3 = arquitectura representativa del promedio, 4 = probablemente peor que el promedio y 5 = claramente peor que el promedio. Se debe considerar su estado fitosanitario, arquitectura, retención de hojas verdes y vigor.
- Volcamiento: 1 = ninguno o muy poco, 2 = intermedio y 3 = mucho.
- Número de plantas cosechadas: ESS = 7 plantas, EPR = 8 plantas, EAR = 6 plantas internas dentro de la parcela de 20 plantas, PR-PEA = 9 plantas internas en parcelas de 25 individuos. No se deben cosechar bordes en los EAR, PR y PEA.
- Evaluación de raíz: 1 = claramente mejor que el promedio, 2 = probablemente mejor que el promedio, 3 = arquitectura representativa del promedio, 4 = probablemente peor que el promedio y 5 = claramente peor que el promedio. Se hace una valoración integral del estado fitosanitario, forma, tamaño, etc. Se presta especial atención a la ocurrencia de síntomas de cuero de sapo.
- Constricciones de la raíz: 1 = pocas o ninguna, 2 = intermedia y 3 = muchas.
- Forma de raíz: 1 = cónica, 2 = cónica-cilíndrica, 3 = cilíndrica y 5 = irregular.
- Color de raíz: 1 = blanco o crema, 2 = café claro y 3 = café oscuro.
- Color de pulpa: 1 = blanco, 2 = crema claro, 3 = crema, 4 = amarillo claro, 5 = amarillo, 6 = amarillo intenso, 7 = anaranjado y 8 = rosado.
- Longitud de raíz: 1 = corta (15 cm), 2 = media (15-30 cm), 3 = larga (> 30 cm).

- Longitud de pedúnculo: 1 = corto (pegadas), 2 = intermedio (máximo 5 cm), 3 = largo (> 5cm).
- Número de raíces podridas: se obtiene por conteo.
- Número de raíces totales: se obtiene por conteo.
- Número de raíces comerciales: conteo de raíces de un tamaño de diámetro entre 4 y 6 cm, y con longitud mayor a 20 cm.
- Peso de raíces comerciales: se pesan las raíces comerciales (kg).
- Peso de planta: peso de toda la parte aérea de tallos, hojas y tocón (kg).
- Peso de raíces totales: se pesan todas las raíces (kg).
- Peso de raíces en aire: se registra el peso de una muestra entre 3 y 5 kg; se registra su peso en gramos.
- Peso de raíces en agua: se registra el peso de las raíces pesadas previamente en aire cuando son sumergidas en el agua; se registra el peso en gramos.
- Facilidad de pelado: 1 = fácil y 2 = difícil.
- Observaciones: se registra toda novedad encontrada en la parcela, si existe.
- Para el desarrollo de materiales con alto valor nutricional se realiza una selección de contenidos de carotenoides predichos con NIR y eventualmente se confirman los datos de materiales seleccionados con cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC, por sus iniciales en inglés). Estas valoraciones se hacen en etapas tempranas de selección (F1 o F1C1) y se confirman luego (por HPLC) en etapas avanzadas, y solo en materiales altamente promisorios.
- Si el perfil de la variedad es para el consumo fresco, se valora el contenido de glucósidos cianogénicos por medio de espectrofotometría (Essers et al., 1993).

Todas las evaluaciones de variables en campo se realizan usando la aplicación Fieldbook.

Variables sobre respuesta a plagas y enfermedades

Se usa la guía ilustrada de plagas y enfermedades publicada por el CIAT (Álvarez et al., 2002), en pruebas supervisadas por el ICA, y se envían muestras para obtener el diagnóstico. Se usan las siguientes escalas para evaluar plagas y enfermedades, este monitoreo se realiza a los 3, 5 y 7 meses, según lo descrito previamente:

- Trips: 1 = plantas sanas; 2 = puntuaciones amarillentas ligeras en las hojas apicales; 3 = cogollo y hojas adyacentes con deformaciones ligeras y puntuaciones amarillas; 4 = deformación intensa de hojas apicales o maduración del área foliar, y 5 = cogollo completamente deformado o muerto, no hay hojas adyacentes, con síntomas de escoba de bruja, muerte del ápice y yemas laterales muertas.
- Ácaros: 1 = planta sana; 2 = pocas puntuaciones en el cogollo y hojas terminales; 3 = cogollo afectado u hojas adyacentes con muchas puntuaciones de un color amarillo; 4 = cogollo deforme, hojas adyacentes con muchos ácaros, encrespamiento de las hojas, y 5 = cogollo muerto, defoliación con muchos ácaros, caída de las hojas.
- Barrenador del tallo (*Chilomima clarkei*): 1 = planta sana; 2 = menos del 25 % de la corteza destruida; 3 = menos del 50 % de la corteza dañada; 4 = entre 50 y 75 % de la corteza dañada, hojas flácidas, y 5 = más del 75 % de la corteza dañada, plántula muerta.
- Mancha parda fungosa (*Cercospora vicosae*): 1 = sin síntomas, 2 = síntomas en el tercio inferior de la planta, 3 = síntomas foliares en el tercio inferior y tercio medio de la planta, 4 = síntomas en los tres tercios de la planta y 5 = síntomas en toda la planta, con más del 50 % de las hojas afectadas.
- Superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*): 1 = planta sana; 2 = pocos chancros en venas principales y secundarias de las hojas; 3 = chancros en hojas, pecíolos y ramas; no alargamiento; 4 = alargamiento, y 5 = muerte descendente.

- Bacteriosis (*Xanthomonas* sp.): 1 = planta sana; 2 = puntos en las hojas, manchas angulares; 3 = marchitamiento en hojas y defoliación, 4 = exudación en tallos, y 5 = muerte descendente de la planta.
- Antracnosis (*Colletotrichum* o *Glomerella manihotis*): 1 = sin síntomas visibles, 2 = manchas foliares y/o quemazón o distorsión foliar, 3 = quemazón foliar (chanchos en el tallo), 4 = muerte descendente y/o marchitez y 5 = muerte de más del 70 % de la planta.
- Mosca blanca: 1 = planta sana; 2 = presencia de pocos adultos; 3 = presencia de adultos y huevos; 4 = presencia de adultos, huevos y ninfas, y 5 = presencia de fumagina.
- Cuero de sapo: 1 = no hay síntomas, 2 = medio, 3 = severo, 4 = muy severo y 5 = extremadamente severo.
- Mosca del cogollo: 1 = planta sana; 2 = perforaciones en hojas; la planta presenta apariencia normal; 3 = perforaciones en el tallo; la planta presenta apariencia normal; 4 = perforaciones en el cogollo, y 5 = cogollo muerto con pudrición y caída.

Protocolo de evaluación de la calidad física y culinaria de las raíces de yuca

Algunos de los criterios de calidad de la yuca para mercado en fresco están relacionados con la calidad física y culinaria de las raíces. La buena calidad de las raíces de yuca que se ofrecen en el mercado en fresco está asociada generalmente con los siguientes aspectos: a) bajo contenido de glucósidos cianogénicos, medido en la forma de ácido cianhídrico (HCN) (< 90 ppm), compuesto que les da sabor amargo a las raíces de yuca y es tóxico al consumirlo; b) contenido entre intermedio y alto de materia seca (> 30 %) y de almidón, y c) buena calidad culinaria y resistencia al deterioro. El punto exacto de cocción es diferente para cada variedad de yuca, pues cambia si se utiliza solo el parénquima del centro de las raíces o solo el de los extremos; por lo tanto, es muy importante que la materia prima sea homogénea. Las raíces deben ablandarse suficientemente a los 20 min de cocción. Es altamente deseable que, para consumo fresco, las raíces sean

fáciles de pelar, lo que implica que no deben tener constricciones marcadas o frecuentes.

La calidad es la totalidad de las condiciones y características de un producto que lo hacen cumplir con los requerimientos del mercado y con el gusto o la aceptabilidad del consumidor. La calidad física tiene que ver con la forma y el tamaño de las raíces y la calidad culinaria, con el tiempo de cocción o preparación de las raíces y con la aceptación por degustación que manifiesta el consumidor. Las raíces de yuca que son de excelente calidad culinaria tienen un tiempo óptimo de cocción entre 20 y 30 min. Otros factores para determinar la buena calidad culinaria de la yuca son los siguientes: a) la textura o consistencia: la yuca cocida debe ser firme, sin porciones duras o vidriosas, y el almidón que contiene debe ser blanco o de color amarillento, pero nunca transparente; b) el sabor: no debe ser ni amargo ni dulce (neutro), pues lo primero significa que las raíces tienen un contenido alto de glucósidos cianogénicos y lo segundo, que tienen un alto contenido de azúcares, y c) las fibras: no debe tenerlas, ni tampoco tejidos dentro del parénquima. Estos factores se detectan principalmente al degustar los trozos de yuca, ya que no podrían percibirse mediante la observación de su apariencia externa.

A continuación, se describe el procedimiento para la realización de pruebas de evaluación del tamaño y de cocción de las raíces de yuca:

1. Escoger en el lote entre 2 y 3 plantas de los materiales de yuca a evaluar y cosecharlas completas, sin dañar las raíces.
2. Cortar todas las raíces de cada planta (teniendo especial cuidado al separar la raíz del tallo y dejando un pequeño trozo de pedúnculo o tocón).
3. Seleccionar las raíces de acuerdo con la siguiente clasificación:
 - Raíces comerciales: raíces grandes o medianas, con diámetro mayor de 5 cm
 - Raíces no comerciales: raíces pequeñas, con diámetro menor de 5 cm
 - Raicillas: raíces muy pequeñas y delgadas, con diámetro menor de 2 cm
4. Lavar y secar todas las raíces, y pesar de acuerdo con los tres grupos seleccionados.

5. Pelar las raíces comerciales y cortar 1 o 2 cilindros de 6 cm de longitud de la parte central de cada raíz.
6. Partir cada cilindro por la mitad (2 trozos), descartar la parte fibrosa y/o leñosa del centro y pesar los trozos empacados en una bolsita de tela, previamente identificada.
7. Aparte, calentar agua potable (aproximadamente 2 l) en una olla hasta que hierva.
8. Cuando el agua esté hirviendo, introducir los trozos en la olla de cocción.
9. Empezar a contabilizar el tiempo.
10. Al transcurrir 10 min, introducir un tenedor a los trozos de yuca y observar su consistencia (el tenedor debe penetrar suavemente).
11. Introducir el tenedor cada 5 min, hasta que los trozos tengan la textura adecuada. Al final, la yuca cocida debe tener una consistencia entre firme y blanda.
12. Si después de 60 min, los trozos no han alcanzado la consistencia esperada, se detiene la prueba.
13. Dejar enfriar un poco los trozos de yuca y pesar los trozos cocidos.
14. Finalmente, evaluar (de forma preliminar) los otros factores de importancia en la calidad culinaria: textura (dura/vidriosa, blanda/firme), sabor (amargo, neutro o dulce) y fibras.
15. Los análisis de retención de β -carotenos después del proceso de cocción serán realizados usando la técnica de HPLC.

Recientemente se ha descrito un protocolo para la valoración facilitada de tiempo de cocción pesando las raíces antes de iniciar la cocción y luego de 20 min. Una buena calidad está asociada con la absorción de agua mientras las raíces hierven. Mientras mayor sea el incremento del peso en los trozos de raíces luego de 20 min de cocción, mayor la absorción de agua y menor el tiempo requerido de cocción (Tran et al., 2021).

Construcción de costos para generar cultivares y estimación de costo-beneficio

Con el fin de establecer los costos de las nuevas variedades de yuca, así como también de las tecnologías trabajadas con agricultores, se construye una herramienta de captura de información que permite registrar los costos fijos y variables de los genotipos seleccionados que se validen en campo. Para esto se tendrán en cuenta los siguientes costos:

- Costos de infraestructura y/o herramientas
- Costos de insumos
- Costos de establecimiento de los genotipos
- Costos de mantenimiento de los genotipos
- Costos de cosecha
- Costos de monitoreo por hectárea y/o planta
- Costo de análisis de laboratorios
- Costo de asistencia técnica
- Otros (arriendo, administrativos, trámites de registro, etc.)

La construcción de costos se realiza para los genotipos seleccionados y validados en campo con los productores de las regiones de estudio, como ejemplo se presenta una estructura de costos (Anexo 1).

Los datos son registrados en la herramienta por el equipo investigador que se encuentre en campo durante el tiempo que conlleve el establecimiento, mantenimiento y cosecha de los genotipos. Los datos obtenidos se cuantifican con los precios comerciales que se manejen en la región y no en los centros de investigación de AGROSAVIA.

Por otro lado, con la misma herramienta se construyen los costos de establecimiento, mantenimiento y cosecha de los cultivos que actualmente maneja el productor (testigo regional), incluyendo las prácticas agrícolas

que lleva a cabo, con el fin de tener una base de comparación y análisis con los genotipos desarrollados por la Corporación, paralelamente el equipo de investigación tiene en cuenta las variables productivas que presentan los cultivares.

Estimación de la relación costo-beneficio

Con el fin de analizar el beneficio económico que recibe el productor al implementar los genotipos potenciales a ser registrados, comparado con el de los cultivos que maneja actualmente (testigo regional), se realiza el cálculo de la relación costo-beneficio, en la cual se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Los costos totales del cultivo (establecimiento, producción, mantenimiento y cosecha) por hectárea
- Los costos de los métodos convencionales utilizados por los productores
- El rendimiento de producción con los nuevos genotipos
- El rendimiento de producción con los cultivos actuales
- El precio de venta de la yuca, de acuerdo con el uso (consumo fresco o uso industrial)
- El porcentaje de disminución de pérdidas
- El porcentaje de mejoras con los nuevos genotipos
- El porcentaje de afectación por enfermedades y/o plagas
- El mejoramiento de la calidad (incluyendo la calidad nutricional)
- La mejora en la estabilidad del comportamiento agronómico (particularmente el contenido de materia seca)
- Otros factores

Capítulo 5.

Metodología del mejoramiento genético para la obtención de variedades de yuca registradas

Elvia Amparo Rosero Alpala, Eberto Rodríguez Henao, Sandra Milena Salazar Erazo, Nelson Morante Herrera, Fernando Calle Calle, Jorge Iván Lenis Calderón, Hernán Ceballos Lascano

Siguiendo el proceso mencionado en los capítulos anteriores, diferentes variedades han sido desarrolladas a través de procesos de cruzamiento y selección en poblaciones segregantes, así como también a través de la verificación y desempeño agronómico superior en poblaciones o genotipos previamente desarrollados. En este capítulo se describe la información de pedigrí y metodología usada para la producción, evaluación, selección y registro de las variedades de yuca comerciales en Colombia.

El mejoramiento genético de la yuca comienza con una actividad de gran relevancia para el cultivo, no solo en Colombia, sino en el mundo entero: la colección de un gran número de genotipos de yuca (la mayoría, variedades regionales) principalmente en América del Sur. Este esfuerzo, liderado por el eminente botánico Víctor Manuel Patiño Rodríguez (principalmente entre los años 1969 y 1972), resultó en la creación de la colección de germoplasma de yuca, como repositorio de la variabilidad genética del cultivo, el cual fue mantenido en las instalaciones del CIAT en el Valle del Cauca. Cada genotipo en la colección se identifica con letras, que codifican el país de origen, y números, que discriminan los distintos clones provenientes de un mismo país. Todos los nombres, sin embargo, comienzan con la letra M (por *Manihot*).

Los inicios del mejoramiento genético de la yuca en Colombia están estrechamente ligados al cruzamiento de clones de la colección de germoplasma. Seguidamente se comenzaron a utilizar como progenitores clones mejorados, identificados también con letras y números. Las letras

distinguen entre cruzamientos controlados (cm y cg) y los de polinización abierta (sm). Los números identifican la familia de hermanos completos o medios hermanos: los dos progenitores conocidos en cruzamientos controlados, o bien el progenitor femenino y vivero de policruza en los cruzamientos abiertos. Finalmente, luego de la identificación de la familia, y separado por un guion, se identifican los genotipos individuales de cada familia.

La genealogía de las diferentes variedades registradas con diferentes fines, consumo fresco, doble propósito y uso industrial, se encuentran distribuidas en diferentes familias (figura 5.1). Se resalta la primera gran familia (I), en la cual 8 variedades fueron liberadas; esta familia incluyó 11 parentales provenientes del banco de germoplasma y 7 parentales obtenidos como F₁, y que más adelante se identificaron como genotipos élite, entre los cuales se incluyen las variedades recientemente liberadas Corpoica-Belloti, Corpoica-Cumbre 3 y Corpoica-La Francesa.

Por otra parte, las variedades Corpoica-Ropain, Corpoica-Sinuana y Agrosavia Melúa-31 provienen de una misma familia (II), cuyas relaciones están determinadas por la inclusión de parentales similares, aunque pueden provenir de cruzamientos realizados en diferentes años. En esta familia, 4 genotipos provenientes de bancos de germoplasma fueron usados; 3 genotipos élite y más de 7 de estas variedades liberadas a partir de esta familia provienen de campos de policruzamientos, que en la figura 5.1 se identifican como parentales desconocidos. Las variedades Corpoica-Ginés, Corpoica Nataima-31 y Corpoica-Verónica fueron obtenidas en cruzamientos individuales a partir de parentales provenientes de bancos de germoplasma, y tan solo Corpoica-Verónica incluyó un parental élite. Finalmente, se reconocen como variedades los genotipos que, haciendo parte del banco de germoplasma, fueron usados en diferentes evaluaciones hasta llegar a ser identificados como variedades, entre estas están Manihoica P-11, Manihoica P-12 y Manihoica P-13. Corpoica-Tai, por su parte, fue introducida a Colombia desde Tailandia, y fue el proceso de evaluación el que determinó su potencial de liberación como nueva variedad para la Costa Caribe.

Por otra parte, las variedades forrajeras provienen de diferentes familias (figura 5.2), entre ellas se resalta la selección desde un cruzamiento similar al que originó Corpoica-Belloti (I), y que en la línea de las forrajeras fue Corpoica SM 2546-40; en esta misma familia se dio origen a una segunda variedad: Corpoica SM 2769-11.

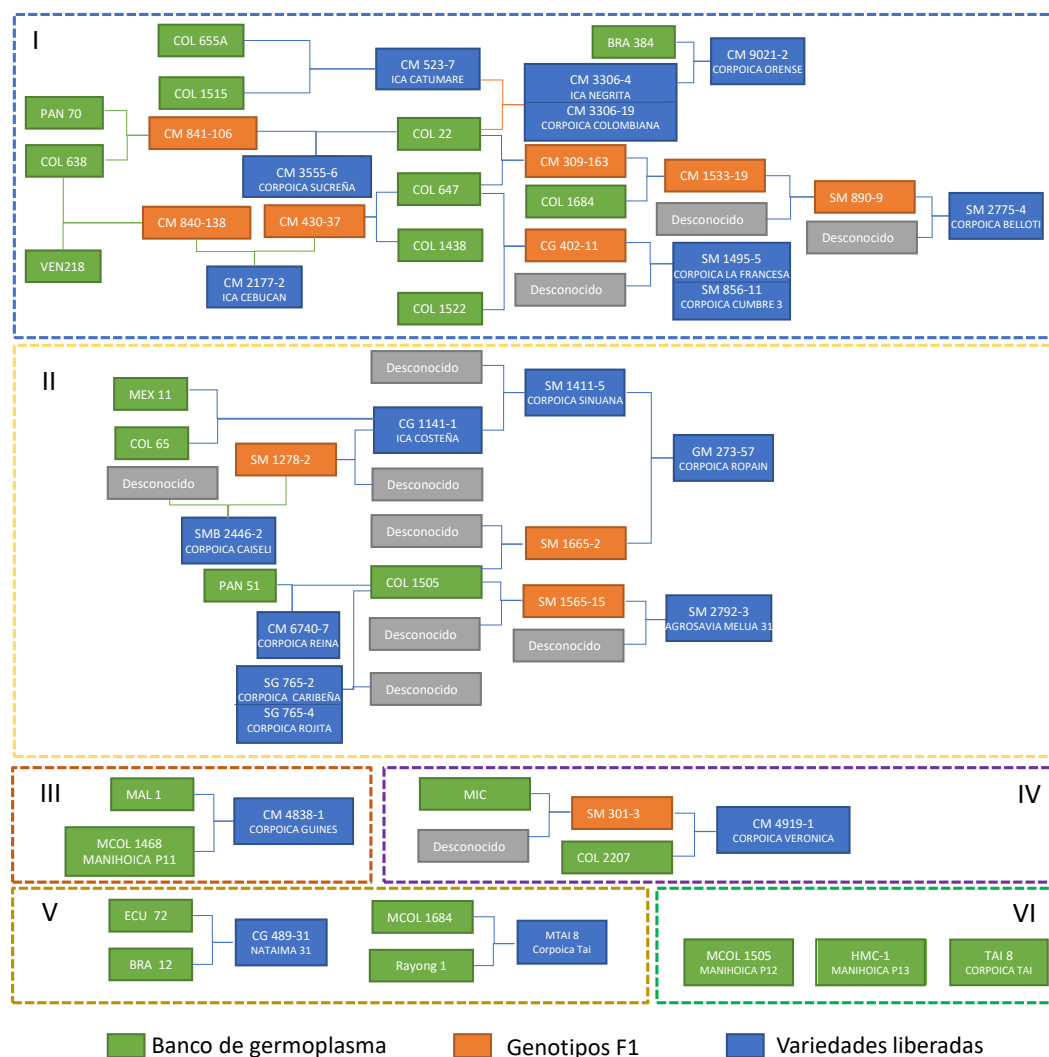
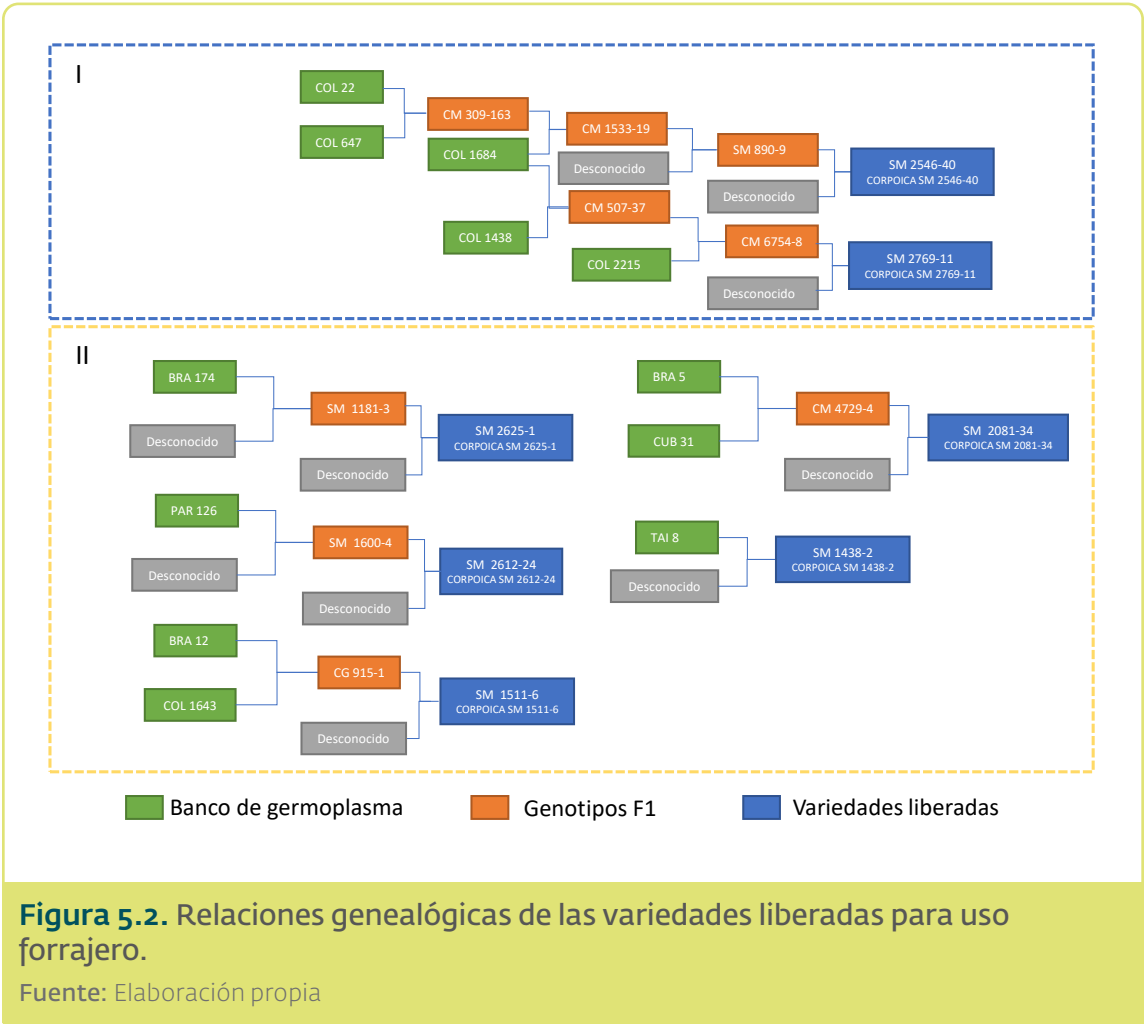


Figura 5.1. Relaciones genealógicas de las variedades liberadas para consumo fresco, doble propósito y uso industrial.

Fuente: Elaboración propia



A continuación, se describe el origen genealógico y el proceso de obtención para cada una de las variedades registradas de acuerdo con su uso:

Variedades de yuca aptas para el consumo fresco

Manihoica P-11

Nombre experimental:

CMC 40 (MCOL 1468)

Metodología de mejoramiento

En 1962, el ICA realizó un programa de cruzamientos entre variedades promisorias seleccionadas; para esto, varias introducciones fueron usadas como insumo de evaluación y posteriores cruzamientos. MCOL 1468 fue una introducción de Brasil, y corresponde a una variedad mejorada en 1957 por el Instituto Agronómico de Campiñas, la cual fue liberada como Mantiqueira. El ICA y el CIAT, para los años 1974 y 1975, identificaron al clon CMC 40 por sus características sobresalientes, y en el año 1984 fue liberado como la variedad Manihoica P-11.

Se desconocen los detalles de su genealogía. CMC 40 se identifica como MCOL 1468 en la colección de germoplasma.

Manihoica P-12

Nombre experimental:

CMC 76 (MCOL 1505)

Metodología de mejoramiento

El genotipo CMC 76 se reconoce en el banco de germoplasma como MCOL 1505. Fue una introducción a la colección desde la Universidad Central de Venezuela (UCV). Durante los años 1974 y 1975 se identificó el clon CMC 76 por sus características sobresalientes, y en el año 1984 fue liberado como la variedad Manihoica P-12. Se desconocen los detalles de su genealogía.

Manihoica P-13

Nombre experimental:	HMC-1
Genealogía:	CMC 9 × N. N.
Progenitor femenino:	CMC 9
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad proviene del cruzamiento abierto en bloques de cruzamiento de la variedad CMC 9, también conocida como Llanera. Estos cruzamientos se realizaron en el Centro Nacional de Investigación del ICA en Palmira. La semilla sexual de estos cruzamientos se irradió con rayos gamma a diferentes intensidades en la Universidad del Valle. La progenie resultante fue evaluada y seleccionada, y mostró resultados prometedores el cruzamiento 71-1-145, el cual ingresó a pruebas regionales en 1977 como HMC-1 o Híbrido Manihot Colombia n.º 1, por ser el primero producido de esta forma.

ICA-Cebucán

Nombre experimental:	CM 2177-2
Genealogía:	CM 430-37 × CM 840-138
Progenitor femenino:	CM 430-37
Progenitor masculino:	CM 840-138

Metodología de mejoramiento

ICA-Cebucán es una variedad producida como resultado del cruzamiento efectuado en 1980 entre dos clones híbridos, cuyos padres fueron obtenidos desde los cruzamientos dirigidos entre las regionales Llanera (COL 1438) × Tempranita (COL 647), lo que dio origen a la madre; la regional Chirrosa Yema de Huevo (COL 638) × MVEN 218 (introducción venezolana incluida en el banco de germoplasma del CIAT) dio origen al padre.

ICA-Catumare

Nombre experimental:	CM 523-7
Genealogía:	MCOL 655A × MCOL 1515
Progenitor femenino:	MCOL 655A
Progenitor masculino:	MCOL 1515

Metodología de mejoramiento

El genotipo experimentalmente llamado CM 523-7 proviene del cruzamiento realizado en 1975 entre una variedad de los Llanos conocida como Guajiba (MCOL 655A) y un clon colectado en el departamento del Cesar referenciado en el banco de germoplasma del ICA como CMC 86 (MCOL 1515).

ICA-Costeña

Nombre experimental:	CG 1141-1
Genealogía:	MMEX 11 × MCOL 65
Progenitor femenino:	MMEX 11
Progenitor masculino:	MCOL 65

Metodología de mejoramiento

MMEX 11 fue colectado en Veracruz (México) y MCOL 65 corresponde al clon regional Blanca Mona, colectado en mayo de 1969 en Sucre (Colombia). En el año 1985 la línea CG 1141-1 fue seleccionada en su primera generación clonal, por su tipo de planta, resistencia a plagas y enfermedades, buena calidad de raíces y rendimiento. A partir de 1986 se evaluó en ensayos de rendimiento, y desde 1987 en adelante, en pruebas regionales y ensayos con agricultores.

ICA-Negrita

Nombre experimental:	CM 3306-4
Genealogía:	MCOL 22 × CM 523-7
Progenitor femenino:	MCOL 22
Progenitor masculino:	CM 523-7 (MCOL 655A × COL 1515)

Metodología de mejoramiento

Variedad resultante del cruzamiento usando como madre al genotipo MCOL 22, también conocido como Ayapelana, y como padre a ICA-Catumare (CM 523-7), un clon del cruce entre MCOL 655A, que fue colectado en el departamento del Meta, donde se conoce como Guajiba, y COL 1515, que fue colectado en Aguachica (Cesar).

Corpoica-Caribeña

Nombre experimental:	SGB 765-2
Genealogía:	MCOL 1505 × N. N.
Progenitor femenino:	MCOL 1505 (Manihot P-12 o Verdecita)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Polinización libre del clon MCOL 1505 (variedad Manihot P-12 o Verdecita). La variedad corresponde a las selecciones 2 de la familia SG 765, realizada en 1986 en el Centro de Investigación El Carmen de Bolívar.

Corpoica-Reina

Nombre experimental:	CM 6740-7
Genealogía:	MCOL 1505 × MPAN 51
Progenitor femenino:	MCOL 1505
Progenitor masculino:	MPAN 51

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de los cruzamientos realizados en el CIAT de Palmira, durante el año 1987, entre una variedad de la colección de Colombia (MCOL 1505) y una variedad introducida de Panamá (MPAN 51). A partir de 1989 se empezó su evaluación en campo, tanto en Palmira como en los Llanos Orientales de Colombia. La variedad corresponde a la selección 7 de la familia CM 6740, y fue escogida por su adaptación a las terrazas medias y altas del piedemonte del Meta.

Corpoica-Rojita

Nombre experimental:	SGB 765-4
Genealogía:	MCOL 1505 × N. N.
Progenitor femenino:	MCOL 1505 (Manihot P-12 o Verdecita)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Polinización libre del clon MCOL 1505 (variedad Manihot P-12 o Verdecita). La variedad corresponde a la selección 4 de la familia SG 765, realizada en 1986, en el Centro de Investigación El Carmen de Bolívar.

Nataima-31

Nombre experimental:	CG 489-31
Genealogía:	MECU 72 × MBRA 12
Progenitor femenino:	MECU 72
Progenitor masculino:	MBRA 12

Metodología de mejoramiento

Cruzamiento efectuado en 1980 entre las variedades MECU 72 (Ecuador) y MBRA 12 (Brasil). De la progenie de este cruzamiento fue seleccionado el genotipo CG 489-31 como resistente a mosca blanca.

Variedades de yuca aptas para el uso agroindustrial

Corpoica-Colombiana

Nombre experimental:	CM 3306-19
Genealogía:	MCOL 22 × CM 523-7
Progenitor femenino:	MCOL 22
Progenitor masculino:	CM 523-7 (MCOL 655A × MCOL 1515)

Metodología de mejoramiento

La familia de hermanos completos CM 3306 se generó de la cruce MCOL 22 × CM 523-7. Por lo cual, está estrechamente relacionada con ICA-Negrita, la cual se originó de la misma cruce. El progenitor femenino (MCOL 22) fue cruzado con ICA-Catumare. La variedad corresponde a la selección 19 de la familia CM 3306 en la primera generación clonal de la F₁ en 1982.

Corpoica-Sucreña

Nombre experimental:	CM 3555-6
Genealogía:	MCOL 22 × CM 841-106
Progenitor femenino:	CM 841-106 (MCOL 638 × MPAN 70)
Progenitor masculino:	MCOL 22

Metodología de mejoramiento

La variedad corresponde al sexto genotipo de la familia CM 3555 en la primera generación clonal de la F₁. CM 3556 es una familia de hermanos completos derivada de la cruce entre CM 841-106 (que a su vez se originó de la cruce MCOL 638 × MPAN 70) y la variedad regional MCOL 22.

Corpoica-Caiseli

Nombre experimental:	SMB 2446-8
Genealogía:	SM 1278-2 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 1278-2 (CG 1141-1 [MMEX 11 × MCOL 65] × N. N.)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

El clon SMB 2446-8 es el producto de una hibridación realizada en el CIAT de Palmira en el año 1989, mediante polinización abierta, utilizando como madre el genotipo SM 1278-2 (el cual a su vez fue derivado de un cruzamiento abierto usando a ICA-Costeña como progenitor femenino). La variedad Caiseli corresponde al octavo genotipo de la familia SMB 2446-8.

Corpoica-Ginés

Nombre experimental:	CM 4843-1
Genealogía:	MCOL 1468 × MMAL 21
Progenitor femenino:	MCOL 1468
Progenitor masculino:	MMAL 21

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una hibridación realizada en el CIAT, en el año 1983, utilizando como madre el clon MCOL 1468 y como padre el clon MMAL 21. Esta variedad corresponde a la selección del primer genotipo de la familia de hermanos completos CM 4843, en la primera generación clonal de la F₁, en 1994, en Palmira (Valle del Cauca) y Santo Tomás (Atlántico). El clon MCOL 1468, utilizado como progenitor femenino, es una variedad conocida con el nombre de Mantiqueira en Brasil y liberada en Colombia para los Valles Interandinos con el nombre de Manihoica P-11.

Corpoica-Verónica

Nombre experimental:	CM 4919-1
Genealogía:	MCOL 2207 × SM 301-3
Progenitor femenino:	MCOL 2207
Progenitor masculino:	SM 301-3 (MIC × N. N.)

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una hibridación realizada en el CIAT en el año 1983, utilizando como madre el clon MCOL 2207 y como padre el clon SM 301-3. Esta variedad corresponde a la selección del genotipo identificado con el número 1 de la familia CM 4919, en la primera generación clonal de la F₁. Estas selecciones fueron realizadas en 1984 en Palmira (Valle del Cauca) y Santo Tomás (Atlántico). El clon MCOL 2207, utilizado como progenitor femenino, corresponde a la variedad regional Enanita, sembrada en la costa norte de Colombia. El clon SM 301-3, utilizado como progenitor masculino, corresponde a la selección 3 de la familia SM 301, realizada en el CIAT, y cuyo progenitor femenino fue MIC.

Corpoica-Tai

Nombre experimental:	MTAI 8
Genealogía:	MCOL 1684 × Rayong 1
Progenitor femenino:	MCOL 1684
Progenitor masculino:	Rayong 1

Metodología de mejoramiento

Esta variedad fue obtenida a partir de introducciones realizadas desde Tailandia, en donde se le conoce con el nombre comercial de Rayong 60, liberada en ese país en 1987. A Colombia fue introducida en el año 1986 por el CIAT, con el código MTAI 8. Este clon proviene del cruzamiento, realizado en Tailandia, entre la variedad colombiana MCOL 1684 y la variedad regional Rayong 1. El nombre Tai hace alusión a las iniciales del país de donde se hizo la introducción de este clon (Tailandia), el cual se ha popularizado entre los

agricultores que han participado en el proceso de evaluación en las diferentes pruebas comerciales que se establecieron en la región Caribe.

Corpoica-Orense

Nombre experimental:	CMB 9021-2
Genealogía:	ICA-Negrita × MBRA 384
Progenitor femenino:	CM 3306-4 (MCOL 22 × CM 523-7 [MCOL 655A × MCOL 1515])
Progenitor masculino:	MBRA 384

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una hibridación realizada en el CIAT de Palmira en 1994 utilizando como madre el clon BRA 384 y como padre la variedad ICA-Negrita. El clon CMB 9021-2 corresponde a la selección 2 realizada en la primera generación F₁ de la familia CMB 9021. Esta selección fue realizada en el año 1997 en el Centro de Investigación El Carmen de Bolívar de Corpoica. El clon BRA 384 es un clon originario de Brasil, introducido al CIAT en el año 1982 con el nombre local brasileiro Cacau 4.

Corpoica-Belloti

Nombre experimental:	SM 2775-4
Genealogía:	SM 890-9 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 890-9 (CM 1533-19 × N. N.)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

SM 2775 es una familia de hermanos medios y, por lo tanto, solo se conoce su progenitor femenino (SM 890-9), el cual a su vez se originó de un cruzamiento abierto usando a CM 1533-19 como progenitor femenino. Asimismo, CM 1533-19 se originó de la cruce controlada entre CM 309-163 × 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 el año 1999.

Corpoica-Ropain

Nombre experimental:	GM 273-57
Genealogía:	GM 1411-5 × SM 1665-2
Progenitor femenino:	SM 1411-5 (CG 1141-1 [MMEX 11 × MCOL 65] × N. N.)
Progenitor masculino:	SM 1665-2 (MCOL 1505 × N. N.)

Metodología de mejoramiento

GM 273-57 es una familia de hermanos completos derivada de la cruce entre SM 1411-5 y SM 1665-2. La madre de Ropain es la variedad Corpoica Sinuana y el padre es el clon SM 1665-2, que fuera derivado de una polinización abierta usando a MCOL 1505 como madre.

Corpoica-Sinuana

Nombre experimental:	SM 1411-5
Genealogía:	CG 1141-1 × N. N.
Progenitor femenino:	CG 1141-1 (MMEX 11 × MCOL 65)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

SM 1411 es una familia de hermanos medios cuyo progenitor femenino es la variedad ICA-Costeña. La variedad Sinuana corresponde al quinto genotipo de dicha familia. Los cruzamientos que dieron origen a este genotipo se realizaron durante el año 1999 e iniciaron el proceso de evaluación como un ensayo F_i trasplantado en Palmira en el año 2000.

AGROSAVIA Melúa-31

Nombre experimental:	SM 2792-31
Genealogía:	SM 1565-15 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 1565-15
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad fue obtenida en el programa de mejoramiento del CIAT a partir de semillas sexuales producidas en lote de policruzamiento durante el año 1997; solamente el parental femenino es conocido: SM 1565-15. La siembra de la F₁ se llevó a cabo en 1998. Al año siguiente, tras haber sido seleccionado en el F₁C₁ (1999), este se incluyó en la evaluación en campo de observación (2000) y se continuó con su avance hasta cubrir las etapas de ensayo preliminar de rendimiento (2001), ensayo avanzado de rendimiento (2002-2003), pruebas regionales (2003-2009) y pruebas semicomerciales (2013-2017).

Variedades de yuca aptas para uso doble propósito (agroindustria y consumo fresco)

Corpoica-La Francesa

Nombre experimental:	SM 1495-5
Genealogía:	CG 402-11 × N. N.
Progenitor femenino:	CG 402-11 (MCOL 1522 × MCOL 647)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

SM 1495 es una familia de hermanos medios y, por lo tanto, solo se conoce su progenitor femenino (CG 402-11), que proviene de una polinización controlada entre MCOL 1522 y MCOL 647 (este último con fuente de resistencia a bacteriosis). Los cruzamientos que dieron origen al genotipo SM 1495 se realizaron durante el año 1988 e iniciaron el proceso de evaluación como un ensayo F₁ trasplantado en la Estación Experimental del CIAT en Palmira en el año 1990. Por ser una familia de hermanos medios, no se conoce el progenitor masculino, el cual es diferente al que originó la familia SM 856 (a la que pertenece la variedad Cumbre 3), ya que proviene de una parcela de policruzamientos diferente. Gran parte de las evaluaciones de campo se realizaron en zonas de altura superior a los 1.200 m s. n. m., en los departamentos de Cauca y Nariño y en el sur del departamento del Valle del Cauca.

Corpoica-Cumbre 3

Nombre experimental:	SM 856-11
Genealogía:	CG 402-11 × N. N.
Progenitor femenino:	CG 402-11 (MCOL 1522 × MCOL 647)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

SM 856 es una familia de hermanos medios utilizando como progenitor femenino a CG 402-11, que proviene de una polinización controlada entre MCOL 1522 y MCOL 647 (este último, una buena fuente de resistencia a bacteriosis). Las variedades La Francesa y Cumbre 3 comparten el mismo progenitor femenino. Por ser una familia de hermanos medios no se conoce el progenitor masculino. Los cruzamientos que dieron origen al genotipo SM 856-11 se realizaron durante el año 1985 e iniciaron el proceso de evaluación como un ensayo F₁ trasplantado en la Estación Experimental en Palmira en el año 1986.

Variedades de yuca forrajera aptas para alimentación animal

Corpoica SM 1438-2

Nombre experimental:	SM 1438-2
Genealogía:	MTAI 8 × N. N.
Progenitor femenino:	MTAI 8
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1989. La semilla se obtuvo de MTAI 8, originario de Tailandia. SM 1438-2 corresponde al clon número 2 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de la familia de medios hermanos SM 1438 en el año 1992. En el año 1997, este clon pasó a ser élite del programa de mejoramiento de yuca del CIAT. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 2625-1

Nombre experimental:	SM 2625-1
Genealogía:	SM 1181-3 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 1181-3 (MBRA 174 × N. N.)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza. Esta policruza se realizó en el CIAT de Palmira en 1997, utilizando como madre el clon SM 1181-3. SM 2625-1 correspondió al clon número 1 dentro de la primera generación clonal de la F₁ (F₁C₁) de la familia de medios hermanos SM 2625 en el año 2000. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 2612-24

Nombre experimental:	SM 2612-24
Genealogía:	SM 1600-4 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 1600-4 (MPAR 126 × N. N.)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1996 utilizando como madre el clon SM 1600-4. La selección SM 2612-24 correspondió al clon número 24 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de la familia de medios hermanos SM 2612 en el año 2000. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 1511-6

Nombre experimental:	SM 1511-6
Genealogía:	CG 915-1 × N. N.
Progenitor femenino:	CG 915-1 (MBRA 12 × MCOL 1643)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1990 utilizando como madre el clon CG 915-1. SM 1511-6 correspondió al clon número 6 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de la familia de medios hermanos SM 1511 en el año 1993. En el año 1998, este clon pasó a ser clon élite del programa de mejoramiento de yuca del CIAT. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 2546-40

Nombre experimental:	SM 2546-40
Genealogía:	SM 890-9 × N. N.
Progenitor femenino:	SM 890-9 (CM 1533-19 (CM 309-163 (MCOL 22 × MCOL 647)) × MCOL 1684)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1996 utilizando como madre el clon SM 890-9. Comparte, por lo tanto, la misma madre con Corpoica-Belloti. La selección SM 2546-40 correspondió al clon número 40 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de

la familia de medios hermanos SM 2546 en el año 2000. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 2081-34

Nombre experimental:	SM 2081-34
Genealogía:	CM 4729-4 × N. N.
Progenitor femenino:	CM 4729-4 (MBRA 5 × MCUB 31)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1993 utilizando como madre el clon CM 4729-4. SM 2081-34 correspondió al clon número 34 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de la familia de medios hermanos SM 2081 seleccionado en el año 1996. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2004, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Corpoica SM 2769-11

Nombre experimental:	SM 2769-11
Genealogía:	CM 6754-8 × N. N.
Progenitor femenino:	CM 6754-8 (CM 507-37 [MCOL 1438 × MCOL 1684] × MCOL 2215)
Progenitor masculino:	Desconocido

Metodología de mejoramiento

Esta variedad es producto de una policruza entre diferentes clones, en la que solo se conoce el progenitor femenino. El padre puede ser cualquiera de los clones que formaron parte de la policruza plantada en Palmira en 1998 utilizando como madre el clon CM 6754-8. SM 2769-11 correspondió al clon número 11 dentro de la primera generación clonal de la F₁ de la familia de medios hermanos SM 2769 en el año 2000. Posteriormente, este clon fue seleccionado por su comportamiento en una prueba regional del CIAT en el año 2003, en la localidad de Valencia (Córdoba), e incorporado a las evaluaciones como yuca para forraje.

Capítulo 6.

Características morfoagronómicas de las variedades de yuca registradas

Eberto Rodríguez Henao, Elvia Amparo Rosero Alpala, Nelson Morante Herrera, Jorge Iván Lenis Calderón, Sandra Milena Salazar Erazo, Hernán Ceballos Lascano

El proceso de inscripción de un nuevo cultivar o variedad mejorada, en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales del ICA, requiere de una descripción mínima de atributos del clon a registrar como variedad, de manera que sea fácilmente distinguible y que a su vez aporte información respecto a características de rendimiento u otras de interés agroindustrial que favorezcan el registro de un nuevo cultivar comercial. A continuación, se presentan las variedades registradas ante el ICA y las variables con las cuales fueron aceptadas para su respectivo registro.

Variedades de yuca aptas para el consumo fresco

Manihoica P-11 (Toro, 1984)

Código de evaluación CMC 40

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: morado
- Pubescencia de hojas apicales: escasa
- Forma del lóbulo central: elíptica
- Color de los pecíolos: púrpura

- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: marrón

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 300

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 29,6 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 32%

Manihoica P-12 (Toro, 1984)

Código de evaluación CMC 76

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: abundante
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: verde claro
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: verde claro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 300

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 25,2 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 37%

Manihoica P-13 (Gómez et al., 1986)

Código de evaluación HMC-1

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: púrpura
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: rojizo claro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 300
- Altura a la primera ramificación (cm): 165

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 35,6 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 32,6 %

ICA-Cebucán (Rodríguez & Hershey, 1990)

Código de evaluación CM 2177-2

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: morado claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Color de los pecíolos: verde
- Color de la hoja: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: verde claro



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 186
- Altura a la primera ramificación (cm): 67
- Niveles de ramificación: 3

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 21,3 t/ha

ICA-Catumare (Rodríguez & Hershey, 1990)

Código de evaluación CM 523-7



Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: rojo
- Color de la hoja: rosado
- Color de la vena foliar: rosado
- Color de la epidermis del tallo: café claro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 218
- Altura a la primera ramificación (cm): 73
- Niveles de ramificación: 4

Características agronómicas

- Rendimiento promedio: 26,7 t/ha

ICA-Costeña (De la Torre & Hershey, 1991)

Código de evaluación CG 1141-1



Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: rojo
- Color del córtex del tallo: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: café claro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 160
- Altura a la primera ramificación (cm): 80

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 23 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 35 %

ICA-Negrita (Pastrana et al., 2014)

Código de evaluación CM 3306-4



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: morado
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: café oscuro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 235
- Altura a la primera ramificación (cm): 90
- Niveles de ramificación: 2

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 15,7 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 37,2 %

Corpoica-Caribeña (López & Jaramillo, 2000a)

Código de evaluación SGB 765-2



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: verde amarillento en el tercio superior de la planta
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: café claro



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 240
- Niveles de ramificación: 2

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 17,4 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 37,7%
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): 150
P. F.: peso en fresco.

Corpoica-Reina (Ceballos, calle et al., 2000)

Código de evaluación CM 6740-7

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde oscuro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: elíptica-lanceolada
- Color de los pecíolos: morado
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color del córtex del tallo: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: café claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto
- Número de semillas vegetativas por planta: 9

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 228
- Altura a la primera ramificación (cm): 120
- Niveles de ramificación: 3
- Hábito de ramificación: erecto

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 23,4 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 35-37,5 %
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): <100

Corpoica-Rojita (López & Jaramillo, 2000b)

Código de evaluación SGB 765-4



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde amarillento
- Pubescencia de hojas apicales: densa
- Forma del lóbulo central: obovada-lanceolada
- Color de los pecíolos: verde amarillento con pigmentación rojiza
- Color de la hoja: verde claro
- Color del córtex del tallo: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: café claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 233
- Niveles de ramificación: 2 o 3
- Habito de ramificación: erecto

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 15,5 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 36,5 %
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): 208

Nataima 31 (Vargas et al., 2002)

Código de evaluación CG 489-31



Foto: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: verde amarillento
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la vena foliar: verde claro
- Color del córtex del tallo: café rojizo
- Color de la epidermis del tallo: café oscuro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 250
- Altura a la primera ramificación (cm): 132
- Niveles de ramificación: 2

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 18,4 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 32,6 %
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): 60

Variedades de yuca aptas para el uso agroindustrial

Corpoica-Colombiana (López et al., 2000a)

Código de evaluación CM 3306-19

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde amarillento
- Pubescencia de hojas apicales: abundante
- Forma del lóbulo central: obovada-lanceolada
- Color de los pecíolos: verde amarillento
- Color de la hoja: verde
- Color del córtex del tallo: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: café claro

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 212
- Niveles de ramificación: 2

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 26,8 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 36,8 %
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): 154

Corpoica-Sucreña (López et al., 2000b)

Código de evaluación CM 3555-6

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde oscuro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: oblonga-lanceolada
- Color de los pecíolos: rosado con manchas violáceas
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color del córtex del tallo: verde oscuro
- Color de la epidermis del tallo: crema
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 225
- Altura a la primera ramificación (cm): 95
- Hábito de ramificación: erecto

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 26 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 39,7 %
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g}$ P. F.): 129

Corpoica-Caiseli (López et al., 2004)

Código de evaluación SMB 2446-8



Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: rojo intenso con manchas verde amarillentas
- Color de la hoja: verde amarillento con pubescencia densa
- Color del córtex del tallo: rojizo
- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: sin ramificaciones

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 212
- Altura a la primera ramificación (cm): 0
- Niveles de ramificación: 0
- Hábito de ramificación: erecto

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 23,5 t/ha
- Yuca seca: 8,61 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 36,6 %

Corpoica-Ginés (López et al., 2004)

Código de evaluación CM 4843-1



Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: elíptica-lanceolada
- Color de los pecíolos: rojo con manchas verdes
- Color de la hoja: verde amarillento con pubescencia densa
- Color del córtex del tallo: gris
- Color de la epidermis del tallo: verde oscuro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: cuatro niveles de ramificaciones

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 207

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 29,4 t/ha
- Yuca seca: 9,6 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 36,2 %

Corpoica-Verónica (López et al., 2004)

Código de evaluación CM 4919-1



Fotos: Hernán Ceballos Lascano, Elvia Amparo Rosero y Jorge Luis García

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde morado
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada

- Color de los pecíolos: verde con pigmentación rojiza con distribución irregular
- Color de la hoja: verde oscuro con ápice verde amarillento
- Color del córtex del tallo: gris claro
- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: sin ramificaciones

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 205
- Altura a la primera ramificación (cm): 120

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 32,95 t/ha
- Yuca seca: 11,5 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 34,9 %

Corpoica-Tai (López et al., 2004)

Código de evaluación MTAI 8

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde morado
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: verde con manchas rojizas en el extremo distal y proximal
- Color de la hoja: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: verde grisáceo
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto



Fotos: Hernán Ceballos Lascano, Elvia Amparo Rosero y Jorge Luis García

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 200
- Altura a la primera ramificación (cm): 120

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 29,45 t/ha
- Yuca seca: 10 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 34 %

Corpoica-Orense (López et al., 2004)

Código de evaluación CMB 9021-2



Fotos: Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: morado claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: lanceolada
- Color de los pecíolos: verde amarillento
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color del córtex del tallo: gris plateado
- Color de la epidermis del tallo: verde oscuro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: dos a tres niveles de ramificación

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 260

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 18,25 t/ha
- Yuca seca: 6,17 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 33,8%

Corpoica-Belloti (Rosero et al., 2020)

Código de evaluación SM 2775-4

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde oscuro
- Pubescencia de hojas apicales: ausente
- Forma del lóbulo central: oblonga-lanceolada
- Color de los pecíolos: verde
- Color de la hoja: verde claro
- Número de lóbulos de la hoja: 9



Fotos: Elvia Amparo Rosero y Jorge Luis García

- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Número de semillas vegetativas por planta: $9,7 \pm 1,8$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): 250 ± 28
- Altura a la primera ramificación (cm): 92 ± 19

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 30,3 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 35,5-39,6 %

Corpoica-Ropain (Rosero et al., 2020)

Código de evaluación GM 273-57



Fotos: Elvia Amparo Rosero y Jorge Luis García

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: ausente
- Forma del lóbulo central: oblonga-lanceolada
- Color de los pecíolos: verde con rojo
- Color de la hoja: verde claro

- Número de lóbulos de la hoja: 7
- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Número de semillas vegetativas por planta: $8,02 \pm 1,3$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): $245,34 \pm 15,72$
- Altura a la primera ramificación (cm): $83,0 \pm 15,4$

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 28,4 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 30,8-33,6 %

Corpoica-Sinuana (Rosero et al., 2020)

Código de evaluación SM 1411-5



Fotos: Elvia Amparo Rosero y Jorge Luis García

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: ausente
- Forma del lóbulo central: elíptica
- Color de los pecíolos: verde con morado
- Color de la hoja: verde claro
- Número de lóbulos de la hoja: 9
- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Número de semillas vegetativas por planta: $9,73 \pm 1,93$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): $252,88 \pm 19,52$
- Altura a la primera ramificación (cm): $88,83 \pm 24,67$

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 31,8 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 32,5-37,2%

AGROSAVIA Melúa-31 (Rosero et al., 2019)

Código de evaluación SM 2792-31

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde claro
- Pubescencia de hojas apicales: presente
- Forma del lóbulo central: oblonga-lanceolada
- Color de los pecíolos: rojo con poco verde
- Color de la hoja: verde oscuro
- Color de la vena foliar: verde



Fotos: Eberto Rodríguez Henao y Franklin Beltrán

- Número de lóbulos de la hoja: 5-7
- Color del córtex del tallo: café oscuro
- Color de la epidermis del tallo: verde claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto
- Número de semillas vegetativas por planta: $11,44 \pm 1,24$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): $292,78 \pm 32,92$
- Altura a la primera ramificación (cm): $133,33 \pm 37,26$

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 26,22 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 36,2 %

Variedades de yuca aptas para uso doble propósito (agroindustria y consumo fresco)

Corpoica-La Francesa (Rodríguez et al., 2020)

Código de evaluación SM 1495-5



Fotos: Claudia Narváez

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde púrpura
- Pubescencia de hojas apicales: ausente
- Forma del lóbulo central: elíptica
- Color de los pecíolos: verde
- Color de la hoja: verde
- Color de la vena foliar: verde
- Orientación del pecíolo: vertical a 45° del tallo
- Número de lóbulos de la hoja: 7
- Largo del pecíolo (cm): 27,5
- Color del córtex del tallo: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: café claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto
- Color de las ramas apicales de las plantas adultas: verde púrpura
- Margen de la estípula: lanceolada
- Número de semillas vegetativas por planta: $5,8 \pm 1,7$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): $151,8 \pm 32,3$
- Altura a la primera ramificación (cm): $62,5 \pm 20,4$
- Niveles de ramificación: 3
- Hábito de ramificación: tricotómico

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 37,4 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 37,7%
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g P. F.}$): 25,35

Corpoica-Cumbre 3 (Rodríguez et al., 2020)

Código de evaluación SM 856-11



Fotos: Claudia Narváez

Descripción morfológica

- Color de hojas apicales: verde púrpura
- Pubescencia de hojas apicales: ausente
- Forma del lóbulo central: elíptica
- Color de los pecíolos: verde con rojo
- Color de la hoja: verde
- Color de la vena foliar: verde
- Orientación del pecíolo: vertical a 45° del tallo
- Número de lóbulos de la hoja: 7

- Largo del pecíolo (cm): 26,3
- Color del córtex del tallo: verde claro
- Color de la epidermis del tallo: café claro
- Hábito de crecimiento de tallos jóvenes: erecto
- Color de las ramas apicales de las plantas adultas: verde púrpura
- Margen de la estípula: lanceolada
- Número de semillas vegetativas por planta: $9,6 \pm 2,5$

Forma de la planta-arquitectura

- Altura total (cm): $210,3 \pm 38,3$
- Altura a la primera ramificación (cm): $96,4 \pm 22,5$
- Niveles de ramificación: 3
- Hábito de ramificación: tricotómico

Características agronómicas

- Rendimiento promedio de raíces: 33,7 t/ha
- Contenido de materia seca en las raíces: 37,2%
- Potencial cianogénico (HCN) ($\mu\text{g/g P. F.}$): 16,11

Variedades de yuca forrajera aptas para alimentación animal

Corpoica SM 1438-2 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 1438-2

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: blanco grisáceo
- Color interno de la cutícula del tallo: rosado crema



Foto: Hernán Ceballos Lascano

- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde oscuro
- Color de las ramas terminales: marrón claro
- Color de la hoja apical: marrón claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4
- Color del pecíolo: verde amarillento
- Estípulas del pecíolo: una bilobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde oscuro
- Pubescencia en la hoja apical: ausente
- Número de lóbulos en la hoja: 7
- Morfología del lóbulo central: lanceolada

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) en una densidad de 43.000 plantas/ha: 86,2 t/ha/año

Corpoica SM 2625-1 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 2625-1

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: blanco grisáceo
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde claro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4
- Color del pecíolo: verde claro en toda su longitud
- Estípulas del pecíolo: una tetralobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro
- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 6
- Morfología del lóbulo central: lanceolada

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 45,6 t/ha/año

Corpoica 2612-24 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 2612-24

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: blanco crema
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde claro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4
- Color del pecíolo: rojizo en toda su longitud de la cara superior
- Estípulas del pecíolo: tetralobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro
- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 8
- Morfología del lóbulo central: lanceolada

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 78,3 t/ha/año

Corpoica 1511-6 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 1511-6



Fotos: Emiro Suárez Paternina y Hernán Ceballos Lascano

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: marrón claro
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde claro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 3
- Color del pecíolo: verde claro en toda su longitud
- Estípulas del pecíolo: una trilobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro
- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 7
- Morfología del lóbulo central: lanceolada

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 52,2 t/ha/año

Corpoica 2546-40 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 2546-40

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: blanco crema
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde claro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4



Foto: Hernán Ceballos Lascano

- Color del pecíolo: rojizo en toda su longitud de la cara superior
- Estípulas del pecíolo: una tetralobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro
- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 7
- Morfología del lóbulo central: oblonga

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 40,3 t/ha/año

Corpoica 2081-34 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 2081-34



Fotos: Emiro Suárez Paternina

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: verde grisáceo
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde oscuro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4
- Color del pecíolo: rojizo en toda su longitud
- Estípulas del pecíolo: una trilobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro

- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 7
- Morfología del lóbulo central: lineal o recta

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 69 t/ha/año

Corpoica 2769-11 (Rivero et al., 2015)

Código de evaluación SM 2769-11

Descripción morfológica

- Color externo de la cutícula del tallo: crema
- Color interno de la cutícula del tallo: marrón claro
- Número de tallos cosechados por planta: 3
- Color externo del córtex del tallo: verde claro
- Color de las ramas terminales: verde claro
- Color de la hoja apical: verde claro
- Número de yemas en 5 cm de tallo: 4
- Color del pecíolo: amarillo
- Estípulas del pecíolo: una trilobulada a cada lado
- Color de las hojas desarrolladas: verde claro
- Pubescencia en la hoja apical: presente
- Número de lóbulos en la hoja: 6
- Morfología del lóbulo central: oblonga-lanceolada

Características agronómicas

- Rendimiento promedio (forraje) 43.000 p/ha: 72 t/ha/año

Capítulo 7.

Proceso de vinculación de variedades mejoradas de yuca y adopción por agricultores

Amaury Aroldo Espitia Montes, Sol Mara Regino Hernández, Eberto Rodríguez Henao, Shirley Patricia Pérez Cantero

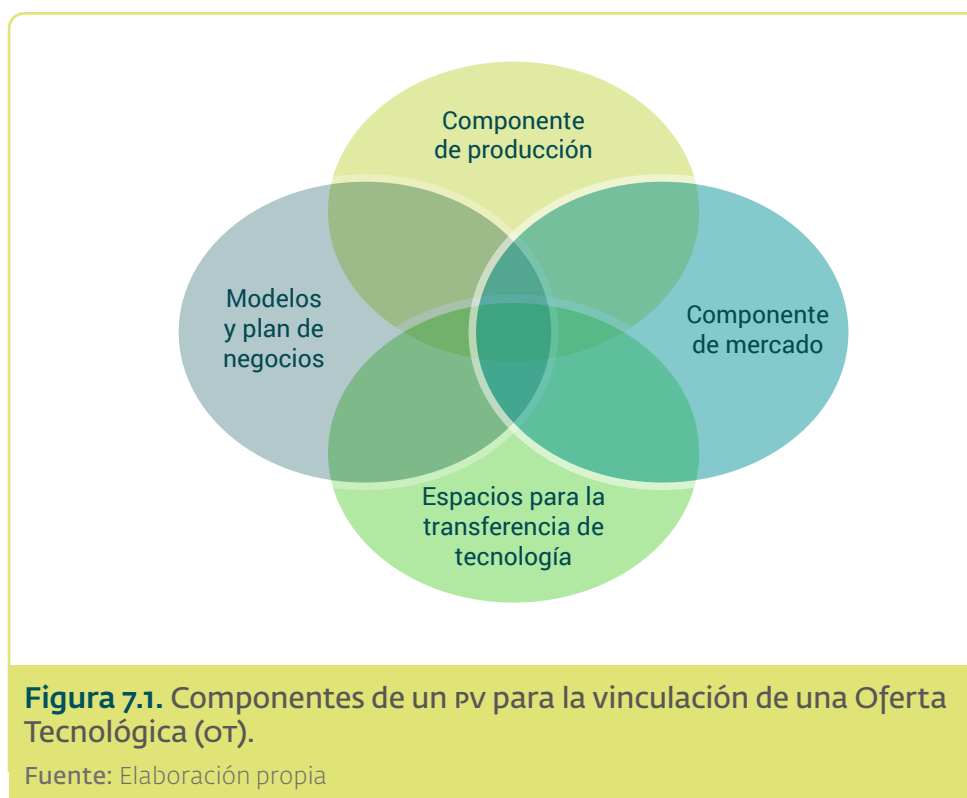
Estrategia de vinculación de AGROSAVIA

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA pone a disposición de productores, asistentes técnicos y comunidad científica tecnologías, productos y servicios generados a partir de los resultados de I+D+i validados que tienen utilidad y valor para los sistemas agropecuarios colombianos, denominados ofertas tecnológicas (OT) y modelos productivos.

Con el objetivo de contribuir a mejorar la producción, la productividad y la calidad de la yuca destinada a la transformación industrial, los proyectos denominados planes de vinculación (PV) son empleados como principal estrategia para divulgar o dar a conocer las ofertas tecnológicas de productos y servicios de AGROSAVIA y/u otras instituciones a diferentes actores de la cadena agroalimentaria y sistemas productivos de yuca a nivel nacional. Los PV son proyectos para la planificación de acciones corporativas que permiten la difusión, divulgación y adopción de información y productos relacionados exclusivamente con las OT.

¿Qué contiene un Plan de Vinculación (PV)?

Un PV está constituido por planes de trabajo basados en cuatro pilares, que pueden actuar articuladamente entre sí o de manera independiente, según la OT y su naturaleza (figura 7.1).



Estos pilares se detallan a continuación:

- Componente de producción: son todas las actividades asociadas con la producción (multiplicación, producción, escalamiento, etc.).
- Componente de mercado: son todas las estrategias de mercado necesarias, teniendo en cuenta elementos como canales, estrategias de promoción, precios, producto, entre otros, que estén diseñadas según

el tipo de público al que se quiere llegar y que integran las diferentes OT que conforman el PV.

- Modelos y plan de negocios: es el modelo para desarrollar por cada especie productiva, de tal forma que se pueda llegar a los diferentes mercados.
- Espacios para la transferencia de tecnología: espacios para la transferencia de tecnología (vitrinas tecnológicas de aprendizaje, módulos demostrativos, parcelas demostrativas, entre otros); actividades para la transferencia de tecnología (talleres, jornadas de actualización, demostraciones, giras técnicas, entre otros) señalando el público objetivo y el número estimado de participantes. Adicionalmente a esto, se elaboran publicaciones, videos, *podcasts*, programas o cuñas radiales, pendones alusivos a las ofertas tecnológicas, participación en eventos, lanzamiento de variedades y la información constante en las redes sociales dando a conocer los avances obtenidos por AGROSAVIA y por terceros que benefician al productor (figura 7.2).

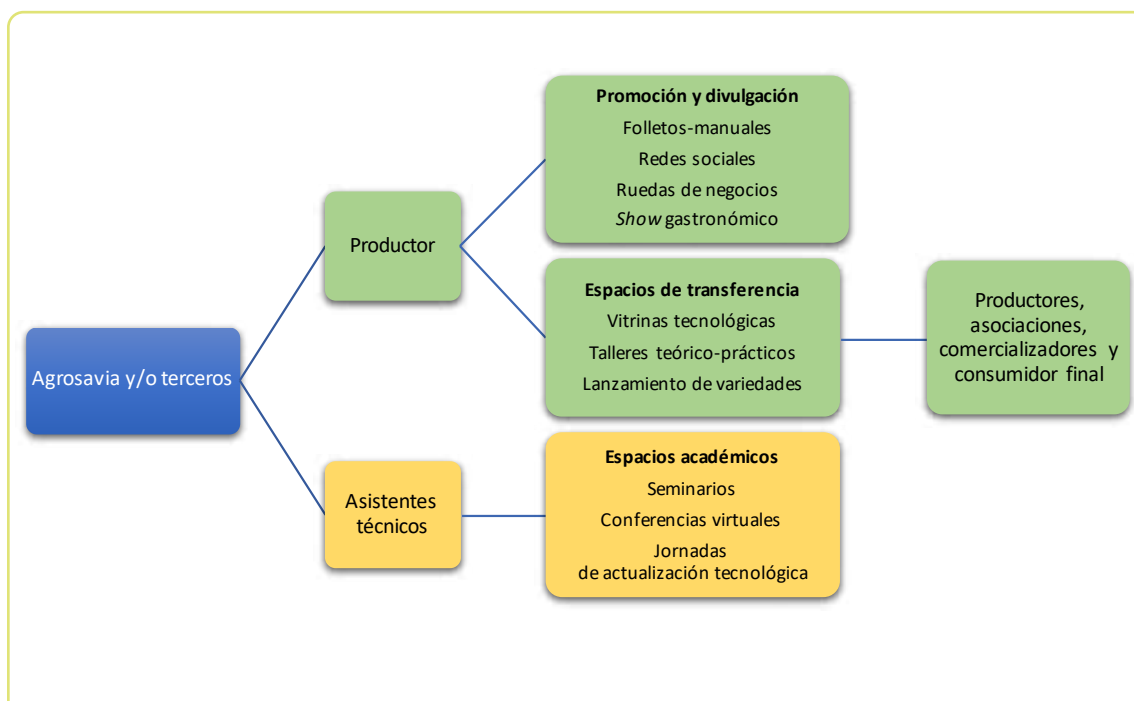


Figura 7.2. Componentes de Transferencia de Tecnología (TT) para la vinculación de una Oferta Tecnológica (OT).

Fuente: Elaboración propia

Ofertas para vincular por parte de AGROSAVIA

Como resultado de investigaciones y validaciones en fincas de productores ubicadas en los departamentos de Córdoba y Sucre, AGROSAVIA, en el año 2021, generó dos ofertas tecnológicas enmarcadas en el tipo de producto de recomendaciones tecnológicas, denominadas “Recomendaciones de manejo del cultivo de yuca en variedades de uso industrial y sistemas de producción monocultivo” y “Recomendación de fertilización para el cultivo de yuca industrial y consumo en fresco”, las cuales están encaminadas a proporcionar al productor las prácticas adecuadas para el manejo del cultivo, integrando el genotipo, el manejo del material de siembra, la preparación de suelo, el manejo de malezas, la densidad de siembra, la fertilización y la cosecha, en aras del incremento en los rendimientos con respecto al sistema tradicional usado por el productor. Estas prácticas de manejo pueden ser aplicadas utilizando las variedades registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), como Corpoica-Belloti, Corpoica-Tai, Corpoica-Ropain, Corpoica-Sinuana, Corpoica-Verónica (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], 2019), Corpoica-Cumbre 3 y Corpoica-La Francesa (Rodríguez et al., 2020), según sean las necesidades de la industria; las cuales hacen parte del portafolio de ofertas tecnológicas de producto de AGROSAVIA.

Vinculación de variedades mejoradas

Desde hace más de cuatro décadas de colaboración entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y AGROSAVIA, se ha logrado el desarrollo de variedades mejoradas de yuca adaptadas a diferentes regiones del país; estos materiales son de alto rendimiento, especialmente adaptados a usos industriales, como la producción de almidón; de micronutrientes de raíces y de hojas de yuca que han indicado un buen potencial en la yuca para aumentar los niveles de vitaminas y minerales en las raíces y en las hojas; variedades resistentes a plagas y enfermedades, tolerantes

a condiciones de clima y suelo y con calidades apropiadas para diferentes mercados. También se han encontrado depredadores naturales de plagas de la yuca (Aguilera, 2012).

Desde los años 90, se ha promovido el uso industrial de la yuca en la región Caribe, debido al incremento de su uso en los años recientes por el establecimiento en el departamento de Sucre de una planta para la extracción industrial de almidón de yuca para abastecer las industrias de papel y cartón, alimentos, petrolera, entre otras. Esto ha sido un incentivo para el aumento de las áreas de siembra de yuca en la región. Adicionalmente, cooperativas de productores de economía campesina producen trozos secos de yuca, que son incluidos en la formulación de alimentos balanceados para animales, lo que genera un impacto social relevante y positivo (Aguilera, 2012).

A mediados de la década de 1970, en todas las regiones de Colombia la producción de la yuca presentaba una tendencia negativa, pues era un cultivo de subsistencia no orientado al mercado. En el periodo 1975-1982, la región Caribe, la de mayor producción, presentó variaciones negativas en el área cultivada del 0,4% y en la producción del 2,1% promedio anual. En el total del país hubo disminuciones del 4,2% y el 1,2% promedio anual, respectivamente, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (Gottret, 2002). La situación cambió en el periodo 1983-1992, pues en la región Caribe el área aumentó en 7% y la producción en 7,5%, mientras que el total nacional creció en 1,9% y 2,4% promedio anual. El cambio fue más notorio en el Caribe colombiano gracias a una política agrícola del Gobierno nacional, que en los años 70 pretendió superar los niveles de pobreza rural entregando tierra a través de una reforma agraria, pero sin asistencia técnica ni estudios del mercado.

Entre 2015 y 2020 las áreas sembradas en cultivo de yuca aumentaron en un 7%, mientras que las áreas cosechadas lo hicieron en un 21%, lo que evidencia un incremento en productividad, en el cual el área sembrada de yuca de mesa representa el 95% del total de hectáreas cultivadas y el área de siembras de yuca industrial, el 5% restante (Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, 2021). Estas cifras reflejan el actuar de AGROSAVIA a través de la liberación de variedades con mejores rendimientos por unidad de área que los cultivares regionales sembrados hasta el momento, además de representar el importante aporte que han realizado los Planes de Vinculación de Yuca en los diferentes departamentos del país con la entrega

de material de siembra de calidad de estos cultivares comerciales mejorados, favoreciendo su adopción, los cuales hoy en día son reconocidos y sembrados por agricultores, industriales, consumidores, academia, entes gubernamentales, entre otros actores de la cadena agroalimentaria de la yuca en el territorio nacional.

Área y rendimiento de variedades liberadas reportados en campos de agricultores

De acuerdo con los reportes del balance social de AGROSAVIA, usando métodos de muestreos focales, desde que se liberaron las variedades de yuca Corpoica-Cumbre 3 y Corpoica-La Francesa, en el año 2016, el área sembrada de estas variedades de yuca en el departamento del Cauca asciende a 280 ha, con un rendimiento promedio de 24,5 t/ha por ciclo productivo de 12 meses.

En la región Caribe, para el año 2021 se cosecharon 66.509 ha de yuca, de las cuales 8.594 ha correspondieron a yuca de tipo industrial, lo cual representa un 12,92% del área total establecida (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2021). Para la región Caribe uno de los materiales que se ha establecido y ha sido adoptado por los productores es Corpoica-Tai, de cuyo material, según el reporte de balance social del 2021, se cosecharon 4.503 ha, lo cual representa el 47,16% del área establecida en la región Caribe. Esta variedad alcanzó un rendimiento promedio de 20,3 t/ha por ciclo productivo, un 11,6% superior al rendimiento de variedades alternativas en la región.

Los últimos materiales lanzados al mercado por CIAT-AGROSAVIA en el 2017 han venido siendo adoptados por los productores en los últimos años, reemplazando los materiales que tienen mucho tiempo en el mercado. Los atributos más llamativos para los productores de las variedades Corpoica-Belloti, Corpoica-Sinuana y Corpoica-Ropain es que presentan valores de rendimiento superiores a 28 t/ha. Su contenido de materia seca es superior al 30%, lo cual resalta su importancia como materia prima para la

extracción de almidones, y el color blanco de la pulpa de la raíz representa una ventaja incomparable en términos de mejorar la calidad en la producción de almidón, por lo que es apetecido por la industria. La información obtenida en campo por parte del equipo de trabajo de AGROSAVIA con informantes clave en los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar ha mostrado como resultado preliminar que se ha iniciado un proceso de adopción de estos materiales. El material con más adopción es Corpoica-Belloti, con un 1,7% del área establecida, lo cual representa 147 ha aproximadamente, seguida por Corpoica-Sinuana, con un 0,3 % del área establecida y 25 ha del total del área en estos departamentos.

Por otra parte, en estudios realizados por Pérez et al. (2022) en localidades de los Montes de María, los productores de yuca reportan que aún conservan materiales de yuca como la ICA-Negrita o la Blanca Mona (ICA-Costeña), ya que asocian estos materiales con características agronómicas que, aunque son apreciadas por la gente, no se siembran con frecuencia. Estos materiales se conservan por razones filiales, y se usan para algunas preparaciones culinarias específicas, que permanecen en la memoria biocultural del productor.

Trabajos realizados por Alzate et al. (2010) muestran que, a pesar de la variabilidad genética que se tiene en las diferentes regiones de los distintos materiales de yuca, siempre en el grupo de variedades o genotipos identificados se encuentran los materiales liberados por AGROSAVIA, que aún persisten en los lotes de los productores, aunque sea en mínimas cantidades, para su abastecimiento.

Floro et al. (2018), que estudiaron la adopción de los materiales de yuca en el departamento del Cauca, afirman que los productores asocian la adopción de los materiales a las variables de rendimiento y usos en el mercado, pero falta reconocimiento e identificación de materiales por parte de los agricultores y se requiere un proceso de extensión de estos.

La información antes mencionada reafirma la importancia que tienen los procesos de vinculación como los que adelanta AGROSAVIA a través de sus planes de vinculación, en los que se dan a conocer las ofertas tecnológicas que están disponibles para los productores.

Capítulo 8.

Perspectivas del mejoramiento genético en el futuro de la producción de la yuca en Colombia

Xiaofei Zhang, Rommel Igor León Pacheco, Elvia Amparo Rosero Alpala

Perspectivas en el futuro para el desarrollo de nuevas variedades de yuca

A pesar de los esfuerzos realizados en el proceso de mejoramiento genético y de la vinculación de variedades mejoradas de yuca, los cultivares que se siembran en el país siguen siendo los mismos que históricamente se han usado en Colombia, principalmente por la falta de conocimiento y de experiencia en el manejo de nuevos cultivares industriales, la falta de semilla de calidad que abastezca la producción sostenible en el tiempo y, en el caso de las yucas para el consumo en fresco, por la falta de una estrategia de mercado que permita dar a conocer las bondades y calidad de estos materiales, así como por la existencia de un acervo gastronómico y una resistencia muy fuerte por parte de los consumidores para usar nuevos genotipos.

Por lo anterior, en el país los esfuerzos están encaminados al desarrollo de variedades mejoradas en los tipos de mercados, los cuales dan sustento a tres grandes objetivos del programa de mejoramiento genético de la yuca en Colombia, descritos a continuación:

Desarrollo y obtención de material genético con alto contenido de materia seca y/o almidones especiales para uso industrial con adaptación a las regiones Caribe, Orinoquía, Pacífico y Andina

Para esto, se tiene previsto, en el futuro, la identificación de genotipos promisorios con fines industriales en regiones donde la yuca es cultivada con el propósito de obtener almidón nativo y/o fermentado y especiales, como los *waxy* (libre de amilosa), los cuales se espera trabajar en la región Caribe, incluyendo localidades de Caribe seco y húmedo, departamentos de Cesar, La Guajira, Magdalena, Córdoba, Sucre, Bolívar y Atlántico; mientras que para el Pacífico se incluirán los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, zona intermedia, incluyendo la zona alta del departamento del Cauca, y para la Orinoquía, los departamentos de Casanare, Arauca y Meta.

La perspectiva futura es seleccionar, de las colecciones del germoplasma, genotipos promisorios para desarrollar cultivares con almidones *waxy*. La primera variedad *waxy* fue desarrollada en Tailandia, en el 2013 (Rojanaridpiched et al., 2020), y en Colombia el primer proceso comercial ocurrió en el 2019 (Ceballos et al., 2021).

Desarrollo y obtención de material genético con alto contenido de β -caroteno para el desarrollo de variedades biofortificadas con adaptación a las regiones Caribe, Andina y Pacífico

La identificación de genotipos promisorios con alto contenido de β -caroteno será realizada en regiones donde la yuca es cultivada con el propósito de consumo fresco o transformado, la cual incluirá las mismas regiones que producirán yucas industriales.

Los programas están enfocados básicamente en identificar materiales con provitamina A, y su progreso ha sido rápido por la fácil heredabilidad de esta variable (Ceballos et al., 2013), por lo cual cuenta con ciclos simples y rápidos de selección (Ortiz *et al.*, 2011) y una eficiente estrategia de fenotipado, basados en espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) (Belalcázar et al., 2016).

Desarrollo y obtención de material genético apto para consumo fresco y/o alimentación animal con adaptación a las regiones Caribe, Orinoquía, Pacífico y Andina

En esta actividad se tiene prevista la identificación de genotipos promisorios con bajo contenido de ácido cianhídrico (HCN), aptos para consumo fresco y/o alimentación animal, la cual será realizada en regiones donde la yuca es cultivada principalmente con dicho propósito, e incluirá las mismas regiones que producirán yucas industriales.

El desarrollo de estas variedades es más complejo que para uso industrial, debido a las preferencias de los consumidores (los mercados locales y tradicionales tienden a resistir los cambios, y estos son difíciles de convertir en indicadores medibles en los programas de mejoramiento genético) (Valle, 2021), además, hay poco entendimiento de sus bases genéticas y bioquímicas y la fuerte interacción entre el genotipo y el ambiente (el país tiene una alta diversidad geográfica y climática, con fuertes cambios en la aparición de plagas y enfermedades, lo que permite evaluar en diferentes ambientes e identificar sitios homólogos de otras partes del mundo) (Hyman, 2020). Por otra parte, debido a los problemas por el precio en Colombia, los esfuerzos se podrán enfocar para cultivares de doble propósito (consumo fresco e industrial) (Ceballos et al., 2021).

Se espera contar en el futuro con cultivares con rendimiento mayor a 10 t/ha para el consumo en fresco, con calidad biofortificada, y raíces con contenido de materia seca mayor al 30 % y características especiales, tanto nativas como fermentadas, con adaptación a las regiones productoras más importantes del país. Adicionalmente, se espera tener un sistema de

producción de semilla de alta calidad y sostenible, que permita a los productores del país contar con material vegetal de los cultivares liberados.

Por lo anterior, se espera que en el futuro la investigación en Colombia para el cultivo de yuca tenga los enfoques y las herramientas modernas que se revisan enseguida, de manera que se pueda avanzar rápidamente en los programas de mejoramiento genético.

Enfoques y herramientas modernas para los futuros programas de mejoramiento genético de yuca para Colombia

Cambio climático

Las lluvias erráticas del país son la consecuencia más común del cambio climático, las cuales han sido observadas principalmente en los ambientes subhúmedos de Colombia, por lo cual los esfuerzos se están enfocando en materia seca y almidones estables en el tiempo, con el objetivo de tener producción de almidón en épocas donde el precio es diferencial (Ceballos et al., 2021). A pesar de que el cultivo ya es tolerante a la sequía, es necesario seleccionar variedades con estabilidad en el rendimiento y promisorias por su resistencia a esta (Okogbenin et al., 2014).

Otro aspecto importante relacionado con el cambio climático podría ser el incremento de la concentración de CO₂ atmosférico como parte de las causas del calentamiento global, por el que se esperan riesgos importantes para el 2050, por esta razón se podría plantear una estrategia de evaluar en campo cultivares de yuca usando *sets* de CO₂ a través de *free air concentration enhancement* (FACE) y asimismo conducir experimentos en regiones con altas temperaturas (Ruiz-Vera et al., 2020), ya que la combinación de ambas variables provocan desordenes fisiológicos en los cultivos.

Genotipado y predicción genómica para acelerar la ganancia genética

La ganancia genética en el rendimiento de materia seca en el cultivo de yuca alcanzó para África, Tailandia y Colombia 1,2 %, 1,06 % y 0,13 %, respectivamente. Asimismo, los rápidos incrementos de carotenoides con aumentos anuales de 2,06 µg/mg, con ganancias hasta de 12 %, indican la fácil heredabilidad de esta variable (Ceballos et al., 2013), mientras que usar introgresión de genes recesivos de *waxy* a cultivares comerciales ha sido una estrategia para obtener cultivares con esta calidad de almidón.

Con la alta densidad de marcadores del genoma, combinada con herramientas estadísticas, se han tenido mejoras en los programas de mejoramiento genético por la vía convencional, a través de la validación de selección asistida con marcadores moleculares y predicción genómica (Rabbi et al., 2020), pero también en la caracterización, manejo de la varianza genética (Wang et al., 2016), así como en el uso de la asociación del mapeo para identificar más fácilmente locus de rasgo cuantitativo (QTL) en las poblaciones mejoradas (Ceballos et al., 2021).

En el futuro se espera usar la predicción genómica con el objetivo de obtener variedades con alto y estable contenido de materia seca más rápidamente, ya que con estas herramientas se pueden reducir los ciclos de selección en al menos dos años, comparado con los programas de mejoramiento convencional (Fernandez-Pozo et al., 2015). Los avances de los clones basados en el valor genético (aditividad) podrían encontrar esas combinaciones que incluyen los efectos de dominancia y epistáticos (Ceballos et al., 2021).

Herramientas y tecnologías disponibles en los programas de mejoramiento genético

Actualmente el uso de cultivares con tolerancia a herbicidas, propiedades funcionales, inducción de haploides y otros podrían ser seleccionados a través herramientas moleculares de tamizado, tales como Eco-Tilling (Kumar et al., 2017).

Otras estrategias importantes podrían ser el uso de NIR en raíces frescas para cuantificar el contenido de carotenoides (Alamu et al., 2021); las técnicas de aeroponía son una opción rápida para el *screening* de raíces en diferentes cultivares (Selvaraj et al., 2019), y la evaluación remota vía drones para analizar el crecimiento de los progenitores podría acelerar la selección de materiales genéticos promisorios (Selvaraj et al., 2020).

Producción de semilla para los programas de mejoramiento genético de yuca

Cada plántula F₁ es genéticamente distinta, y se requieren años para producir suficientes esquejes de tallo para las pruebas en múltiples ubicaciones (la tasa de multiplicación en la yuca puede variar ampliamente, pero es de aproximadamente 1:10 en promedio).

Adicional a lo anterior es el gran desafío de los programas de mejoramiento genético de yuca en comparación con empresas privadas productoras de semillas, ya que el cultivo de yuca carece de sistemas eficientes para producir y distribuir material vegetal de siembra con calidad de las nuevas variedades. Esto retrasa la adopción de nuevos cultivares a nivel del agricultor, independientemente de su mérito genético. Si bien los sistemas de propagación rápida han estado disponibles y continuamente han mejorado durante muchos años, los sistemas prácticos y comerciales han sido casi inexistentes. Hay esfuerzos en curso, apoyados principalmente por la Fundación Bill y Melinda Gates en África occidental, para desarrollar enfoques de multiplicación rápida para producir materiales de plantación libres de enfermedades, pero en el futuro uno de los objetivos de estos sistemas es hacerlos sostenibles con empresas con fines de lucro.

Conclusiones generales

La importancia del cultivo de la yuca a nivel nacional está representada por las áreas de producción, que abarcan todo el territorio nacional, y por la diversidad de segmentos comerciales, que generan ingresos y desarrollo socioeconómico en diferentes regiones del país. Es de resaltar la importancia de este cultivo en la seguridad alimentaria de un alto porcentaje de la población en Colombia, razón por la cual los esfuerzos en incrementar su calidad nutricional esperan verse reflejados pronto en variedades comerciales.

La cobertura que ha tenido los procesos de mejoramiento ha aportado con el desarrollo y liberación de nuevas variedades mejoradas y adaptadas a las principales regiones productoras de yuca. Es así como los procesos de evaluación y selección realizados en experimentos multilocales y basados en la expresión simultánea de características de interés han permitido desarrollar perfiles que, en ciertos casos, han respondido a las expectativas de productores y usuarios finales.

La tendencia a futuro permitirá continuar generando variedades diseñadas para enfrentar los desafíos vigentes relacionados con los retos ambientales y perfiles cada vez más competitivos a nivel comercial.

Este documento busca promover el conocimiento relacionado con los procesos de mejoramiento, buscando mostrar el esfuerzo interinstitucional en el desarrollo de variedades mejoradas y dejar al acceso del público las características de las variedades liberadas que pueden ser potencialmente introducidas en los sistemas de producción yuqueros de Colombia.

Referencias

- Aguilera, M. (2012). *La yuca en el Caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial*. Banco de la República. https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_158.pdf
- Aiemnaka, P. A., Wongkaew, J., Chanthaworn, S. K., Nagashima, S., Boonma, J., Authapun, S., Jenweerawat, S., Kongsila, P., Kittipadakul, P., Nakasathien, S., Sreewongchai, T., Wannarat, W., Vichukit, V., Becerra López-Lavalle, L., Ceballos, H., Rojanaridpiched, Ch., & Phumichai, Ch. (2012). Molecular characterization of a spontaneous waxy starch mutation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Crop Science*, 52(5), 2121-2130. doi: 10.2135/cropsci2012.01.0058
- Alamu, E. O., Nuwamanya, E., Cornet, D., Meghar, K., Adesokan, M., Tran, T., Belalcázar, J., Desfontaines, L., & Davrieux, F. (2021). Near-infrared spectroscopy applications for high-throughput phenotyping for cassava and yam: A review. *International Journal of Food Science + Technology*, 56(3), 1491-1501. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14773>
- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implicaciones de las interacciones genotipo-ambientales en el fitomejoramiento aplicado. *Crop Science*, 4, 503-508.
- Allem, A. (1994). The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 41(3), 133-150. <https://doi.org/10.1007/BF00051630>
- Álvarez, E., Bellotti, A. C., Calvert, L. A., Arias, B., Cadavid, L. F., Pineda, B., Llano, G., & Cuervo, M. (2002). *Guía práctica para el manejo de las enfermedades, las plagas y las deficiencias nutricionales de la yuca*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)/Consortio Latinoamericano para la Investigación y el Desarrollo de la Yuca.
- Alzate, A. M., Vallejo Cabrera, F. A., Ceballos Lascano, H., Pérez, J. C., & Fregene, M. (2010). Variabilidad genética de la yuca cultivada por pequeños agricultores de la región Caribe de Colombia. *Acta Agronómica*, 59(4), 385-393. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/20120/o

- Barros, M. A., Rocha, M. M., Gomes, R. L. F., Silva, K. J. D., & Neves, A. C. (2013). Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semi-prostrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(4), 403-410. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400008>
- Belalcázar, J., Dufour, D., Andersson, M. S., Pizarro, J. L., Londoño, L., Morante, N., Jaramillo, M. A., Pino, L., López-Lavalle, L. A., Davrieux, F., Talsma, E. F., & Ceballos, H. (2016). High-throughput phenotyping and improvement in breeding cassava for increased carotenoids in the roots. *Crop Science*, 56(6), 2916-2925. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/77289>
- Boakye, P. B., Kwadwo, O., Isaac, A., & Parkes, A. Y. (2013). Performance of nine cassava (*Manihot esculenta* Crantz) clones across three environments. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(4): 48-53. <https://doi.org/10.5897/JPBCS12.027>
- Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi, E., & Jin, F.-F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111-116. <https://www.nature.com/articles/nclimate2100>
- Ceballos, H. F., Calle, J., Gómez N., G. E., Navas, R. D., Aristizábal, Q., & Garzón, V. (2000). *Recomendaciones de producción y uso del cultivo de la yuca (Manihot esculenta) en los Llanos Orientales*. Corpoica/CIAT.
- Ceballos, H., & Hershey, C. (2016, 18-22 de enero). Road map for cassava genetic improvement. En *Proceedings of the World Congress on Root and Tuber Crops and Third Scientific Conference of the Global Cassava Partnership for the 21st Century*. <https://gcp21.org/wcrtc.html>.
- 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, 2335-2353. doi.org/10.1007/s00122-021-03852-9
- Ceballos, H., Iglesias, C., Calle, F., Navas, G., Aristizábal, D., & Gaitán, W. (2000). *Corpoica "Reina": variedad de yuca para el Piedemonte Llanero* [Plegable divulgativo n.º 18]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17896>

- Ceballos, H., Morante, N., Sánchez, T., Ortiz, D., Aragón, I., Chávez, A. L., Pizarro, M., Calle, F., & Dufour, D. (2013). Rapid cycling recurrent selection for increased carotenoids content in cassava roots. *Crop Science*, 53(6), 2342-2351. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.02.0123>
- Ceballos, H., Pérez, J. C., Joaqui Barandica, O., Lenis, J. I., Morante, N., Calle, F., Pino, L., & Hershey, C. H. (2016). Cassava breeding I: The value of breeding value. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1227. doi: 10.3389/fpls.2016.01227
- Ceballos, H., Ramírez, J., Bellotti, A. C., Jarvis, A., & Álvarez, E. (2011). Adaptation of cassava to changing climates. En S. Yadav, B. Redden, J. L. Hatfield, & H. Lotze-Campen (Eds.), *Crop adaptation to climate change* (pp. 411-425). Wiley-Blackwell.
- Ceballos, H., Rojanaridpiched, C., Phumichai, C., Kittipadukul, P., Iglesias, C., & Gracen, V. E. (2020). Excellence in cassava breeding: Perspectives for the future. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(2). doi.org/10.20900/cbgg20200008
- David, N., Münnich, M., Su, H., Meyerson, J. E., & Holloway, C. E. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 103(16), 6110-6115. doi: 10.1073/pnas.0601798103
- Davrieux, F., Dufour, D., Dardenne, P., Belalcázar, J., Pizarro, M., Luna, J., Londoño, L., Jaramillo, A., Sanchez, T., Morante, N., Calle, F., Becerra, L., & Ceballos, H. (2016). LOCAL regression algorithm improves near infrared spectroscopy predictions when the target constituent evolves in breeding populations. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 24(2), 109-117. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1255/jnirs.1213>
- De La Torre, J., & Hershey, C. (1991). *ICA-Costeña: nueva variedad de yuca de alta producción para la Costa Atlántica* [Plegable divulgativo n.º 232]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/30197>
- Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. (2021). *Cadena productiva de la yuca*. Minagricultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf>
- Dufour, D., Rolland-Sabaté, A., Mina Cordoba, H., Luna Melendez, J. L., Moreno Alzate, J. L., Pizarro, M., Guilois Dubois, S., Sánchez, T., Belalcázar, J. E., Morante, N., Tran, T., Moreno-Santander, M., Vélez-Hernández, G., & Ceballos, H. (2022). Native and fermented waxy cassava starch as a novel

- gluten-free, and clean label ingredient for baking and expanded product development. *Food & Function*, 13, 9254-9267. doi: 10.1039/d2fo00048b
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1), 36-40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011X>
- Essers, S. A. J. A., Bosveld, M., Van der Grift, R. M., & Voragen, A. G. J. (1993). Studies on the quantification of specific cyanogens in cassava products and introduction of a new chromogen. *Journal of the Science on Food and Agriculture*, 63(3), 287-296. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740630305>
- Fernandez-Pozo, N., Menda, N., Edwards, J. D., Saha, S., Tecle, I. Y., Strickler, S. R., Bombarely, A., Fisher-York, T., Pujar, A., Foerster, H., Yan, A., & Mueller, L. A. (2015). The sol genomics network (sgn): From genotype to phenotype to breeding. *Nucleic Acids Research*, 43(D1), D1036-D1041. <https://doi.org/10.1093/nar/gku1195>
- Floro, V. O., Labarta, R. A., Becerra López-Lavalle, L. A., Martinez, J. M., & Ovalle, T. M. (2018). Household determinants of the adoption of improved cassava varieties using DNA fingerprinting to identify varieties in farmer fields: A case study in Colombia. *Journal of Agricultural Economics*, 69, 518-536. <https://doi.org/10.7910/DVN/6PXXEQ>
- Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). Análisis de AMMI de ensayos de rendimiento. En M. S. Kang, & H. G. Gauch (Eds.), *Genotipo por interacción de ambiente* (pp. 85-122). Prensa CRC.
- Gómez, P., Losada, J., & Toro, J. (1986). *Maniohica P-13: una variedad mejorada de yuca de alto rendimiento* [Boletín divulgativo n.º 78]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/14875>
- Gonçalves, J. G. R., Chiorato, A. F., Morais, L. K., Perina, E. F., Farias, F. L., & Carbonell, S. A. M. (2010). Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. *Ciência e Agrotecnologia*, 34, 922-931. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400018>
- Gottret, M. V., Escobar, Z., & Pérez, S. (2002). El sector yuquero en Colombia: desarrollo y competitividad. En B. Ospina, & H. Ceballos (Eds.), *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización* (pp. 340-376). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37152>

- Hyman, G. G. (2020). Edapho-climatic-map-of-cassava-CIAT-2003.jpg. *Global Climate Regions for Cassava*. <https://doi.org/10.7910/DVN/WFAMUM/oOVLW9>
- International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). (2002). *General introduction to the examination of distinctiveness, uniformity and stability and the development of harmonised descriptions of new varieties of plants*. https://www.upov.int/export/sites/upov/publications/en/tg_rom/pdf/tg_1_3.pdf
- Jennings, D. L., & Iglesias, C. (2002). Breeding for crop improvement. En R. J. Hillelocks, J. M. Thresh, & A. C. Bellotti (Eds.), *Cassava: Biology, production and utilization* (pp. 149-166). CABI Publishing.
- Kawano, K. (2003). Thirty years of cassava breeding for productivity: Biological and social factors for success. *Crop Science*, 43(4), 1325-1335. doi: 10.2135/cropsci2003.1325
- Kawano, K., Narintaraporn, K., Narintaraporn, P., Sarakarn, S., Limsila, A., Limsila, J., Suparhan, D., Sarawat, V., & Watananonta, W. (1998). Yield improvement in a multistage breeding program for cassava. *Crop Science*, 38(2), 325-332. doi: 10.2135/cropsci1998.0011183X003800020007X
- Kayondo, S. I., Pino del Carpio, D., Lozano, R., Ozimati, A., Wolfe, M., Baguma, Y., Gracen, V., Offei, S., Ferguson, M., Kawuki, R., & Jannink, J. L. (2018). Genome-wide association mapping and genomic prediction for CBSO resistance in *Manihot esculenta*. *Scientific Reports*, 8(1), 1549. doi: 10.1038/s41598-018-19696-1
- Kumar, A. P. K., McKeown, P. C., Boualem, A., Ryder, P., Brychkova, G., Bendahmane, A., Sarkar, A., Chatterjee, M., & Spillane, Ch. (2017). Tilling by Sequencing (TbyS) for targeted genome mutagenesis in crops. *Molecular Breeding*, 37(14). <https://doi.org/10.1007/s11032-017-0620-1>
- Kvitschal, M. V., Vidigal, P. S., Scapim, C. A., Gonçalves, M. C., Pequeno, M. G., Sagrilo, E., & Rimoldi, F. (2006). Evaluation of phenotypic stability of cassava clones by AMMI analysis in northwestern Paraná state. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6, 236-241.
- Lahai, M. T., Ekanayake, I. J., & Koroma, J. P. C. (2013). Influence of canopy structure on yield of cassava cultivars at various toposequences of an inland valley agro ecosystem. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 5(3), 36-47.

- Legiscomex. (2023). *Fécula de mandioca. Módulo de estadísticas de comercio exterior*. https://www.legiscomex.com/landing/estadisticas_de_comercio_exterior#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20Estad%C3%ADsticas%20permite,en%20el%20exterior%2C%20sus%20clientes.
- Lin, C., & Binns, M. (1988). A method for analyzing cultivar $\times$ location $\times$ year experiments: A new stability parameter. *Theoretical Applied Genetics*, 76(3), 425-430. doi: 10.1007/BF00265344
- López Montes, A. J., Hershey, C. H., Iglesias, C. A., & Hernández R., L. A. (1993). *ICA-Negrita, nueva variedad de yuca para la región Caribe* [Plegable divulgativo n.º 262]. ICA.
- López Montes, A. J., Jaramillo Mendoza, M., Panza Tapia, B. D., Mendoza Arroyo, E., Delgado, R., Ceballos, H., Pérez, J. C., Hernández Romero, L. A., Lenin, 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* [Plegable divulgativo]. Corpoica/Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural/CIAT/Clayuca
- 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). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17916>
- 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., Perez, 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-Verónica, Corpoica Ginés*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/2120>
- Magoon, M. L., Krishnan, R., & Bai, K. V. (1969). Morphology of the pachytene chromosomes and meiosis in *Manihot esculenta* Crantz. *Cytologia*, 34, 612-626.
- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2007). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, (27), 56-62. <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/280>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2017). *Estudio del sector de tubérculos (yuca, ñame y batata)*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S2821-ESTUDIO%20DEL%20SECTOR%20DE%20TUBERCULOS%20actividad%207-8.pdf>
- Morais, L. K., Moura, M. F., Vencovsky, R. V., & Pinheiro, J. B. (2008). Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja avaliada pelo method of Toler. *Bragantia*, 67, 275-284.
- Nassar, N. M. A., & Ortiz, R. (2008). Cassava genetic resources: Manipulation for crop improvement. *Plant Breeding Reviews*, 31, 247-275. doi:10.1002/9780470593783.ch5
- Okechukwu, R. U., Akoroda, M. O., Ogbe, F., & Dixon, A. G. O. (2014). Analytical steps to a multi-trait selection index for rapid participatory appraisal of cassava varieties for release to farmers. *African Journal of Root and Tuber Crops*, 8(1), 31-50.
- Okogbenin, E., Setter, T. L., & Ferguson, M. (2014). Phenotyping cassava for adaptation to drought. En P. Monneveux, & J. M. Ribaut. (Eds.), *Drought phenotyping in crops: From theory to practice* (pp. 395-410). CGIAR Generation Challenge Programme.
- Okpara, D. A., Mbah, E. U., & Chukwu, E. I. (2014). Assessment of growth and yield of some high and low cyanide cassava genotypes in acid ultisols of south Eastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 13(5), 651-656. doi: 10.5897/AJB2013.13200

- Oliveira, E. J., Freitas, J. P. X., & Jesus, O. N. (2014). AMMI analysis of the adaptability and yield stability of yellow passion fruit varieties. *Scientia Agricola*, 71(2), 139-145. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200008>
- Oliveira, E. J., Santana, F. A., Oliveira, L. A., & Santos, V. S. (2014). Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP. *Genetics and Molecular Research*, 13(3), 6683-6700. doi: 10.4238/2014.August.28.13
- Ortiz, D., Sanchez, T., Morante, N., Ceballos, H., Pachon, H., Duque, M., Chavez, A. L., & Escobar, A. F. (2011). Sampling estrategias for proper quantification of carotenoid content in cassava breeding. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(1), 14-33.
- Pastrana, F., Alviz, H., & Salcedo, J. (2014). Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta Agronómica*, 64(1), 43935. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.43935>
- Peprah, B. B., Parkes, E., Manu-Aduening, J., Kulakow, P., Van Biljon, A., & Labuschagne, M. (2020). Genetic variability, stability and heritability for quality and yield characteristics in provitamin A cassava varieties. *Euphytica*, 216(31). <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2562-7>
- Pérez, D., Mora, R. E., Angulo, E. R., & López, C. E. (2022). Conocimiento local de las variedades de yuca en Montes de María, Colombia: primer paso para la construcción de un programa de fitomejoramiento participativo. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1-17.
- Pineda, M., Morante, N., Salazar, S., Cuásquer, J., Hyde, P. T., Setter, T. L., & Ceballos, H. (2020). Induction of earlier flowering in cassava through extended photoperiod. *Agronomy*, 10(9). doi.org/10.3390/agronomy10091273
- Pineda, M., Yu, B., Tian, Y., Morante, N., Salazar, S., Hyde, P., Setter, T. L., & Ceballos, H. (2020). Effect of pruning young branches on fruit and seed set in cassava. *Frontiers in Plant Sciences*, 11(7). doi.org/10.3389/fpls.2020.01107
- Poltec SAS. (2022, 29 de septiembre). *Diferencias entre el almidón nativo y el almidón modificado en la industria de los alimentos*. <https://www.poltecsas.com/post/diferencias-entre-el-almid%C3%B3n-nativo-y-el-almid%C3%B3n-modificado-en-la-industria-de-los-alimentos>
- Portal Siembra. (2022). *Plataforma de informacion del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*. <http://www.siembra.gov.co/>

- Rabbi, I. Y., Hamblin, M. T., Kumar, P. L., Gedil, M. A., Ikpan, A. S., Jannink, J. L., & Kulakow, P. A. (2014). High-resolution mapping of resistance to cassava mosaic geminiviruses in cassava using genotyping-by-sequencing and its implications for breeding. *Virus Research*, 186, 87-96. doi: 10.1016/j.virusres.2013.12.028
- Rabbi, I. Y., Kayondo, S. I., Bauchet, G., Yusuf, M., Aghogho, C., Ogunpaimo, K., Uwugiaren, R., Smith, I. A., Peteti, P., Agbona, A., Parkers, E., Lydia, E., Wolfe, M., Jannink, J. L., Egesi, Ch., & Kulakow, P. (2020). Genome-wide association analysis reveals new insights into the genetic architecture of defensive, agro-morphological and quality-related traits in cassava. *Plant Molecular Biology*, 109, 195-213. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01038-3>
- Resolución 067516 [Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)]. Por medio de la cual se establecen los requisitos para la inscripción de los cultivares en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales y se dictan otras disposiciones. 11 de mayo de 2020. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020R67516>
- Rivera, T., Andrade, R., Labarta, R., Calle, F., & Becerra-Lopez Laval, L. (2021). *Boletín informativo del sector yuquero Colombia 2007-2020*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/116234/Rivera%20et%20al%202021%20CIATBIO%20--%20Bolet%20Yuquero%202007-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivero, S. T., Gómez, W. R., Salcedo, E. P., Tordecilla, L., & Ramos, E. R. (2015). *Nuevas variedades de yuca forrajera para la alimentación bovina*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13303>
- Rodríguez, E., Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Salazar, S., & Osorio, O. (2020). *Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa: dos nuevas variedades de yuca industrial para el suroccidente colombiano. Reimpresión versión corregida*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403695>
- Rodríguez, N., & Hershey, C. (1990). *Dos nuevas variedades de yuca de alta producción para los Llanos Orientales* [Plegable divulgativo n.º 220]. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32663>
- Rojanaridpiched, C., Vichukit, V., Ceballos, H., Aeimnaka, P., & Pumichai, C., Pi-yachomkwan, K. (2020, febrero 11-13). *Development of waxy starch cassava varieties in Thailand* [Presentación en conferencia]. 9th Starch World Asia Conference (CMT). Bangkok, Tailandia.

- Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Lenis, J. I., Salazar, S., & García, J. L. (2020). *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://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403862>
- Rosero, E. A., Ceballos, H., Calle, F., Salazar, S., Morante, N., Beltrán, F., Becerra, J. J., & Sandoval, H. A. (2019). *agrosavia Melúa-31: nueva variedad de yuca industrial para la Orinoquía colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403022>
- Ruiz-Vera, U. M., De Souza, A. P., Ament, M. R., Gleadow, R. M., & Ort, D. R. (2020). High sink strength prevents photosynthetic down-regulation in cassava grown at elevated CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 542-560. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa459>
- Sagrilo, E., Vidigal Filho, P. S., Pequeno, M. G., Gonçalves-Vidigal, M. C., & Kvitschal, M. V. (2008). Producción y distribución de materia seca en tres cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) durante el segundo ciclo de la planta vegetativa. *Archivos Brasileños de Biología y Tecnología*, 51, 1079-1087.
- Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I., & Ceballos, H. (2010). Comparison of pasting and gel stability of waxy and normal starches from cassava, potato, maize, and rice under thermal, chemical and mechanical stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(8), 5093-5099. <https://doi.org/10.1021/jf1001606>
- Santos, T., Lima e Silva, P. S., Dantas, J., Da Silveira, L. M., & De Sousa, R. P. (2013). Planting density and yield cassava roots. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2). <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000200014>
- Selvaraj, M. G., Montoya, P. M. E., Atabori, J., French, T., & Pridmore, T. (2019). A low-cost aeroponic phenotyping system for storage root development: Unravelling the below-ground secrets of cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Methods*, 15(1), 131. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0517-6>
- Selvaraj, M. G., Valderama, M., Guzman, D., Valencia, M., Ruiz, H., & Acharjee, A. (2020). Machine learning for high-throughput field phenotyping and image processing provides insight into the association of above and below-ground traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Methods*, 16(87). <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00625-1>

- Silva, R., Moura, E., Neto, J. T., & Sampaio, J. E. (2016). Genetic parameters and agronomic evaluation of cassava genotypes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(7), 834-841. doi: 10.1590/S0100-204X2016000700006
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (Sipsa) & Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). *Series históricas del componente de abastecimiento y precios mayoristas, 2013 a 2021*. <https://www.DANE.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa#precios-mayoristas>
- Taborda, L. A. (2018). *Determinación y análisis integral de impactos de la agroindustria rural de almidón de yuca en Cauca Colombia* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/69148>
- Timmermann, A., Oberhuber, J., Bacher, A., Esch, M., Latif, M., & Roeckner, E. (1999). Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398(6729), 694-697. doi: 10.1038/19505
- Toler, J. E., & Burrows, P. M. (1998). Rendimiento genotípico sobre matrices ambientales: un protocolo de agrupamiento no lineal. *Diario de Estadísticas Aplicadas*, 25, 131-143.
- Toro, J. C. (1984). *Manihoica P-11 y P-12: dos nuevas variedades de yuca para Colombia*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31240>
- Tran, T., Zhang, X., Ceballos, H., Moreno, J. L., Luna, J., Escobar, A., Morante, N., Belalcázar, J., Becerra, L. A., & Dufour, D. (2021). Correlation of cooking time with water absorption and changes in relative density during boiling of cassava roots. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1193-1205. doi.org/10.1111/ijfs.14769
- Tran, T., Zhang, X., Ceballos, H., Moreno, J. L., Luna, J., Escobar, A., Morante, N., Belalcázar, J., Becerra, L. A., & Dufour, D. (2021). Correlation of cooking time with water absorption and changes in relative density during boiling of cassava roots. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 1193-1205. doi.org/10.1111/ijfs.14769
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2021). *Inicio*. Acceso: 10 de Junio de 2022. <https://upra.gov.co/es-co>.

- Valle, J.F. (2021) . *A review of crop variety evaluation in roots, tubers and bananas: Geographic coverage*. Alliance of Bioversity International and CIAT; Wageningen University. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/111047>
- Vargas, H., Bolívar, L., Arias, B., & Belloti, A. (2002). *Nataima 31: variedad de yuca (Manihot esculenta Crantz) resistente a mosca blanca (Aleurotrachelus socialis Bondar) para el valle cálido del Alto Magdalena* [Plegable divulgativo]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19074>
- Wang, H. L., Cui, X. Y., Wang, X. W., & Liu, S. S. (2016). First report of Sri Lankan cassava mosaic virus infecting cassava in Cambodia. *Plant Disease*, 100(5), 1029. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-15-1228-PDN>
- Welsch, R., Arango, J., Bär, C., Salazar, B., Al-Babili, S., Beltrán, J., Chavarriaga, P., Ceballos, H., Tohme, J., & Beyer, P. (2010). Provitamin A accumulation in cassava (*Manihot esculenta*) roots driven by a single nucleotide polymorphism in a phytoene synthase gene. *Plant Cell*, 22(10), 3348-56. doi: 10.1105/tpc.110.077560
- Wolfe, M. D., Del Carpio, D. P., Alabi, O., Ezenwaka, L. C., Ikeogu, U. N., Kayondo, I. S., Lozano, R., Okeke, U. G., Ozimati, A. A., Williams, E., Egesi, C., Kawuki, R. S., Kulakow, P., Rabbi, I. Y., & Jannink, J. L. (2017). Prospects for genomic selection in cassava breeding. *Plant Genome*, 10(3). doi: 10.3835/plantgenome2017.03.0015

Los autores

Alfonso Rafael Orozco Guerrero

Correo: arorozco@agrosavia.co

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

Profesional en ingeniería agronómica, egresado de la Universidad del Magdalena, con experiencia como profesional de apoyo a la investigación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Caribia. Cuenta con experiencia en el manejo y ejecución de investigaciones en cultivos hortícolas, yuca, mango, banano, entre otros, y con conocimientos en el manejo integrado de plagas y enfermedades, metodología ECA e ICO y transferencia de tecnología.

Amaury Aroldo Espitia Montes

Correo: aespitia@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8057-9483>

M. C. en Biotecnología e ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba. Se desempeña como investigador máster en AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, donde está vinculado desde 1998. Cuenta con experiencia en investigación en cultivos de tejidos vegetales, micropropagación de plantas, estandarización y desarrollo de protocolos, escalamiento y producción de semilla de 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. Ha publicado los siguientes artículos: "Enraizamiento in vitro de *Dioscorea* sp." (*Revista Colombiana de Biotecnología*, 5[2]) y "Reproducción de semilla de batata (*Ipomoea batatas*) var. Agrosavia Aurora en Colombia" (*Agronomía Costarricense*, 45[1]).

Shirley Patricia Pérez Cantero

Correo: sperezc@agrosavia.co

Orcid: <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 en diferentes especies, como maíz, berenjena y aguacate, y 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.

Elvia Amparo Rosero Alpala

Correo: erosero@agrosavia.co

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

Magíster en Ciencias Agrarias, con énfasis en fitomejoramiento, e ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, con estudios de Ph. D. en 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 AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná. 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.

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 de AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná. Cuenta con experiencia en establecimiento y manejo de experimentos de investigación agrícola en cultivos de ñame, yuca y batata, de los cuales se han generado ofertas tecnológicas relacionadas con el manejo integrado de dichos cultivos y la producción de semilla de calidad para siembras comerciales. Publicó el artículo "Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana" (*Avances en Investigación Agropecuaria*, 25[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 el 2015 está vinculado a AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, 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. Publicó el artículo "Multi-trait selection indices for identifying new cassava varieties adapted to the Caribbean region of Colombia" (*Agronomy*, 11[9]).

Remberto Rafael Martínez Figueroa

Correo: rmartinez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7188-5609>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba y magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos de la Universidad Internacional de La Rioja (España). Cuenta con experiencia en investigación de técnicas de restauración de suelos en sistemas agroforestales, de selección de variedades promisorias, de técnicas integradas de manejo agronómico y producción de material de siembra de cultivos de raíces y tubérculos del Caribe colombiano (yuca, batata y ñame), 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 Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.

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 Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.

Eberto Rodríguez Henao

Correo: erodriguezh@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>

Ingeniero agrónomo con maestría en Ciencias Agrarias en la línea de investigación en Mejoramiento Genético Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Tiene experiencia en investigación agrícola, conservación de recursos fitogenéticos con énfasis en germoplasma de frutales de clima cálido y programas de fitomejoramiento. Actualmente, lidera el Programa de Mejoramiento Genético de la Guayaba en AGROSAVIA y participa de actividades de mejoramiento en cultivos de importancia nacional en los sistemas productivos de yuca, mora, batata y banano, en los cuales ha ejecutado proyectos de investigación encaminados al registro de cultivares comerciales, gracias a lo cual se ha logrado el registro de dos variedades de guayaba y dos variedades de yuca. Es el curador de los bancos de germoplasma conservados en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA.

Lina Vanessa Garavito Morales

Correo: lgaravito@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5178-6590>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Caldas y estudiante de la Maestría en Ciencias Agrarias con línea de investigación en Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Se ha desempeñado en el área de asistencia técnica para pequeños y medianos productores en cultivos frutales de clima frío y cálido, enfocados en las áreas de nutrición vegetal y fertilidad de suelos. Es profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA, donde apoya los proyectos de especies nativas forestales, validación de tecnologías para el cultivo de aguacate Hass en el departamento del Cauca y generación de tecnologías para mejorar la producción, productividad y calidad de la yuca para consumo fresco y producción de almidón en el suroccidente colombiano.

Rommel Igor León Pacheco

Correo: rleon@agrosavia.co

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

Ingeniero agrónomo con maestría en Agronomía, con orientación en mejoramiento genético de plantas y ecofisiología vegetal. Investigador con más de quince años de experiencia en sistemas productivos de cultivos

transitorios. Se ha desempeñado como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) (2005-2016) e investigador máster senior en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA (2016-actualidad). 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.

Karen Andrea Alarcón Beltrán

Correo: kalarcon@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4368-0395>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Cundinamarca, extensión Facativá, con experiencia en investigación aplicada y participativa. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación El Mira de AGROSAVIA, en manejo integrado de cultivos como cacao y café; manejo de *Rhynchophorus palmarum* y *Dynamis borassii* en coco, y productividad y calidad de la yuca para consumo fresco y producción de almidón en el Pacífico nariñense colombiano.

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 investigador 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 en producción de semilla de especies para el Caribe seco colombiano, y se encuentra adscrita a la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas de AGROSAVIA.

Juan Carlos González

Correo: jugonzalez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7415-3873>

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas, con experiencia en la comercialización y control de calidad de cacao en grano seco para el mercado nacional y de exportación. Se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA, Centro de Investigación El Mira, en Tumaco, con cuatro años de experiencia en el sector de la investigación agrícola en desarrollo de proyectos de investigación en cultivos de cacao en sistema agroforestal, café canéfora y yuca de consumo fresco e industrial para almidón, en la Costa Pacífica.

José Ives Pérez Zúñiga

Correo: jiperez@agrosavia.co

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

Ingeniero agrónomo con maestría en Agricultura Ecológica con énfasis en mejoramiento genético del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), de Costa Rica. Se encuentra vinculado a AGROSAVIA desde el año 2004 en el Centro de Investigación El Mira, y luego en la sede Popayán como investigador máster, donde ha trabajado en proyectos de investigación en el área de mejoramiento genético vegetal en palma de aceite, cacao y yuca; en manejo de sistema productivo en permanentes (palma de aceite, chontaduro, forestales) y cacao; en la sede Popayán, en evaluación de variedades de frijol, quinua y caña de azúcar para panela, y en producción de semilla, vinculado al proyecto de jardines clonales de cacao para semilla sexual y asexual. Actualmente lidera trabajos de investigación en mejoramiento genético de cacao regional del departamento de Nariño y evaluación de materiales de quinua. Se encuentra adscrito a la Red de Cacao de AGROSAVIA.

Gabriel Ernesto Silva Acosta

Correo: gesilva@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6519-8973>

Ingeniero agrónomo y administrador de empresas. Magíster en Ciencias en Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo (México). Vinculado desde el año 2014 a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Caribia, donde ha participado en el desarrollo de proyectos de investigación en la Red de Innovación de Hortalizas y Plantas Aromáticas, así como en raíces y tubérculos,

orientados a la obtención de nuevos cultivares y a la realización de trabajos de economía agrícola y estudios socioeconómicos.

Luis Alejandro Taborda Andrade

Correo: ltaborda@agrosavia.co

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

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

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.

Thierry Tran

Correo: Thierry.Tran@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9557-3340>

Investigador senior en el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Cirad, por sus iniciales en francés) durante quince 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.

Jorge Iván Lenis Calderón

Correo: j.lenis@cgiar.org

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional, Sede Palmira, con experiencia de más de 35 años en el cultivo de la yuca, como asociado de investigación en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, al cual se encuentra vinculado desde 1987. Cuenta con amplia experiencia en el manejo y ejecución de ensayos de investigación en mejoramiento de variedades del Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados desde 1992. Actualmente lidera ensayos de Investigación en Atlántico, Magdalena y La Guajira.

Sandra Milena Salazar Erazo

Correo: s.m.salazar@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0440-3240>

Ingeniera agrónoma con maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento, egresada de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Con 20 años de experiencia en el departamento de investigación y desarrollo de empresas como CIAT, Semillas Valle S.A. y Monsanto. Tiene conocimientos en mejoramiento genético de cultivos de yuca, arroz, algodón, maíz y sorgo, y experiencia en procesos de aprobación de materiales ante ICA, desarrollo de ensayos de campo, manejo agronómico de cultivos, manejo de personal y manejo de presupuestos. Ahora, en el programa de mejoramiento genético de yuca del CIAT, participó en la investigación y el desarrollo de clones de yuca para Colombia.

Sonia Gallego Castillo

Correo: s.gallego@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8654-8530>

Profesional en Ingeniería Química de la Universidad del Valle (Cali, Colombia) y magíster en Ingeniería de Alimentos de la misma universidad. Asociada sénior de Investigación de la Alianza de Bioversity Internacional y el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), cuenta con una experiencia de más de 18 años en la coordinación de proyectos de investigación, innovación y desarrollo en el área poscosecha de raíces, tubérculos, cereales y legumbres. En la actualidad, hace parte del programa de cultivos biofortificados liderando las actividades para la validación y transferencia de tecnologías poscosecha, la producción de harinas y el desarrollo, caracterización y análisis nutricional de productos alimenticios a partir de cultivos biofortificados de alto consumo (arroz, maíz, frijol, batata y yuca).

También es la responsable de los estudios de retención de micronutrientes, evaluación sensorial de los alimentos y otras actividades enfocadas en la promoción de los cultivos biofortificados como materias primas alternativas y funcionales en la industria de alimentos.

John Eiver Belalcázar Martínez

Correo: johneiver@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4418-2526>

Profesional en Química de la Universidad del Valle, candidato al título de doctor en Ciencia y Fenología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, con más de 20 años de experiencia en investigación y desarrollo de productos. Tiene conocimientos en el cultivo de yuca, evaluación de su calidad y desarrollo de nuevas tecnologías para su procesamiento y producción, además del desarrollo de nuevos productos a partir de las raíces frescas y procesadas.

Hernán Ceballos Lascano

Correo: HernanCeballosL54@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8744-7918>

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y PhD en mejoramiento genético de los cultivos (Cornell University, USA). Cuenta con siete años de experiencia en mejoramiento de maíz (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo – CIMMYT) y 23 años en yuca (Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT). Ha sido profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira) por 12 años. Coordinador del Programa de Yuca del CIAT por doce años. Investigador Visitante en Guangxi Subtropical Crops Research Institute (GS-CRI) en China. Profesor Invitado en la Universidad de Kasetsart (Tailandia), Universidad de Ghana (Ghana), Universidad de Kwazulu-Natal (Sudáfrica) y Universidad de Makerere (Uganda). Miembro de un equipo multidisciplinario y multiinstitucional que ha liberado numerosas variedades de maíz y yuca en Colombia.

Lizbeth Pino Durán

Correo: l.pino@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4388-6230>

Administradora de empresas egresada de la Universidad Santiago de Cali, especialista y magíster en Gerencia de Proyectos de la Universidad Pontificia Bolivariana. Tiene experiencia de más de 10 años en el cultivo de la yuca, como asociada en el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, al

cual se encuentra vinculada desde el 2012. Cuenta con amplia experiencia en el manejo de datos para los ensayos de investigación en mejoramiento de variedades del Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados.

Xiaofei Zhang

Correo: xiaofei.zhang@cgiar.org

Ph. D. en Mejoramiento de Plantas de la Universidad de Ciencias de China, con más de quince años de experiencia en el mejoramiento de variedades de trigo, pasto de trigo intermedio, camote y yuca. Es el líder del programa de mejoramiento de yuca de la Alianza Bioversity y CIAT desde hace tres años. Aspira a desarrollar e implementar nuevas tecnologías en el fitomejoramiento aplicado para aumentar las ganancias genéticas, asegurar el suministro de alimentos, vencer el hambre, mejorar la equidad y proteger la calidad del suelo y el agua.

Nelson Morante Herrera

Correo: n.morante@cgiar.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6511-3389>

Biólogo genético egresado de la Universidad del Valle. Cuenta con treinta años de experiencia como profesional de apoyo a la investigación en el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, vinculado desde 1992. Cuenta con amplia experiencia en el manejo de datos de ensayos de investigación y la generación de familias de cruzamientos y selección de nuevas variedades para el Programa de Mejoramiento de Yuca. Ha participado en la investigación de los clones liberados.

Fernando Calle Calle

Correo: callecallef@hotmail.com

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Caldas. Treinta y ocho años de experiencia apoyando las diferentes actividades de investigación del Proyecto Yuca en el Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Durante los años 1977-1982 trabajó en el ambiente de los suelos ácidos en la Orinoquía, en la Estación Experimental Carimagua, en las áreas de mejoramiento, suelos, agronomía, entomología y fitopatología. Desde el año 1982 hasta el 2015 trabajó en el proyecto Fitomejoramiento, sede Palmira, apoyando las actividades en el Caribe, Valles Interandinos y Orinoquía con énfasis en el desarrollo de nuevas variedades para estas zonas edafoclimáticas. Ha participado en el desarrollo y liberación de numerosas variedades

de yuca en Colombia, y apoyando en la evaluación de germoplasma élite de yuca en las actividades de Clayuca para Centro y Suramérica. Desde el año 2016 hasta la fecha se ha desempeñado como consultor en la Corporación Clayuca.

Martha Liliana Montes Pérez

Correo: mmontes@agrosavia.co

Orcid: <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* a nivel de laboratorio.

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 cual ha desarrollado trabajos importantes tendientes a comprender la relación e interacción entre medioambiente, 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.

Héctor Augusto Sandoval Contreras

Correo: hsandoval@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1998-0390>

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima, con maestría en Agronomía en el área de fertilidad de suelos y nutrición de plantas de la Universidad Estadual de Londrina Paraná (Brasil). Pertenece a la sede de Yopal, dependiente del C. I. La Libertad de AGROSAVIA. Está inscrito en la red de frutales y participa en las redes de raíces y tubérculos, transitorios y cacao. Entre otros proyectos, ha tomado parte en el plan de vinculación de marañón desarrollado en el Vichada, y ha publicado ocho artículos científicos.

Anexo 1.

Ejemplo de labores incluidas dentro de los costos de producción de una hectárea de yuca industrial en el Caribe

A. Costos fijos

Actividad	Unidad	Cant.	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Arriendo de tierras				
Arriendo	ha	1		
Preparación de tierra				
Arada	ha	1		
Rastrillada	ha	1		
Surcada	ha	1		
Arreglo de surcos				
Siembra				
Mano de obra	ha	1		
Semilla + transporte	Global	1		
Mantenimiento del cultivo				
Control de malezas en preemergencia	ha	1		
Mano de obra	Jornales	2		
Insumos	Global	1		
Control de malezas en posemergencia				
Mano de obra	Jornales	12		
Insumos	Global	1		
Control de malezas manual				
Mano de obra	Jornales	16		
Subtotal control de malezas				

(Continúa...)

(Continuación del anexo)

Control de plagas y enfermedades				
Mano de obra	Jornales	8		
Insumos	Global	1		
Fertilización				
Mano de obra	Jornales	4		
Insumos	Global	3		
Otros	Global	1		
Subtotal de costos fijos				

B. Costos variables

Descangre	Jornales	2		
Cosecha	t	25		
Movimiento Interno	t	25		
Cargue y descargue	t	25		
Transporte a la Planta	t	25		
Otros	Global	1		
Subtotal de costos variables				

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

Impresión y encuadernación.
DGP Impresores S.A.S.
Terminó de imprimirse en marzo de 2023,
en Bogotá D.C., Colombia



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

Este libro reúne gran parte del conocimiento práctico para el mejoramiento genético de yuca y aborda temáticas clave para la identificación de genotipos deseados. Contiene información sobre el uso, la demanda y la prospectiva de la producción de yuca en Colombia (capítulo 1), y el área de cultivo y su integración en el proceso de mejoramiento genético de la yuca (capítulo 2). Además, ofrece una descripción del proceso de mejoramiento genético para la obtención y registro de cultivares comerciales de yuca en Colombia (capítulo 3). Los capítulos 4, 5 y 6 muestran la metodología de mejoramiento usada en la obtención de las variedades de yuca registradas ante el ICA, así como la descripción de las características morfoagronómicas de las variedades registradas hasta la fecha. La información sobre los atributos sobresalientes de las variedades registradas y su adopción por los agricultores (capítulo 7) y las perspectivas del proceso de mejoramiento para la yuca en Colombia (capítulo 8) cierran el contenido de este documento.



ISBN: 978-958-740-626-9



Distribución gratuita
Prohibida su venta