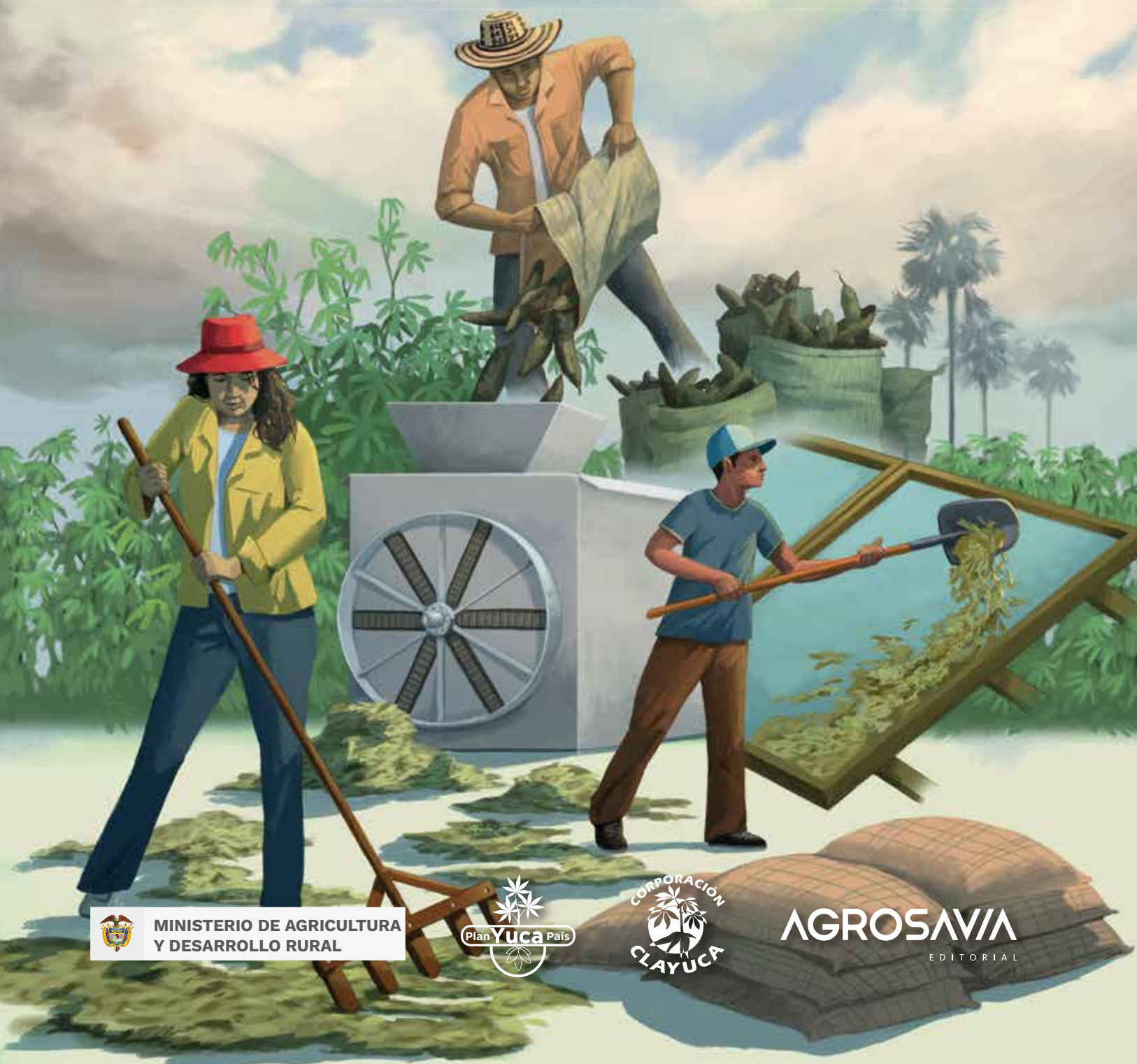


Tecnologías de secado y potencial de la agroindustria

de trozos secos de yuca en el Caribe colombiano



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



AGROSAVIA
EDITORIAL



Tecnologías de secado y potencial de la agroindustria

de trozos secos de yuca en el Caribe colombiano

Bernardo Ospina Patiño
Elvia Amparo Rosero Alpala
Editores



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Tecnologías de secado y potencial de la agroindustria de trozos secos de yuca en el Caribe colombiano. / editado por: Bernardo Ospina Patiño y Elvia Amparo Rosero Alpala. Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2022.

76 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)
Incluye referencias bibliográficas, fotografías y gráficos.
ISBN (tapa blanda): 978-958-740-624-5
ISBN (PDF): 978-958-740-625-2

1. *Manihot Esculenta* 2. Mandioca 3. Procesamiento 4. Comercialización 5. Tecnología de alimentos 6. Producción alimentaria 7. Agroindustria. I. Ospina Patiño, Bernardo (Editor) II. Rosero Alpala, Elvia Amparo (Editora).

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.

Corporación Clayuca

Campus CIAT. Kilómetro 17 recta Cali - Palmira.
Código postal: 763537, Colombia.

Esta publicación forma parte del Convenio (N.º 20220440 / 2084-1) AGROSAVIA-Clayuca, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) a través del proyecto "Yuca País: 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", Componente 4: "Provisión de Infraestructura de Secado".

Colección Prácticas Agropecuarias

Tipología: Manual

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

Ilustración de cubierta: Juan Felipe Martínez Tirado

Diseño y diagramación: Mónica Cabiatiava Daza

Corrección de estilo: Ruth Romero Vaca

Citación sugerida: Ospina Patiño, B., & Rosero Alpala, E. A. (Eds.). (2023). *Tecnologías de secado y potencial de la agroindustria de trozos secos de yuca en el Caribe colombiano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); Corporación Clayuca.

Doi: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7406252>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e 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	6
Presentación	7
Introducción	8

Capítulo 1. Distribución geográfica y caracterización de los patios de secado en la región Caribe colombiana

11

Shirley Patricia Pérez Cantero, Lily Lorena Luna Castellanos, Remberto Rafael Martínez Figueroa, Sol Mara Regino Hernández y Elvia Amparo Rosero Alpala

Características socioeconómicas y organizacionales de los grupos de productores que operan patios de secado natural de trozos frescos de yuca	14
Aspectos técnicos del proceso de secado	17
Variedades cultivadas y usadas para el proceso de secado	22

Capítulo 2. Aspectos generales sobre procesos tecnológicos para el secado de trozos frescos de yuca

24

Bernardo Ospina Patiño y Elvia Amparo Rosero Alpala

Generalidades del proceso tecnológico de secado de raíces de yuca	25
Cosecha, pesaje, alistamiento y trozado de raíces de yuca	27



Capítulo 3. Secado natural de trozos de yuca en patios y bandejas

32

Bernardo Ospina Patiño

Producción de trozos secos de yuca con secado natural	32
Tecnología de secado en patios	34
Estándares de calidad de los trozos secos para comercialización	39
Tecnología de secado natural de trozos de yuca en bandejas	40
Tiempo de secado de los trozos frescos de yuca	42

Capítulo 4. Secado artificial de trozos de yuca

43

Bernardo Ospina Patiño, José Alberto García Ágredo y Sonia Gallego Castillo

Recepción, lavado y trozado de yuca	44
Secado en capa fija rectangular con quemador a gas propano	48

Capítulo 5. Secado mixto de trozos de yuca

51

Bernardo Ospina Patiño, José Alberto García Ágredo y Elvia Amparo Rosero Alpala

Fase de secado natural en piso de cemento	51
Fase de secado artificial en cámara de secado de capa fija	54
Beneficios de la tecnología de secado mixto	55
Oportunidad del uso de sistema fotovoltaico con paneles solares en la operación	57

Capítulo 6. Determinantes del mercado de trozos de yuca para la producción de alimentos balanceados en Colombia

59

Luis Alejandro Taborda Andrade y Katia Contreras Valencia

Influencia de las dinámicas del mercado internacional sobre el uso de trozos secos de yuca para la formulación de alimentos balanceados

61

Perspectivas del mercado de trozos de yuca para la industria de alimentos balanceados

64

Capítulo 7. Potencial del uso de trozos secos de yuca en la producción de harina refinada

66

Bernardo Ospina Patiño, Sonia Gallego Castillo, Elvia Amparo Rosero Alpala y José Alberto García Ágredo

Composición química

67

Usos de la harina refinada de yuca

68

Conclusiones

69

Referencias

70

Los autores

73

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 el trabajo colaborativo entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA y la Corporación Clayuca, en aras de llevar el conocimiento y las tecnologías mejoradas que están disponibles para el fortalecimiento de los procesos de secado del cultivo de yuca a la región Caribe de Colombia. La trayectoria de Clayuca en procesos de transformación y agregación de valor en yuca le ha permitido integrarse no solo desde el conocimiento técnico, sino también en la estrategia general para implementar mejoras tecnológicas y operacionales en los procesos actuales de secado de trozos de yuca para ser usados como materia prima en la alimentación animal. Sin lugar a dudas, todo este proceso ha contribuido a la generación de información importante, que, al ser difundida, permitirá a los diferentes actores de la cadena agroindustrial de la yuca tener acceso al conocimiento integrado en el presente manual y utilizarlo para identificar las tecnologías disponibles para el secado de trozos de yuca, y asimismo reconocer la fortaleza actual y potencial de los procesos de secado de yuca que en este momento se están utilizando en la región Caribe de Colombia.

Un agradecimiento especial a las organizaciones y productores que fueron entrevistados para reconocer las características actuales de los patios de secado natural de trozos de yuca en la costa norte de Colombia, ya que su contribución ha permitido generar parte del contenido de este documento técnico y conocer con mayor detalle sus fortalezas y limitaciones. Agradecemos a los productores de yuca que día a día usan las variedades industriales mejoradas liberadas para el Caribe colombiano, ya que su adopción impulsa mejoras en sus sistemas productivos, los cuales traen los beneficios socioeconómicos esperados desde los esfuerzos institucionales. Finalmente, agradecemos a las empresas privadas que promueven el agronegocio de la yuca seca como materia prima para la producción de alimentos balanceados, pues sin su contribución no sería posible el desarrollo y fortalecimiento de este segmento de la cadena de valor de la yuca en Colombia.

Presentación

El proyecto Plan Yuca País es una iniciativa que se empezó a implementar en Colombia, en el año 2022, con financiación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y con la coordinación en su ejecución y administración de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA. El presente manual es uno de los documentos desarrollados en este proyecto.

La implementación de esta iniciativa ha demandado aunar esfuerzos técnicos, científicos y tecnológicos, con el objetivo de impulsar el subsector productivo de la yuca industrial como polo de desarrollo local, a través de la promoción de mejorías en las capacidades de organizaciones de pequeños productores de yuca, en los departamentos de Sucre, Bolívar y Córdoba, para la producción, transformación y comercialización del cultivo. Para la transferencia de estos conocimientos y para la implementación de las mejorías tecnológicas en los sistemas actuales de secado de yuca en la región Caribe de Colombia, AGROSAVIA y Clayuca reunieron sus equipos técnicos para un trabajo conjunto, a través del convenio derivado n.º 2084-1.

Este manual reúne información relevante para productores y procesadores de yuca, y también puede ser útil para otros actores de la cadena agroindustrial de la yuca, especialmente para quienes participan en las actividades de producción de trozos secos de yuca y en su uso posterior como materia prima en la industria de alimentos balanceados para animales y otros usos industriales.

El capítulo 1 describe los resultados de la caracterización de los patios de secado encontrados en los departamentos de Córdoba y Sucre, de la región Caribe, siendo estos los departamentos de Colombia donde se da el proceso de secado de yuca con mayor intensidad. Los capítulos 2, 3, 4 y 5 describen las generalidades del proceso de secado y las tecnologías usadas en él, indicándose claramente el proceso y las condiciones de operación. Finalmente, los capítulos 6 y 7 abordan el potencial de los trozos secos de yuca para la producción de harina refinada, así como también el análisis global y las perspectivas del mercado y de la transformación de trozos secos de yuca en Colombia, aquí se indica la dinámica y el potencial de la región Caribe, que se articula con la demanda de materia prima para la fabricación de alimentos balanceados a nivel nacional.

Introducción

El proceso de secado de yuca a nivel mundial es una de las técnicas de transformación y agregación de valor que puede darse incluso en condiciones de baja tecnología; sin embargo, la eficiencia de este proceso puede verse significativamente incrementada a través de recomendaciones y técnicas que permitan aumentar la cantidad de yuca procesada, la calidad del producto final y los niveles de rentabilidad y competitividad de los emprendimientos que se dedican a este proceso agroindustrial.

Tailandia y Colombia son ejemplos de países cuya tecnología de secado de yuca, utilizando patios de cemento, se ha establecido y funciona desde hace varias décadas. Sin embargo, un análisis comparativo de las escalas de infraestructura y los volúmenes procesados en los dos países permite establecer puntos importantes de comparación, que ayuden a encontrar y conceptualizar estrategias que sean útiles en el proceso de mejoramiento de la competitividad y la sostenibilidad de este tipo de tecnología en el contexto colombiano.

En Tailandia, considerado como el país rey de la producción mundial de trozos secos de yuca, se utilizan pisos de cemento como superficie de secado, en áreas que tienen en promedio entre 3 y 5 ha de superficie (30.000-50.000 m²), lo que significa que en un lote de secado se pueden manejar entre 300 y 500 t de trozos frescos de yuca, mientras que en Colombia las mayores áreas de secado tienen en promedio entre 1.000 y 2.000 m² de superficie, y manejan cantidades promedio entre 10 y 20 t de trozos frescos de yuca por lote. Dos situaciones muy contrastantes. Tailandia tiene un periodo seco (condición necesaria para utilizar eficientemente la tecnología de secado de trozos de yuca en patios de cemento) muy corto, de 2 a 3 meses únicamente, lo que los ha obligado a utilizar estas infraestructuras de secado tan grandes y les ha permitido alcanzar volúmenes anuales de producción que están en promedio en 5 millones de toneladas de trozos secos de yuca por año. En Colombia, existe la ventaja climática de contar con un periodo seco de 5 a 6 meses al año, en los que se puede utilizar la tecnología de secado natural de trozos de yuca en patios de secado. No obstante, el volumen de producción anual de trozos secos de yuca no excede, en promedio, unas 150.000 t.

Por otro lado, las tasas de crecimiento de sectores como el de los alimentos balanceados en Colombia presentan tendencias positivas, y, ante la falta de producción suficiente de materias primas como los cereales (maíz, sorgo, soya), la industria de alimentos balanceados se ve obligada a recurrir a altos niveles de importación de estos cereales, en volúmenes de varios millones de toneladas por año. Una parte de estos cereales importados podría ser reemplazada por materias primas como los trozos secos de yuca, lo que ayudaría al país a generar empleos, ingresos, ahorro de divisas y, sobre todo, procesos de desarrollo rural sostenible, competitivo e incluyente.

El secado es una operación unitaria de separación, mediante la cual se reduce el contenido de agua o humedad en los trozos frescos de yuca. Este proceso se requiere dada la necesidad de preservación o prolongación de la vida útil de la yuca. El alto contenido de humedad en las raíces de yuca (60-65%) puede hacer que existan grandes pérdidas poscosecha, debido al rápido deterioro fisiológico y microbiológico que puede darse una vez son cosechadas las raíces de yuca. En este manual se describen diferentes aspectos de las estrategias de secado actualmente recomendadas. Humedad relativa, temperatura y velocidad del aire son factores ambientales que inciden directamente en la pérdida de humedad del material a deshidratar, y, por lo tanto, en la mayor eficiencia en el secado.

La producción de yuca seca y su utilización como fuente de calorías para sustituir ciertos cereales (especialmente maíz y sorgo) en la alimentación animal ha generado una demanda creciente de este producto en el mercado. Por esto, el desafío para mejorar la producción se concentra en los diferentes eslabones de la cadena de transformación. En cuanto a la producción, se debe aumentar el rendimiento por hectárea, por medio del uso de variedades y del establecimiento de las condiciones de cultivo que permitan una mayor eficiencia en la transformación. Para el procesamiento, el empleo exclusivo de un sistema de secado natural obliga a operar solamente durante la época seca del año y a procesar volúmenes grandes de yuca fresca de forma estacional; por esta razón, las mejoras en la eficiencia de secado a través de sistemas artificiales o de la combinación de estrategias (híbrido o mixto) promueven un incremento en la cantidad y la calidad del producto, lo que puede ser una ventaja cuando se pagan incentivos por la calidad o se comercializa el producto para la alimentación humana, un mercado en el que se pueden lograr mejores precios de venta.

En general, los resultados del análisis de mercado de los trozos secos para la elaboración de balanceados son prometedores; sin embargo, se requiere de la promoción de mejoras en la cadena de agregación de valor que permitan mejorar la rentabilidad en manos de los productores.

Este manual ofrece un amplio contenido práctico para reconocer las posibilidades actuales en el secado de trozos frescos de yuca, que no solo involucran equipos para mecanizar el proceso, sino también la posibilidad de insertar tecnologías sostenibles, como paneles solares como fuente de energía amigable con el ambiente. Se espera que el compendio de tecnologías y recomendaciones técnicas incluidas en este manual ayuden a los diferentes actores, en cada uno de los eslabones que componen la cadena agroindustrial de la yuca en Colombia, a mejorar su acceso a información sobre procesos y tecnologías que están disponibles y que pueden ser adaptados e implementados en el país, para convertir la agroindustria de la yuca en Colombia en una estrategia de desarrollo económico.

Capítulo 1.

Distribución geográfica y caracterización de los patios de secado en la región Caribe colombiana

Shirley Patricia Pérez Cantero | Lily Lorena Luna Castellanos
Remberto Rafael Martínez Figueroa | Sol Mara Regino Hernández
Elvia Amparo Rosero Alpala

La gran relevancia que tiene el cultivo de yuca en Colombia no solo se refleja en la extensión del área de cultivo, sino también en su amplia distribución en todos los departamentos del país, en los cuales la seguridad alimentaria y los ingresos económicos de muchas familias están basados en este importante cultivo. Asimismo, en ciertas regiones, la yuca ha sido usada como materia prima para algunos segmentos agroindustriales que, en algunos casos, aprovechan las condiciones locales para iniciar con parte del procesamiento.

El secado de la yuca surgió en la región Caribe por la crisis de mediados de la década de 1970, cuando todas las regiones productoras de yuca en Colombia presentaban una tendencia negativa, pues era un cultivo de subsistencia no orientado al mercado; para solventar lo anterior, entidades de investigación en el cultivo de yuca intervinieron en el Caribe y, a partir de 1981, se comenzó a implementar la estrategia de proyectos integrados de cultivos de yuca que incluían en su programa el establecimiento de plantas de procesamiento de yuca y sus derivados.

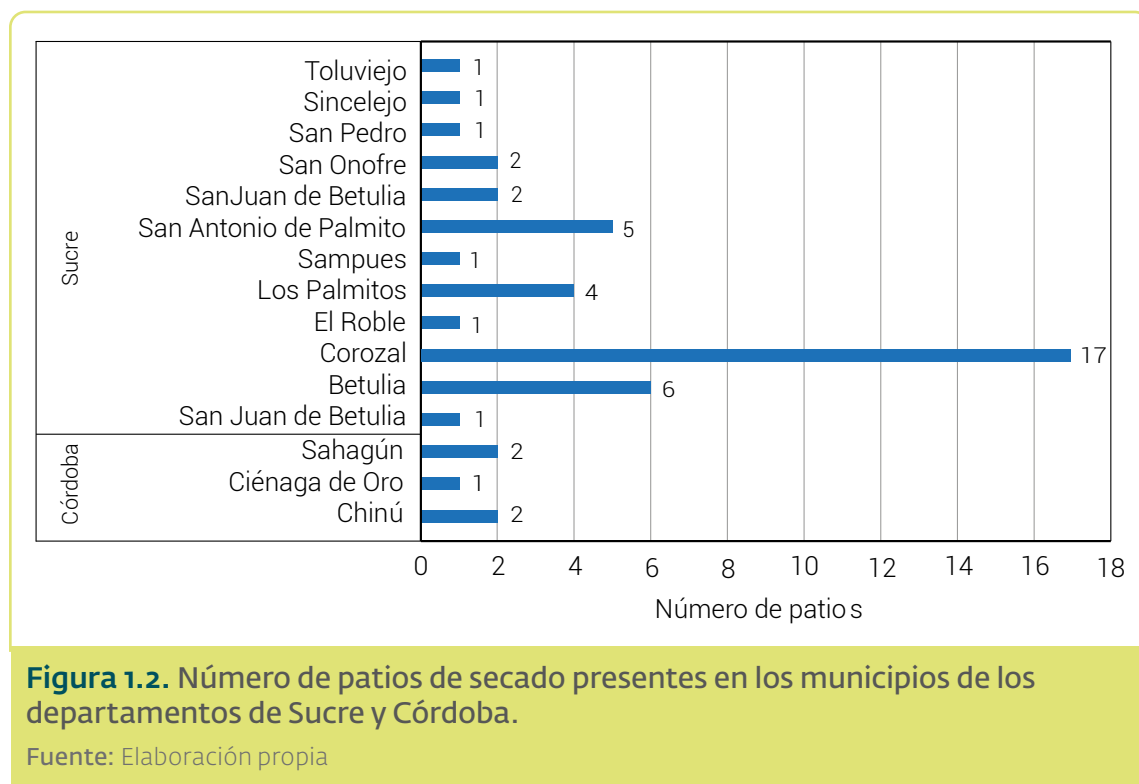
El secado de yuca durante estos años ha permitido perfeccionar la técnica y ha contribuido a potencializar el uso de raíces frescas para la producción de trozos secos de yuca, como materia prima en el sector de los alimentos balanceados para animales. Durante el 2022, el equipo de trabajo de AGROSAVIA que participó en la ejecución del proyecto Yuca País realizó un recorrido por los departamentos de Sucre, Córdoba y Bolívar para encontrar información sobre los patios de secado. La compilación de datos permitió generar una

caracterización sobre estos sistemas de agregación de valor local en la Costa Caribe. Los resultados de esta investigación se describen a continuación.

Los patios de secado de yuca en el Caribe se encuentran ubicados principalmente en los departamentos de Sucre y Córdoba (figura 1.1), pues este tipo de tecnología no se ha difundido en gran medida en otros departamentos del Caribe que tienen áreas importantes de cultivos de yuca.



En los departamentos de Sucre y Córdoba se visitaron 56 puntos que habían sido previamente referenciados por la existencia de patios de secado; sin embargo, se encontraron solamente 47 puntos con patios de secado en funcionamiento. La mayoría de estos 46 patios de secado natural de trozos frescos de yuca estaban ubicados en los municipios de Corozal, Betulia y San Antonio de Palmito, en el departamento de Sucre, que presenta registros de esta actividad en doce municipios (figura 1.2). Por otra parte, si bien en el departamento de Córdoba se registraron solamente cinco patios de secado, algunos de estos evidenciaron una mayor trayectoria.



El departamento de Córdoba fue uno de los núcleos de secado más consolidado en los años 90. En el municipio de Ciénaga de Oro estaban activos trece núcleos de secado, ubicados principalmente en la vereda El Salado (61,53%) y en la vereda El Bobo (15,38%). Pese a la alta demanda de raíces frescas en el mercado, en el año 2000 hubo una reducción considerable de unidades de secado en Córdoba, debido principalmente a la baja rentabilidad de la venta de trozos de yuca para la industria de balanceados y al alto costo de los fletes.

En el periodo comprendido entre 2010 y 2012, con la apertura de la planta de almidones de Sucre (ADS), se inició la reactivación del sector yuquero con fines industriales en la región Caribe. La producción de almidón dulce para diferentes usos, por parte de empresas como Ingredion y Poltec, entre otras, ha incentivado a los productores de yuca a producir raíces frescas para este tipo de mercado.

Características socioeconómicas y organizacionales de los grupos de productores que operan patios de secado natural de trozos frescos de yuca

El análisis de diferentes aspectos socioeconómicos y organizacionales muestra los diferentes niveles de trayectoria y estabilidad que presentan los grupos de productores que operan las agroindustrias rurales basadas en la operación de patios de secado natural de trozos frescos de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba. La caracterización de las unidades visitadas en estos dos departamentos mostró que los patios de secado pertenecen en su mayoría a asociaciones de productores y personal independiente, cuyos principales proveedores de materia prima son productores no asociados (figura 1.3), lo que indica que la fortaleza de cada patio de secado se proyecta más allá de la organización o del propietario y que beneficia a otros productores de la región, de manera que contribuyen al desarrollo económico de cada microrregión en la que opera la unidad agroindustrial basada en el patio de secado de trozos de yuca.

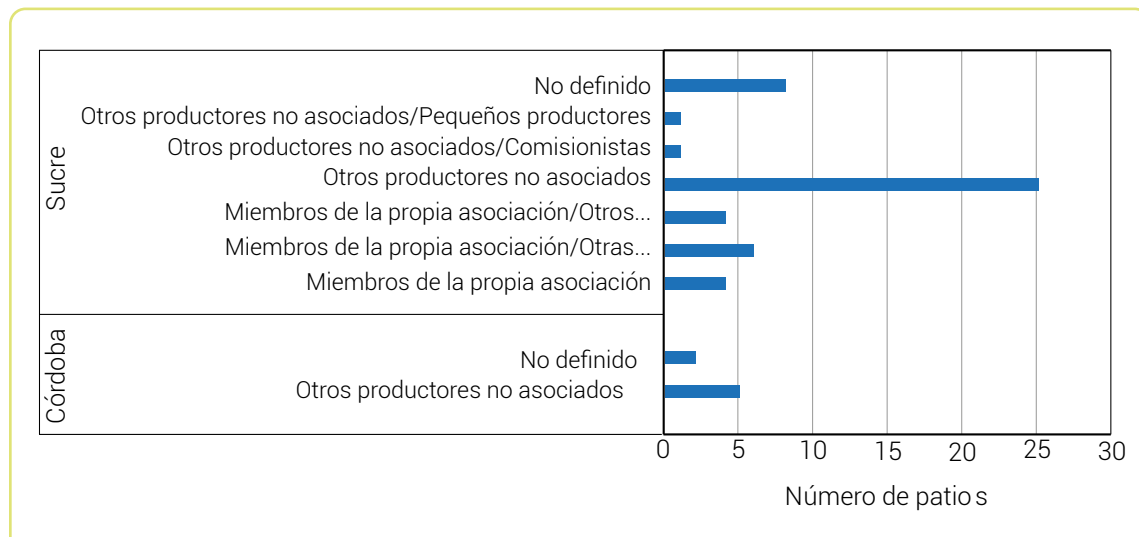


Figura 1.3. Tipología de los proveedores de materia prima para los patios de secado natural de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la propiedad de los predios usados para el establecimiento de los patios de secado natural de trozos de yuca, la mayoría de estas unidades en el departamento de Sucre ejecutan su labor en terrenos propios; sin embargo, también se reconoce un alto porcentaje de patios que operan en predios arrendados (figura 1.4). En el departamento de Córdoba, los patios de secado son establecidos por las asociaciones de productores en terrenos que son de su propiedad.

Un gran número de los patios de secado natural de trozos de yuca operan como planta propia de productores independientes, seguidos por plantas de secado alquiladas o pertenecientes a la organización de productores (figura 1.5). En Córdoba, se reportó un patio de secado que, a pesar de tener planta propia, en este momento se encuentra inactivo; sin embargo, conforme a los resultados anteriores, un buen porcentaje de patios opera en plantas que son propiedad de las organizaciones, lo que demuestra un buen nivel de cohesión organizacional.

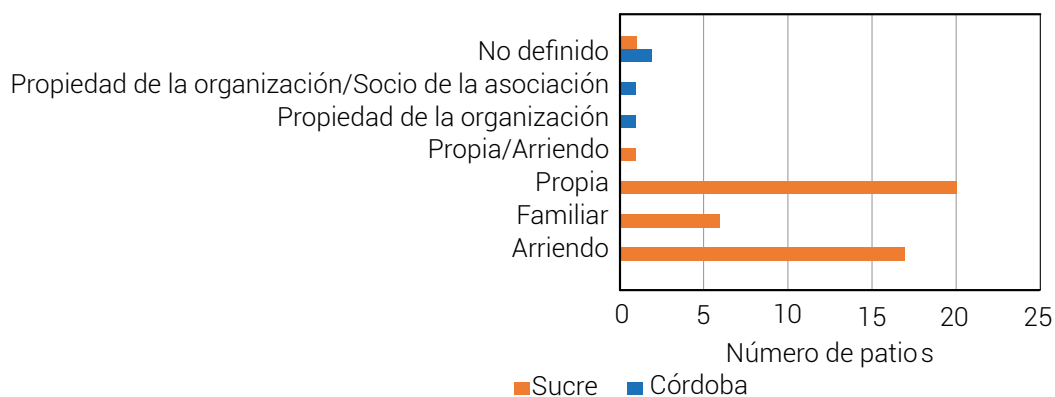


Figura 1.4. Tipo de propiedad de los predios usados para el establecimiento de los patios de secado natural de trozos de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

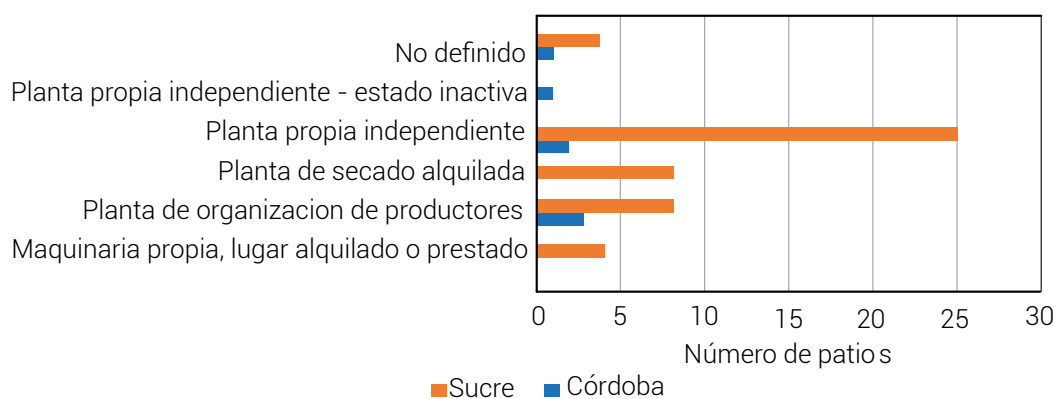


Figura 1.5. Tipo de propiedad de la planta y la maquinaria utilizada en los patios de secado natural de trozos de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Aspectos técnicos del proceso de secado

Se han identificado diferentes técnicas de secado que son usadas en la región (figura 1.6). Entre ellas, se destaca el secado en plástico, que es la principal técnica para secar trozos de yuca a bajo costo. El plástico es usado para facilitar el movimiento en el espacio de secado, asimismo es ventajoso en los procesos de limpieza y mantenimiento entre un secado y otro. Después de esta técnica, se ubica la integración de patio de concreto y plástico.

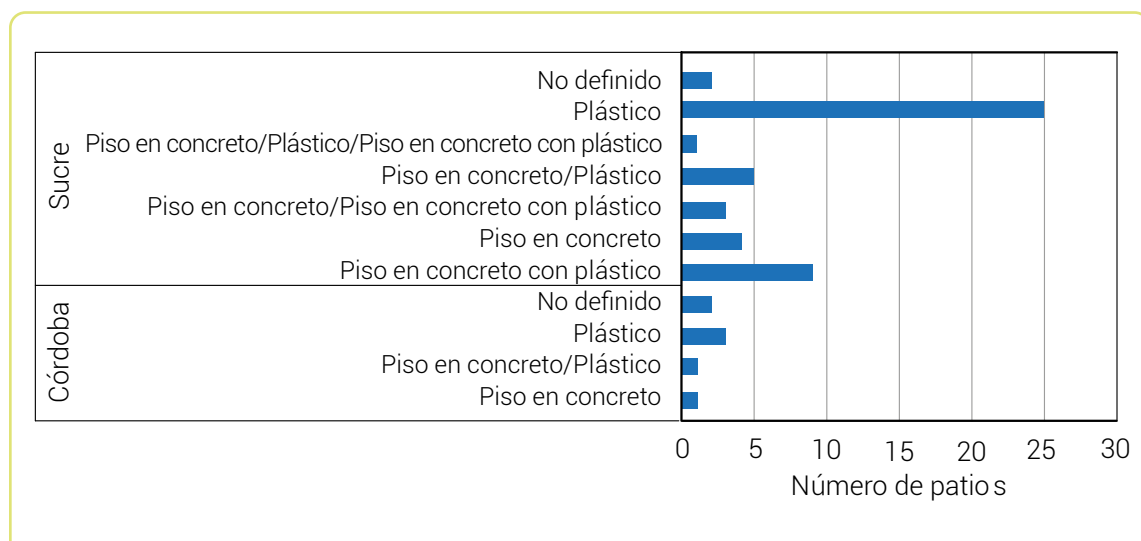


Figura 1.6. Tipo de material usado en los patios de secado natural de trozos de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Relacionado con el factor de técnicas de secado, se encontró que, aunque los patios de secado que están usando la técnica de plástico tienen la posibilidad de movimiento de un lugar a otro, la adecuación necesaria del terreno hace que la mayoría de las unidades de secado estén en estaciones fijas y, en un menor número, se registran unidades móviles (figura 1.7).

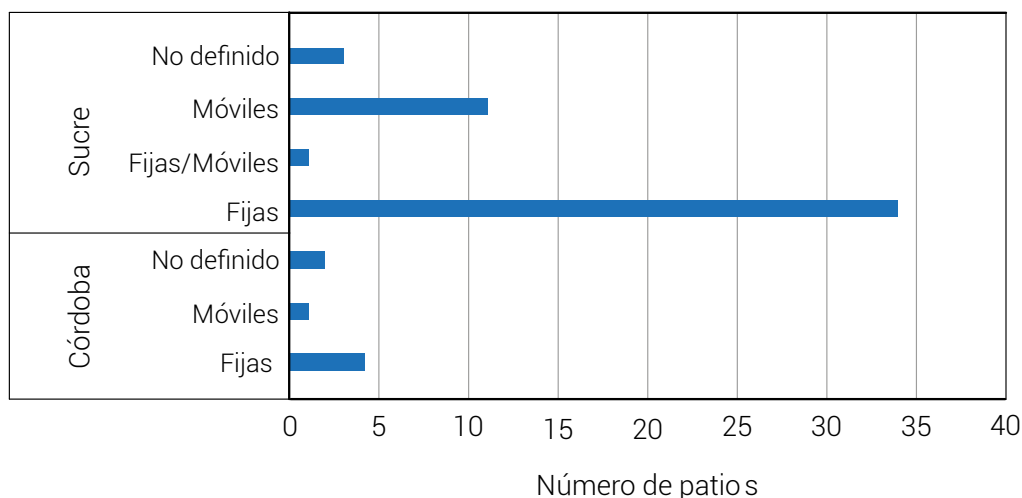


Figura 1.7. Movilidad de las unidades de secado natural de trozos de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las condiciones antes expuestas, la capacidad en términos de área de secado en cada municipio donde se encuentran ubicados los patios muestra que la mayor área para secado se ubica en el municipio de Corozal (Sucre), donde se registraron más de 50.000 m² (figura 1.8). Los municipios de San Onofre y Los Palmitos (Sucre) registraron áreas cercanas a los 20.000 m², mientras que la capacidad en Chinú, Ciénaga de Oro y Sahagún, en el departamento de Córdoba, fue inferior a los 10.000 m².

Las diferentes capacidades en los patios de secado de yuca en los municipios de los departamentos de Sucre y Córdoba permiten consistentemente procesar una mayor cantidad de raíces frescas de yuca (figura 1.9). De las 21.000 t de raíces frescas procesadas en el departamento de Sucre, más de 10.000 t se registran en el municipio de Corozal, seguido por Betulia. Mientras tanto, en el departamento de Córdoba se registran 982 t de raíces frescas procesadas, cuya mayor proporción proviene del municipio de Chinú.

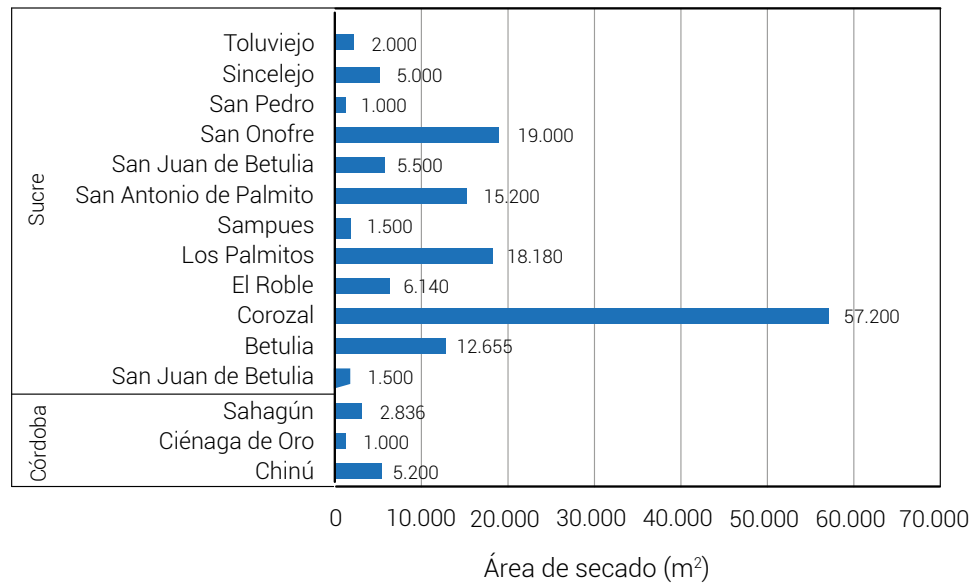


Figura 1.8. Áreas destinadas al secado natural de trozos de yuca en los municipios de los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

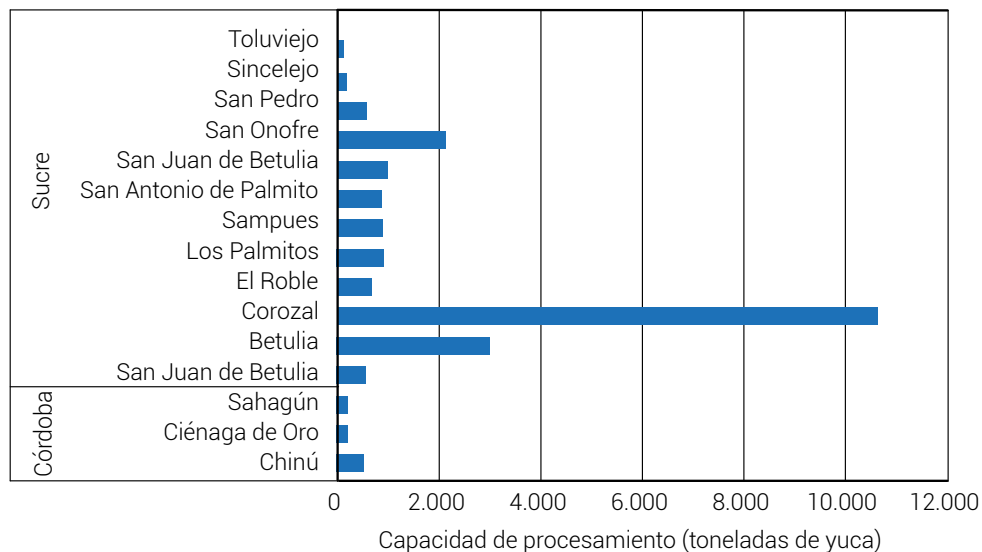


Figura 1.9. Cantidad de yuca fresca procesada por campaña en los patios de secado natural de trozos de yuca, por municipio, en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al equipamiento en cada patio de secado, se encontró que los implementos/equipos requeridos para el funcionamiento, y que, por tanto, se encuentran en la mayoría de los patios de secado, son trozadora (picadora), báscula, plásticos y carreta o carretilla de mano (figura 1.10). Herramientas como palas metálicas, palas de madera y rastrillos de madera, al igual que la escoba y los cepillos, son utilizados respectivamente para el movimiento de trozos de un lado a otro y para el aseo de espacios y maquinaria. Finalmente, se observó que gran parte de los patios de secado tienen elementos que facilitan el empacado de los trozos secos de yuca (cosedora, sacos e hilo).

Las características relacionadas con la capacidad instalada de los patios de secado están estrechamente relacionadas con el rendimiento y la eficiencia en los diferentes pasos del proceso de producción de trozos secos (tabla 1.1). En general, en promedio se pican más de 4.000 kg/h, encontrándose que este proceso es más eficiente en el departamento de Sucre. Sin embargo, en este departamento también se observó un rango amplio,

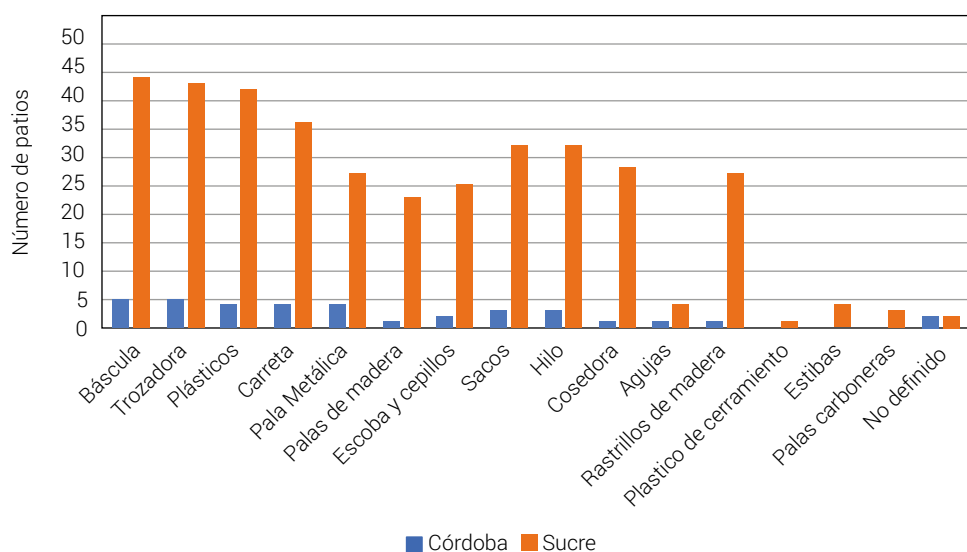


Figura 1.10. Elementos disponibles en patios de secado natural de trozos de yuca para realizar los procesos de picado, secado y empacado de los trozos en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

lo que indica que existen patios con diferentes niveles y capacidades de transformación.

Tabla 1.1. Características de desempeño de los patios de secado ubicados en los departamentos de Córdoba y Sucre

Características de desempeño	Córdoba	Sucre
Promedio de capacidad de picado (kg/h)	4.260	4.752
Rango en capacidad de picado (kg/h)	3.300-6.000	450-12.000
Promedio de capacidad de secado (kg/día)	535,6	667,2
Rango en capacidad de secado (kg/día)	200-1.000	69-10.000
Promedio de mano de obra requerida en la labor de picado (persona/t)	1,75	2,58
Promedio de mano de obra requerida en la labor de secado (persona/t)	1,75	2,28
Promedio de tiempo de adquisición y uso del equipo de picado (años)	14	5

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de secado se registra por encima de los 5 kg/h; sin embargo, esta capacidad está relacionada con las condiciones climáticas, ya que el secado se realiza al aire libre y requiere de días soleados. Al igual que el proceso de picado, la capacidad de secado muestra un rango amplio, lo que indica que las capacidades de los patios son diferentes entre ellos. Debido a la mayor capacidad registrada en el departamento de Sucre, el promedio de mano de obra requerida para el proceso de picado y secado es mayor en este departamento frente al registrado en Córdoba. Finalmente, aunque la capacidad observada en el departamento de Córdoba es menor, la trayectoria del proceso lleva mayor tiempo, lo que se evidencia en el tiempo de adquisición y uso de los equipos para el proceso, que registra alrededor de catorce años, mientras que para el departamento de Sucre se registra un promedio de cinco años.

Variedades cultivadas y usadas para el proceso de secado

Dentro de las variedades cultivadas, y que son usadas como materia prima para la producción de trozos secos, se encontró que variedades como Corpoica Tai, Corpoica Belloti y Venezolana son las de mayor uso en el proceso de secado (figura 1.11). Se resalta el gran número de variedades usadas, que incluye variedades dulces aptas para consumo humano, así como también la presencia de las nuevas variedades industriales, como Corpoica Belloti, Corpoica Sinuana y Corpoica Ropain, las cuales fueron liberadas por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA en el año 2017.

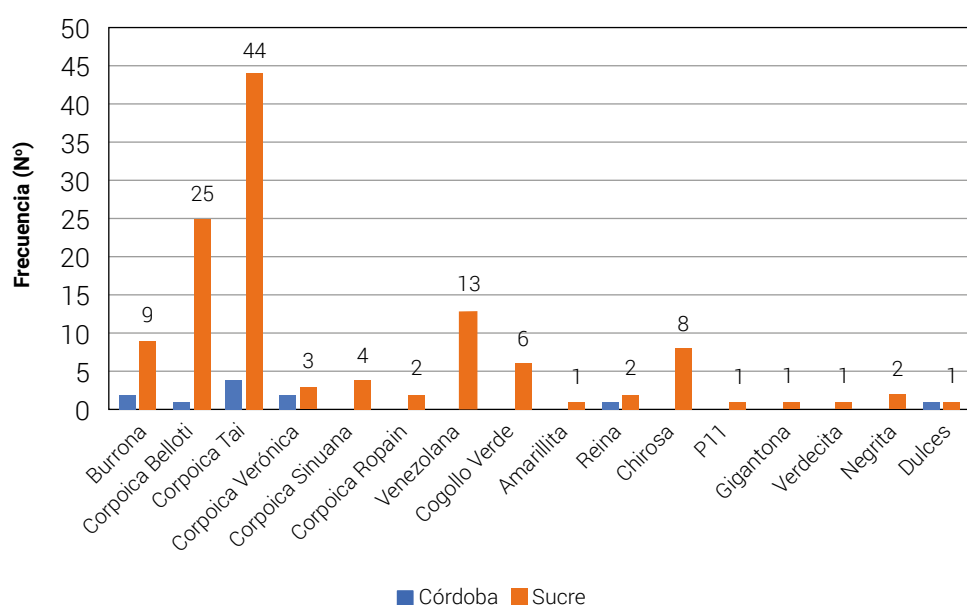


Figura 1.11. Variedades cultivadas y usadas en los patios de secado natural de yuca en los departamentos de Sucre y Córdoba.

Fuente: Elaboración propia

Frente a todas las características antes descritas, se reconoce la fortaleza de los patios de secado establecidos en los departamentos de Córdoba y Sucre, lo que ha permitido la adición de valor para el cultivo de yuca en la región, a través de la obtención de trozos secos de yuca, producto que ha consolidado su oferta como materia prima para la producción de alimentos balanceados para animales.



Capítulo 2.

Aspectos generales sobre procesos tecnológicos para el secado de trozos frescos de yuca

Bernardo Ospina Patiño | Elvia Amparo Rosero Alpala

La gran adaptación del cultivo de yuca a un rango amplio de condiciones ambientales le ofrece a este cultivo un alto potencial para ser un insumo en el desarrollo agroindustrial en las regiones donde es una de las opciones más importantes para los sistemas de producción agrícola. Existen diferentes alternativas tecnológicas para agregarle valor a la yuca y obtener diversos productos, que incluyen, entre otros, almidón dulce, almidón fermentado, harina, trozos secos, etc. Uno de los usos del cultivo de yuca que ha tomado una gran importancia es el de la yuca seca como materia prima en la elaboración de alimentos balanceados para animales. Esta importancia de la cadena de valor de la yuca se ha incrementado debido a las tendencias globales a nivel comercial y económico, que han promovido un incremento de precios, disponibilidad y costos de importación de los principales cultivos de cereales, que son fuente importante de energía y proteína, como el maíz, el sorgo y la soya. En este escenario, la yuca se postula como uno de los principales insumos en la fabricación de alimentos balanceados para animales, principalmente como una fuente de carbohidratos (energía). Para este propósito, las raíces de yuca deben ser sometidas a diferentes etapas de procesamiento, que incluyen desarenado, limpieza, trozado o picado, y secado. El proceso de secado se usa con el fin de eliminar el contenido excesivo de humedad que presentan las raíces frescas (65% en promedio), para que alcancen un contenido máximo del 12% de humedad, que permita su manejo y almacenamiento.

Generalidades del proceso tecnológico de secado de raíces de yuca

El secado de la yuca puede hacerse utilizando métodos naturales o artificiales; estos métodos requieren la inclusión de diferentes tecnologías, lo cual determina la eficiencia del proceso y la variación en los costos de transformación. La elección del método depende, en gran parte, de la cantidad de yuca a procesar, de la disponibilidad de capital, del costo de la mano de obra y de la disponibilidad de fuentes de energía (Hernández-Guevara & Vásquez-Barreto, 2008). A continuación, se describen tres de los principales procesos usados para el secado de trozos frescos de yuca.

Secado natural

El secado natural aprovecha la energía solar para eliminar el exceso de humedad presente en las raíces de yuca, y la acción complementaria del viento para transportar la humedad evaporada por los trozos de yuca. En este tipo de secado, las raíces de yuca se trozan para reducir su tamaño y facilitar la acción de la energía solar sobre la biomasa de yuca. Una vez que las raíces han sido convertidas en trozos pequeños, se esparcen sobre pisos de concreto o sobre lonas plásticas para facilitar que los trozos frescos queden expuestos a la acción directa de la radiación solar y del calor latente de la corriente del aire circundante. La diferencia básica entre usar pisos de concreto y lonas plásticas es que estas últimas son movibles y permiten realizar el secado de los trozos de yuca en cualquier lugar, mientras que un piso de secado tiene una ubicación fija.

Secado artificial

Este tipo de secado no depende de las condiciones climáticas, pero demanda el uso de energía, ya sea generada por captación de energía solar en sistemas fotovoltaicos, por combustibles de origen fósil, o por biomasa

incinerada para producir calor, como, por ejemplo, madera u otros residuos agrícolas. Usualmente, se requiere de la instalación de maquinaria, y esto incrementa los costos de este tipo de tecnología de secado. Sin embargo, el secado artificial permite una producción más rápida, continua e higiénica de la yuca seca, ya que evita que el producto permanezca mucho tiempo húmedo, especialmente cuando hay condiciones adversas. Además, y quizás esta es la principal diferencia, es una tecnología que puede usarse todo el año, a diferencia del secado al sol, que solo se utiliza en forma eficiente y económica en la época de verano, cuando no hay probabilidades de lluvia. En general, la principal desventaja de este tipo de secado es el costo de producción.

Secado mixto

Combina el método natural con el artificial en algunas etapas, buscando especialmente aprovechar la integración de las dos estrategias, incrementando la eficiencia del secado sin aumentar excesivamente los costos de producción. De esta forma, el secado natural, basado en el poder secante del aire ambiental y del sol, puede ser usado en la primera etapa de deshidratación, en la que el contenido de humedad de los trozos de yuca es muy alto, y después, en la fase final del secado, se utiliza un secado artificial, que ayuda a terminar el proceso de secado y a obtener la humedad final requerida.

La selección del método de secado a utilizar depende, en gran medida, de la cantidad de raíces frescas de yuca que se deben secar, de la disponibilidad de capital, de los costos de mano de obra y de la disponibilidad de fuentes de energía relativamente económicas (Ospina & Ceballos, 2002).

Cosecha, pesaje, alistamiento y trozado de raíces de yuca

Cosecha

Las raíces de yuca pueden ser cosechadas de forma manual o mecanizada, evitando dejar parte de los tocones o tallos y empacar residuos, como piedras o terrones, que pueden dañar las máquinas durante el procesamiento. Las raíces pueden ser transportadas a la planta de procesamiento empacadas o a granel (figura 2.1). El control de calidad desde el momento en que las raíces de yuca son cosechadas ayuda a evitar el empacado de raíces dañadas o deterioradas, que son foco de contaminación microbiana y posterior pudrición y mala calidad e inocuidad del producto final (Ospina & Ceballos, 2002).



Figura 2.1. Cosecha manual de yuca y traslado a la planta de secado. a. Extracción manual de las raíces de yuca; b. Empacado en campo de raíces frescas de yuca; c. Cargue y transporte al sitio de procesamiento.

Fotos: Archivo de Clayuca

Después de la cosecha, las raíces frescas deben ser transportadas rápidamente a la planta o patio de secado para que sean procesadas de inmediato. Se ha observado que el deterioro fisiológico y microbiano inicia ocho horas después de la cosecha y, como resultado, se obtiene un producto seco de mala calidad.

Un factor determinante en la eficiencia de la transformación y rentabilidad es el contenido de materia seca en las raíces de yuca, siendo esta una característica propia de la variedad de yuca que se esté procesando, aunque depende en gran medida de las condiciones ambientales, como el tipo de suelo y de clima durante el ciclo de producción del cultivo, la tecnología utilizada para manejar el suelo y el cultivo, la edad y la sanidad vegetal del cultivo en el momento de la cosecha. Según las características varietales, las variedades industriales registradas para la región Caribe de Colombia, y que presentan la mayor aceptación por parte de los productores de yuca y los procesadores de yuca seca, por su nivel adecuado de eficiencia en la transformación, son las variedades Corpoica Verónica, Corpoica Belloti y Corpoica Sinuana (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Eficiencia de transformación estimada de las principales variedades industriales

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

Fuente: Elaboración propia

Pesaje, lavado y alistamiento inicial de las raíces frescas de yuca

Una vez el producto cosechado ingresa a la planta de secado, las raíces frescas de yuca son pesadas. Esta operación se realiza con el fin de determinar la cantidad de yuca fresca que se va a procesar, pagar a los productores proveedores de la yuca fresca y determinar el rendimiento de la variedad, de yuca fresca a yuca seca, una vez se termine el proceso de secado. Se sugiere el uso de una báscula de plataforma, que pueda recibir varios costales a la vez, para facilitar la operación (figura 2.2).



Figura 2.2. Pesaje de raíces de yuca. a. Pesaje de raíces frescas de yuca para la posterior estimación de eficiencia en transformación; b. Balanza con plataforma, con capacidad superior a 100 kg.

Fotos: Archivo de Clayuca

El proceso de control antes de ingresar las raíces al picado incluye la eliminación de tierra adherida y de residuos indeseables, y el corte de tocones o tallos que hayan quedado en el proceso de cosecha. No es necesario eliminar la cáscara, ya que el principal uso de los trozos secos de yuca será como materia prima para la alimentación animal.

En muchas ocasiones, especialmente en épocas de invierno, las raíces frescas pueden llegar a la planta de proceso con tierra adherida, la cual debe eliminarse para evitar un alto contenido de cenizas, especialmente de sílice, lo que reduce la calidad del producto final. Cuando las raíces provienen de lotes con suelos pesados (arcillosos) o se cosechan durante una estación lluviosa, se recomienda lavarlas; esta operación puede realizarse de manera semimecanizada para incrementar la eficiencia de ejecución (figura 2.3).



Figura 2.3. Máquina lavadora de yuca con tambor cilíndrico rotatorio.
a. Desarenado de raíces; b. Cilindro rotatorio para el lavado de raíces.

Fotos: Archivo de Clayuca

Las máquinas diseñadas para lavar raíces de yuca contienen un tambor rotatorio, que sacude y lava las raíces con agua a presión dentro o fuera del tambor. Generalmente, las raíces de yuca casi nunca necesitan lavado, ya que la cosecha se realiza en época de verano, por lo cual las raíces cosechadas tienen poca tierra adherida.

Trozado o picado de raíces frescas de yuca

El tamaño de los trozos de yuca durante la operación de secado es un parámetro relevante en el secado y es una de las exigencias importantes por parte del mercado. Generalmente, la operación de la máquina picadora (figura 2.4) se calibra para obtener trozos pequeños y uniformes de aproximadamente 0,2-0,4 cm de espesor (García-Mogollón et al., 2016; Salcedo-Mendoza et al., 2014). El tamaño de los trozos garantiza un secado rápido, ya que ayuda a exponer al efecto de secado del aire una mayor superficie de los trozos frescos de yuca.



Figura 2.4. Máquina picadora de yuca con disco tipo Colombia.

Foto: Archivo de Clayuca

Capítulo 3.

Secado natural de trozos de yuca en patios y bandejas

Bernardo Ospina Patiño

Producción de trozos secos de yuca con secado natural

El secado con energía solar es, generalmente, un método económico y muy útil en los sitios donde la oferta climática permite usar la energía solar y eólica para este fin. Sin embargo, presenta una limitante, que está relacionada con las condiciones climáticas. El secado natural, al aprovechar la energía del sol y eólica, requiere épocas secas, sin presencia de lluvias. Este tipo de secado permite hacer un primer paso de la transformación de la yuca bajo condiciones locales y a bajo costo. Por esta razón, los agricultores y transformadores del Caribe usan esta tecnología para producir trozos secos, que son comercializados en la industria de balanceados.

El secado natural de la yuca se divide en dos etapas, en la etapa inicial el descenso de humedad en los trozos de yuca es rápida, bajando desde un 65 % en base húmeda hasta llegar a un nivel de 35 %, aproximadamente. En esta etapa es más importante la circulación del aire que la temperatura y la humedad relativa. En la segunda etapa, la remoción de humedad es lenta, y en esta recobra importancia la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente (Hernández-Guevara & Vásquez-Barreto, 2008).

Esta tecnología de secado, al ser desarrollada localmente, promueve la asociatividad y la organización de los grupos de agricultores para la explotación integrada de los cultivos de yuca (producción, procesamiento y comercialización), lo que genera una alternativa de agregación de valor que

permite, en cierta medida, un almacenamiento prolongado y enfrentar la inestabilidad de los precios del mercado de yuca fresca.

El esquema de este tipo de procesamiento incluye la adecuada cosecha de las raíces, su pesaje y trozado. Luego, los trozos se secan, empacan y almacenan. Las operaciones adicionales pueden incluir el lavado de las raíces antes de trozar, o moler los trozos secos, según los requisitos del mercado (figura 3.1).

El secado natural puede desarrollarse a través de dos tipos identificados de tecnología: a) secado en patios (piso de cemento o plástico móvil) y b) secado en bandejas inclinadas.



Tecnología de secado en patios

El secado en patios se realiza tanto en pisos de cemento como agregando el uso de lonas plásticas. El objetivo principal de estas áreas es permitir la exposición de los trozos frescos de yuca a la acción directa de la radiación solar y del calor latente de las corrientes de aire circundantes. En esta tecnología se incluyen dos operaciones básicas: a) esparcir los trozos en la zona de secado y b) voltear los trozos hasta que estén completamente secos (Ospina & Ceballos, 2002).

Los trozos recién picados son transportados en carretillas y depositados en pequeños montones sobre la superficie de secado, luego se esparcen uniformemente utilizando un rastrillo de madera (figura 3.2). Cada metro cuadrado de piso debe contener aproximadamente 10-12 kg de trozos frescos, carga que debe secarse en dos días, en condiciones climáticas normales. El exceso de carga por unidad de metro cuadrado en la superficie de secado retrasará el secado de los trozos frescos, lo que reducirá la eficiencia de la planta y degradará la calidad final de los trozos.



Figura 3.2. Rastrillo de madera empleado para esparcir los trozos de yuca en el patio de cemento.

Foto: Archivo de Clayuca

Para lograr un secado uniforme, se deben voltear los trozos cada dos horas (es decir, de seis a ocho veces al día), aprovechando las primeras horas de secado, que es cuando se pierde la mayor parte de la humedad. En la noche, los trozos pueden permanecer esparcidos sobre la superficie de secado, siempre y cuando se garantice que la lluvia o el rocío de la mañana no incrementen la humedad nuevamente. Si estas condiciones no pueden garantizarse, se recomienda que la superficie de secado tenga un área de mayor nivel, donde los trozos se deberán apilar y protegerse con una cubierta de plástico o lona. Al siguiente día, el volumen almacenado reiniciará el proceso de secado en la superficie.

Los dientes del rastrillo de madera usado para el volteado forman surcos que exponen las áreas húmedas del piso a la radiación solar directa, lo que permite la reducción de humedad en los trozos, así como también en la superficie de secado. Este proceso de volteado promueve la disminución progresiva del contenido de humedad. De esta forma, la duración promedio de todo el proceso de secado de trozos de yuca, desde la cosecha hasta el almacenamiento, se desarrolla en un promedio de cincuenta horas.

Considerando la curva de descenso de humedad de los trozos secos, así como también las condiciones agroclimáticas presentes como en la región Caribe, la tabla 3.1 muestra las cantidades de trozos secos de yuca que se obtienen en el procesamiento de raíces frescas de yuca, según el área de secado y la duración del periodo de secado (número de lotes procesados por año). De esta forma, la definición del área de secado estará relacionada con la disponibilidad de materia prima y con el tiempo seco, que en la región Caribe se encuentra alrededor de dos a cuatro meses al año.

Tabla 3.1. Cantidad de trozos secos, según área de secado y periodo de verano

Área de secado (m ²)	Tiempo seco (semanas/año)	Capacidad de procesamiento por año		Producción requerida (ha/año)
		Yuca fresca (t)	Yuca seca (t)	
500	12	216	87	27
	16	288	115	36
	20	360	144	45
1.000	12	432	174	54
	16	576	230	72
	20	720	288	90
2.000	12	864	348	108
	16	1.152	460	144
	20	1.440	576	180

Fuente: Ospina & Ceballos (2002, p. 422)

Recolección y empaque de trozos secos de yuca

Cuando el contenido de humedad de los trozos está entre el 10 % y el 12 %, se recogen y empacan. Tradicionalmente, este nivel de humedad se verifica con el tacto, ya que los trozos que están suficientemente secos se rompen fácilmente cuando se presionan con los dedos. Este proceso de recolección de trozos requiere dos tipos de palas: a) una pala ancha de madera, que se usa para amontonar los trozos secos (figura 3.3), y b) una pala corta y metálica, que se usa para empaclar los montones en bolsas o costales de polipropileno o fique (Ospina & Ceballos, 2002).



Figura 3.3. Recolección de trozos secos, amontonándolos en el patio con una pala de madera.

Foto: Archivo de Clayuca

Molienda de los trozos secos de yuca y empackado

Para reducir el volumen de este producto y mejorar la eficiencia en el almacenamiento y transporte, normalmente los trozos secos se transforman

en harina, que luego se empaca en bolsas de polipropileno. Sin embargo, la yuca generalmente se comercializa en trozos, porque los volúmenes producidos al año son bajos, se da una producción estacional y las empresas consumidoras de trozos secos de yuca no pagan precios diferenciales por recibirlos en forma de trozos o molidos, situación que hace que no se realicen inversiones en tecnologías para producción de harina.

Una vez los trozos secos son empacados, se debe garantizar un espacio de almacenamiento, donde los trozos secos son almacenados hasta el momento de su despacho hacia las empresas compradoras. Los sacos deben apilarse sobre tarimas de madera o estibas (figura 3.4). Bajo estas condiciones, los trozos secos (contenido de humedad del 10 % al 12 %) se pueden almacenar entre seis y doce meses sin que su calidad se deteriore. Las condiciones óptimas se garantizan al mantener la bodega limpia y, en algunos casos, se recomienda la instalación de mecanismos de aireación, que muevan adecuadamente la humedad entre la bodega y el exterior (Ospina & Ceballos, 2002).



Figura 3.4. Bultos con trozos de yuca apilados en bodega sobre estibas o bases de madera.

Foto: Archivo de Clayuca

El control de la humedad en el almacenamiento es primordial, ya que, si la humedad de la bodega es demasiado alta, los trozos secos absorben la humedad, situación que promueve el inicio de contaminación por hongos y su rápida dispersión al producto almacenado. La aparición de microorganismos en los trozos de yuca genera la presencia de toxinas, que tienen un efecto adverso como insumo alimenticio para animales.

Insumos requeridos para el funcionamiento de los patios de secado

De acuerdo con las condiciones encontradas en la región Caribe de Colombia, los insumos requeridos para poner en marcha un patio de secado incluye instalaciones, herramientas y equipos que facilitan el procesamiento, así como también el empaque y el almacenamiento. Dentro de las instalaciones requeridas, el patio de cemento es una de las estrategias, aunque actualmente el uso de plásticos móviles permite el secado a menor costo y con la ventaja de poder ser instalado cerca de la fuente de materia prima (tabla 3.2). La bodega, como se explicó anteriormente, es una de las instalaciones obligatorias, al igual que un espacio para cubrir la máquina picadora.

Tabla 3.2. Elementos necesarios para establecer un piso de cemento de 500 m² para una planta de secado natural de yuca en la región Caribe de Colombia

Obra, herramienta o elemento	Cantidad
Instalaciones	
Piso de cemento (m ²) o plástico calibre 8	500
Bodega (m ²)	40
Cobertizo para la picadora (m ²)	25
Equipos	
Máquina picadora o trozadora	1
Planta eléctrica de 900 W	1
Báscula de 500 kg de capacidad	1
Cosedora eléctrica	1
Herramientas	
Carretillas	4
Palas metálicas	6

(Continúa...)

(Continuación tabla 3.2)

Rastrillos de madera	10
Recogedores de madera	10
Otros	
Empaques de polipropileno	300
Carpa plástica (10 × 15 m, calibre 6)	1
Hilo para cosedora (100 m)	1
Kit de herramientas	1

Fuente: Elaboración propia

Estándares de calidad de los trozos secos para comercialización

La calidad de la yuca seca debe ajustarse a las exigencias del mercado procesador de alimentos balanceados y cumplir, a su vez, con las normas de calidad impuestas por la industria. Con base en esto, la yuca debe tener las características que se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Normas básicas de calidad estipuladas por las empresas que emplean yuca seca

Componente/aspecto	Norma
Humedad máxima (porcentaje)	12,0 %
Fibra cruda, máximo (porcentaje)	4,0 %
Ceniza, máximo (porcentaje)	3,0 %
Almidón, mínimo (porcentaje)	65 %
Hongos y levaduras, conteo máximo (UFC/g)	10 ⁴
Mesófilos, conteo máximo (UFC/g)	10 ⁵
Aflatoxinas y ocratoxinas	Ausentes
Ácido cianhídrico (ppm)	100
Coliformes, conteo máximo (UFC/g)	10 ⁴
<i>Escherichia coli</i>	Negativo
<i>Salmonella</i>	Negativo
<i>Clostridium</i> , conteo máximo (UFC/g)	100
Presentación	Trozos

Fuente: Hernández-Guevara & Vásquez-Barreto (2008, p. 40)

Otra exigencia de los compradores en cuanto al producto está referida a la ausencia de insectos plaga. Al respecto, se han identificado al menos 38 especies de insectos, la mayoría de los cuales pertenecen al orden Coleoptera. Las dos especies identificadas por el volumen de pérdidas causadas al afectar los trozos secos de yuca almacenada son *Araecerus fasciculatus* y *Sitophilus oryzae* (Ospina & Ceballos, 2002).

Tecnología de secado natural de trozos de yuca en bandejas

Con esta tecnología los trozos de yuca secos aprovechan la luz solar, y el flujo de aire se optimiza al permitirse el flujo a través de las bandejas. Las bandejas son hechas con una estructura de marco de madera y con una base de malla de anejo plástico, que evita la caída del material durante el proceso. Para reforzar las bandejas, se puede usar malla de gallinero en alambre con agujeros de una pulgada de diámetro para sostener el anejo plástico (figura 3.5). Se recomienda elaborar las bandejas con dimensiones de 1,2 × 1,9 m, ya que este tamaño permite que las bandejas sean manejadas con facilidad por dos operarios. Sin embargo, se pueden ajustar a los requerimientos y condiciones de cada zona (Ospina & Ceballos, 2002).

Se debe construir una estructura a manera de cama, usando travesaños de madera, bambú o guadua, y cuyos soportes sean dos hileras de postes. Estas hileras deben tener diferente altura, para ofrecer una inclinación de aproximadamente 20° a 25°, lo que permite aprovechar al máximo la dirección y la fuerza del aire de secado. Una vez se acomodan las bandejas en la estructura soporte, los trozos frescos de yuca se esparcen sobre ellas (figura 3.6). Es recomendable ubicar esta estructura cerca del área de picado con el fin de hacer más eficiente el proceso de transporte. Otra opción de manejo es transportar los trozos en una carretilla hasta el lugar donde se encuentran las bandejas vacías, dispuestas sobre los soportes, para incorporar los trozos e iniciar el secado (figura 3.6).



Figura 3.5. Bandejas de secado vacías sobre sus soportes.

Fuente: Archivo de Clayuca



Figura 3.6. Operario llenando las bandejas de secado junto al área de la picadora.

Foto: Archivo de Clayuca

La cantidad de carga a incluir en cada bandeja depende de las condiciones ambientales; la velocidad del viento es uno de los factores determinantes: a mayor velocidad del viento, mayor será la cantidad de trozos frescos de yuca que se pueden secar, sin necesidad de voltearlos. Ante una brisa suave (velocidad < 1 m/s), se sugiere una carga de 10 kg/m^2 ; en presencia de una brisa constante (velocidad $= 1\text{-}2$ m/s), se puede ampliar la carga a $10\text{-}13 \text{ kg/m}^2$, y bajo un viento constante (velocidad > 2 m/s), la carga puede llegar a $13\text{-}16 \text{ kg/m}^2$. Una carga mayor de 16 kg/m^2 no es recomendable, ya que reduce la eficiencia del proceso de secado y se hace necesario voltear los trozos para agilizar el proceso.

Las bandejas se pueden dejar sobre los soportes durante la noche, siempre y cuando no se pronostiquen lluvias. En caso contrario, es necesario apilarlas horizontalmente (una encima de la otra), bajo techo o afuera, pero cubiertas con una lona o un plástico, hasta el siguiente día, momento en el que nuevamente se distribuyen las bandejas sobre sus soportes, hasta alcanzar el nivel de humedad deseado en los trozos.

El secado en bandejas es más eficiente que el secado en patios, incluso usando una carga comparable de secado. Esto se debe principalmente a que las bandejas promueven el secado aun en la noche, porque la circulación del aire no se detiene. La altura de la estructura soporte de las bandejas permite que el flujo de aire alcance las bandejas, mientras que en los patios de secado a nivel de piso se da un menor flujo de aire.

Tiempo de secado de los trozos frescos de yuca

En la etapa inicial del secado de trozos de yuca en bandejas, se observa que los trozos frescos pierden humedad rápidamente y que la circulación del aire (velocidad del viento) es más importante que la temperatura y la humedad del aire. Como se mencionó anteriormente, la velocidad del viento es el factor determinante de esta primera etapa, que puede continuar incluso en la noche. En la etapa final del secado, cuando el contenido de humedad está alrededor del 30 %, la pérdida de humedad es muy lenta y se requiere la temperatura del mediodía para completar el proceso. Durante esta etapa, si la humedad relativa ambiental es superior al 65 %, el secado debe prolongarse hasta que el tiempo mejore, de manera que se garantice un contenido de humedad en los trozos menor al 12 %.

Capítulo 4.

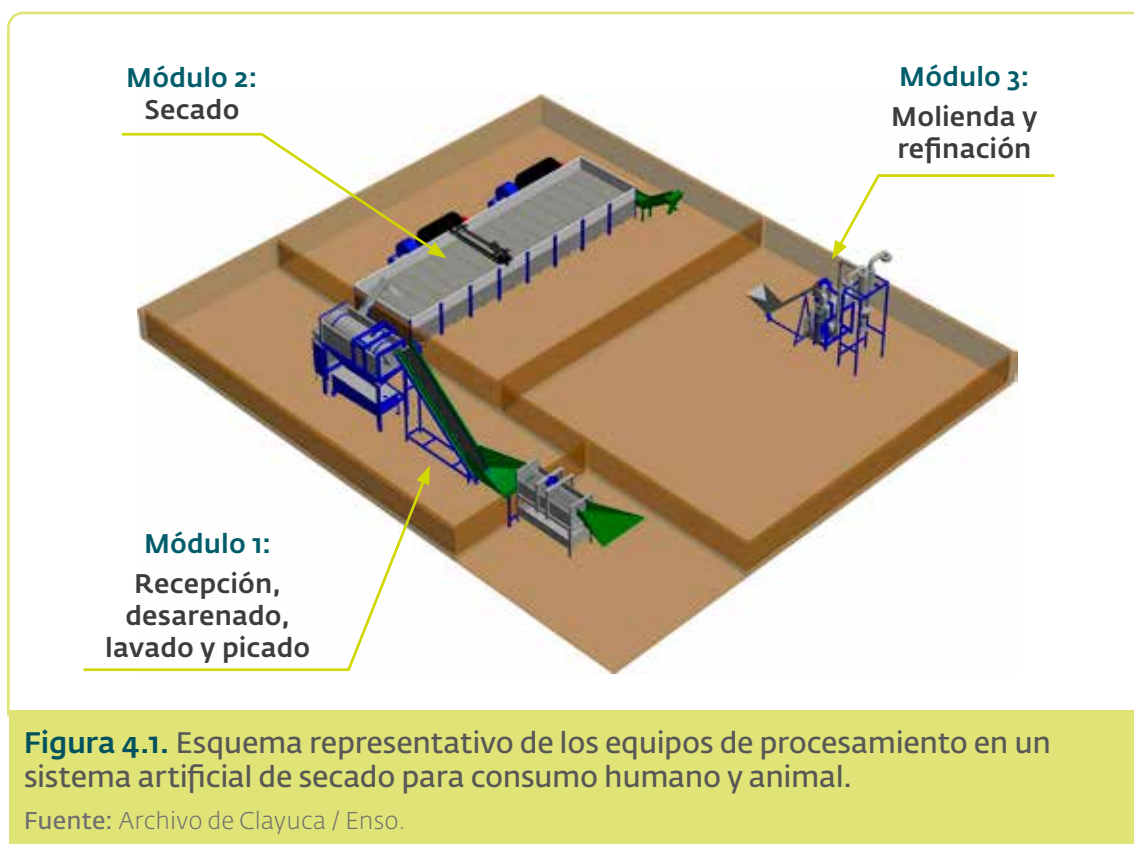
Secado artificial de trozos de yuca

Bernardo Ospina Patiño | José Alberto García Ágredo | Sonia Gallego Castillo

Existe un gran potencial en los países tropicales de América Latina para la utilización de la yuca seca en la alimentación animal. También hay buenas perspectivas para incluirla en la alimentación humana como fuente de calorías en productos elaborados, junto con otras materias primas; algunos ejemplos son las harinas compuestas para sopas y coladas, el pan y las pastas. Se ha creado así la necesidad de desarrollar métodos de secado que sean eficientes, confiables respecto a la calidad del producto y factibles, técnica y económicamente, de manera que estos tres aspectos se consideren dentro de las condiciones socioeconómicas de los países en vías de desarrollo.

Entre los diferentes sistemas de secado, hay dos que, por la baja inversión y el manejo sencillo, despiertan mayor interés: el secado natural y el secado artificial en capa fija. El secado natural de trozos frescos de yuca depende por completo de las condiciones climáticas, lo que restringe su uso en las épocas lluviosas del año. Por esta razón, se han desarrollado estrategias para prolongar el periodo de secado y posibilitar el suministro continuo de yuca seca. La tecnología de secado de capa fija con circulación artificial de aire caliente se basa en una fuente de calor, usando diésel, gas propano o carbón mineral. Esta tecnología usa diferentes etapas de transformación a través de módulos que permiten adecuar y convertir las raíces frescas de yuca en trozos secos.

El procesamiento de trozos secos requiere equipos que permiten la transformación semimecanizada en diferentes etapas (figura 4.1): un primer módulo, que está enfocado en la recepción, desarenado, lavado (si es para consumo humano) y trozado de raíces de yuca, y un segundo módulo, que realiza el proceso de secado en capa fija rectangular con mezclador semiautomático y quemadores a gas propano.



Recepción, lavado y trozado de yuca

Este primer módulo está conformado por una tolva construida en acero al carbono para la recepción de raíces frescas de yuca, seguida de un desarenador, también construido en acero al carbono, para la prelimpieza de las raíces frescas de yuca (figura 4.2).

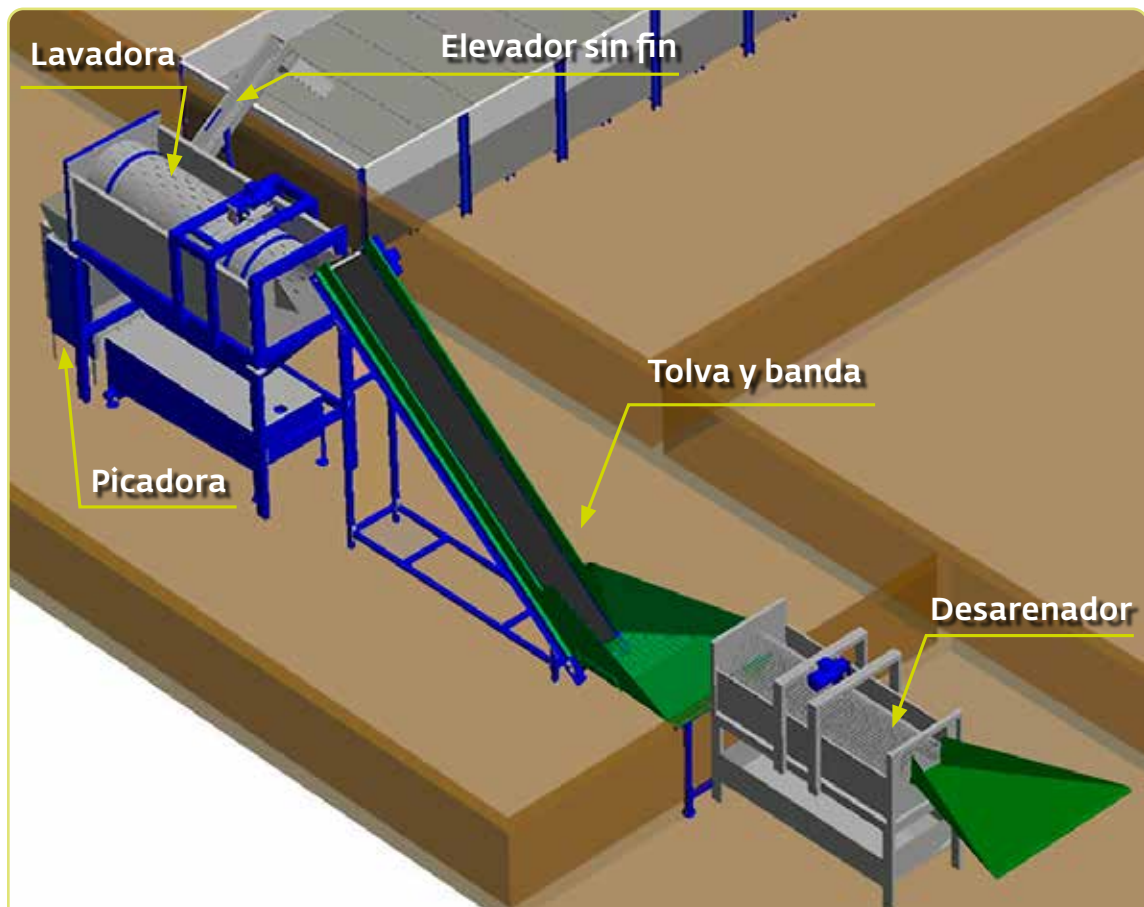


Figura 4.2. Módulo 1: recepción, desarenado, lavado y picado de las raíces frescas de yuca.

Fuente: Archivo de Clayuca / Enso.

En esta tolva se debe revisar que las raíces no traigan tocones o algún otro elemento extraño, como palos y piedras, entre otros. El desarenador está construido en varillas para capturar elementos no deseados para el sistema de lavado y picado; estos elementos, por lo general, son palos y parte de la tierra que viene adherida a las raíces, los cuales van a quedar depositados en el fondo de la tolva. Es aconsejable que la primera selección de las raíces se haga en el campo, durante la cosecha. Como se describió previamente, las raíces que lleguen a la planta de procesamiento deben estar lo más limpias posible y, ojalá, en canastillas plásticas, para evitar golpes y magulladuras en ellas. En la figura 4.3, se muestran los principales equipos que componen este módulo.



Figura 4.3. Principales equipos para el módulo 1.

Foto: Archivo de Clayuca / Enso.

Durante el traslado de las raíces desarenadas por medio de la banda de transporte que lleva a la zona de lavado (requerido para consumo humano), se debe realizar una inspección visual. Se debe encargar a un operario para que esté suministrando yuca a la lavadora por medio de la banda; se recomienda una alimentación de 200 kg de raíces por ciclo de lavado, cada cinco minutos. La tolva está construida con una pequeña inclinación, que permite ir suministrando los empujadores de la banda. La banda está fabricada en lona, con empujadores en acero inoxidable, estructura y rodillos en acero al carbono. Se recomienda, después de cada jornada de trabajo, dejar estos dos elementos completamente limpios. Es importante verificar periódicamente la tensión y la alineación de la banda, lo que ayudará a evitar el desgaste y la mala operación de los equipos.

Debido a que las raíces pueden llegar con residuos adheridos, que no son separados con el desarenado, es necesario realizar un lavado antes del picado para asegurar la calidad del producto final. La lavadora de raíces de yuca debe ser construida en acero inoxidable, de 80 cm de diámetro y 2,4 m de largo, con flauta de aspersión de agua, tuberías y vigas estructurales.

El equipo de lavado de raíces de yuca consta de una tolva, donde la yuca ingresa, y un tambor rotatorio con una serie de empujadores, que hace friccionar las raíces entre ellas, mientras son lavadas con un chorro de agua a presión aplicado por dentro del tambor. La descarga se realiza por medio de una compuerta, que gradualmente se va abriendo para dejar caer las raíces de yuca lavadas al tanque de desinfección. El tambor rotatorio de la máquina lavadora de raíces es movido por un motorreductor, donde va acoplado un piñón, que lo mueve por medio de una cadena instalada en toda su periferia.

La cascarilla que se desprende de las raíces de yuca durante la operación de lavado, mezcladas con las partículas de tierra, quedan depositadas en la parte inferior del tambor rotatorio, en forma de un lodo húmedo, retenido en una malla expandida. A medida que avanza el proceso de lavado, este lodo húmedo es retirado, y puede usarse como abono para los cultivos de yuca. Se recomienda evitar la acumulación de este lodo en la malla para que no se tapone. También se recomienda después de cada jornada de trabajo limpiar los elementos. Es importante estar verificando el buen estado de las llantas donde rota el cilindro y la limpieza de los orificios de la flauta de salida de agua, ya que esto evitará el desgaste y la mala operación de los equipos.

Las raíces lavadas ingresan a la sección de trozado, donde se ubica una máquina picadora de raíces de yuca, tipo Colombia, con un disco de trozado en acero inoxidable de 80 cm de diámetro y un juego adicional de cuchillas en acero al carbono con tratamiento térmico. Los trozos frescos de yuca son transportados por medio de un transportador sin fin inoxidable, que eleva los trozos picados al secador. La capacidad de alimentación del sistema es de 2 t/h de raíces frescas para lavado y picado; este es un proceso realizado por tandas de 200 kg de yuca fresca cada cinco minutos, debido a la capacidad de la sección de lavado.

Para que las raíces de yuca sean deshidratadas rápidamente y se controle el costo de energía en el proceso de secado, es aconsejable cortarlas en trozos pequeños y uniformes, de modo que se tenga una mayor área expuesta al aire de secado. Esto se logra utilizando una máquina picadora. El equipo utilizado o picadora consiste en un disco trozador, ensamblado verticalmente a una estructura que soporta el eje del disco y la tolva de alimentación. Este disco cuenta con cuchillas acopladas para producir trozos en forma de barra rectangular.

Finalmente, después del picado, los trozos son elevados hasta la cámara de secado con la ayuda de un alimentador sin fin, acoplado herméticamente en la estructura de la picadora por medio de una tolva, que evita pérdidas en el proceso.

Secado en capa fija rectangular con quemador a gas propano

El secado artificial en capa fija consiste en el paso de un flujo uniforme de aire caliente a través de una capa de trozos frescos de 20 a 30 cm de espesor (figura 4.4). El secador es un compartimento de construcción simple, con un piso falso de lámina inoxidable perforada, sobre el que descansa el producto, mientras que un ventilador hace circular el aire caliente a través de la capa de trozos. Antes de hacer contacto con los trozos frescos de yuca, el aire se calienta en una unidad, que consta de un sistema de combustión, que se conecta al secador por medio de una cámara de combustión y ductos.

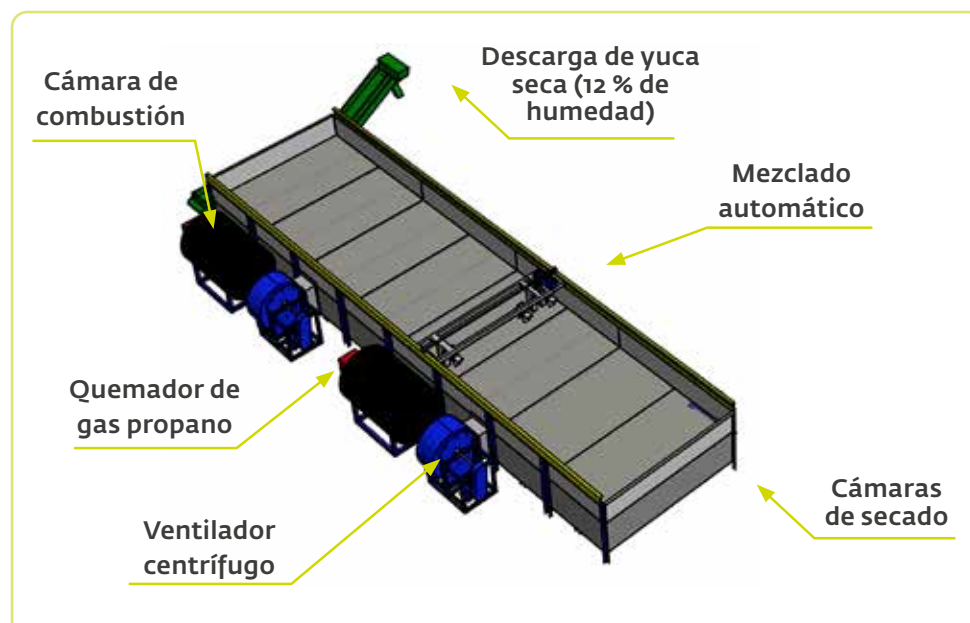


Figura 4.4. Esquema representativo del equipo de secado de trozos de yuca.

Fuente: Archivo de Clayuca / Enso.

Después del picado, los trozos de yuca son suministrados por un sin fin a la cámara de secado. Para lograr una capa homogénea, los trozos son esparcidos por el sistema de agitación, ayudado manualmente por un rastrillo, que permite agilizar el proceso, procurando ganar tiempo en el secado. Para que el secado sea uniforme, es preciso mezclar continuamente el producto, por medio de un mecanismo que se desplaza a lo largo de la cámara, movido por un motorreductor y un control de final de carrera para el desplazamiento de ida y regreso; en este caso, el mezclado es semiautomático. La intervención manual es necesaria debido a la complejidad del secado y para que la evacuación del producto seco se dé eficientemente. Los principales equipos que componen el proceso de secado en capa fija se muestran en la figura 4.5.

Este sistema está compuesto por dos quemadores a gas propano, dos cámaras de combustión y dos ventiladores centrífugos. Para el buen funcionamiento de los quemadores, se debe garantizar una presión de 10 a 15 PSI desde los cilindros estacionarios que suministran el gas, presión que se debe regular por medio de una válvula y un manómetro. Uno de los quemadores va acoplado a una cámara de combustión que, a su vez, está acoplada a un ventilador, conformando así un sistema de combustión para una de las dos cámaras que van ajustadas en su parte interna, lo que forma así una cámara de 9,6 m de largo $\times$ 2,4 m de ancho.



Figura 4.5. Principales equipos y componentes del sistema de secado en capa fija.

Foto: Archivo de Clayuca / Enso.

La descarga de trozos secos desde la cámara de secado se puede realizar por medio de un elevador sin fin o de una banda transportadora ubicada al final y a lo ancho de la cámara. Con ayuda del mezclador semiautomático y del rastrillo, de forma manual, se agiliza el proceso de evacuación de los trozos secos al 12 % de humedad de la cámara a la zona de empaques de polipropileno.

El sistema tiene una capacidad de secado de hasta cuatro toneladas de trozos frescos de yuca, para un periodo de operación del sistema de diez a doce horas. En resumen, esta parte de secado incluye: una cámara de secado, con capacidad de hasta cuatro toneladas de trozos frescos de yuca, con dimensiones de 9,6 m × 2,4 m; dos quemadores a gas propano (GLP); dos ventiladores centrífugos; un tornillo sin fin o banda para transporte del producto seco; dos cámaras de combustión; un mezclador semiautomático para voltear los trozos de yuca durante el secado y agilizar la deshidratación; y una caja eléctrica, con panel de control de encendido y apagado automático.

Capítulo 5.

Secado mixto de trozos de yuca

Bernardo Ospina Patiño | José Alberto García Ágredo | Elvia Amparo Rosero Alpala

En la estrategia de secado mixto, la etapa inicial del proceso se realiza de manera natural en patios, ya sea de cemento o con plásticos móviles, y la etapa final es realizada en un silo secador o utilizando un sistema artificial. Durante la etapa de secado natural se reduce la humedad del producto a un 42 %, y en la etapa artificial, a un contenido del 12 % (base húmeda) (García-Mogollón et al., 2016). Dentro de los sistemas mixtos o híbridos, las fuentes energéticas pueden variar dependiendo del acceso y costo de estas (Miranda et al., 2018). En algunas regiones se han realizado pruebas usando combustión de biomasa y radiación solar como fuentes de almacenamiento térmico (Torres-Gallo et al., 2017).

Fase de secado natural en piso de cemento

El uso de la tecnología de secado natural de yuca permite minimizar el riesgo de deterioro que ocurre inmediatamente después de la cosecha, en función del alto contenido de humedad que tienen las raíces frescas de yuca. Por esta razón, este proceso inicial permite evitar que las raíces sufran procesos de deterioro fisiológico y microbiano, lo que las puede convertir en una materia prima sin uso y sin valor comercial.

Después de la cosecha, las raíces de yuca son transportadas a la planta de procesamiento, donde se descargan, se pesan y se almacenan por un periodo que no debe exceder un día antes de su procesamiento.

Para la recepción e inspección de las raíces, la planta cuenta con una tolva y un desarenador, donde se deposita la tanda de yuca a desarenar, en cantidades que no excedan los 200 kg cada cinco minutos. En esta tolva

se revisa que las raíces no traigan adheridos trozos de tallo o algún otro elemento extraño, como palos y piedras. El desarenador está construido en varillas, para capturar estos elementos no deseados y parte de la tierra que viene adherida a las raíces. Posteriormente, las raíces son llevadas a la picadora por medio de una banda transportadora.

Para que las raíces se deshidraten con mayor rapidez es necesario exponerlas al aire en una superficie amplia; esto se logra cortándolas en trozos pequeños y uniformes, labor que se realiza utilizando una máquina picadora, que consiste en un disco trozador y un eje ensamblado verticalmente a una estructura que incluye también una tolva de alimentación. El disco cuenta con cuchillas acopladas para producir trozos de yuca en forma de barra rectangular (figura 5.1). Para la operación de los equipos que componen las etapas de recepción, desarenado y picado, se requieren tres motores eléctricos, que tienen una demanda energética.

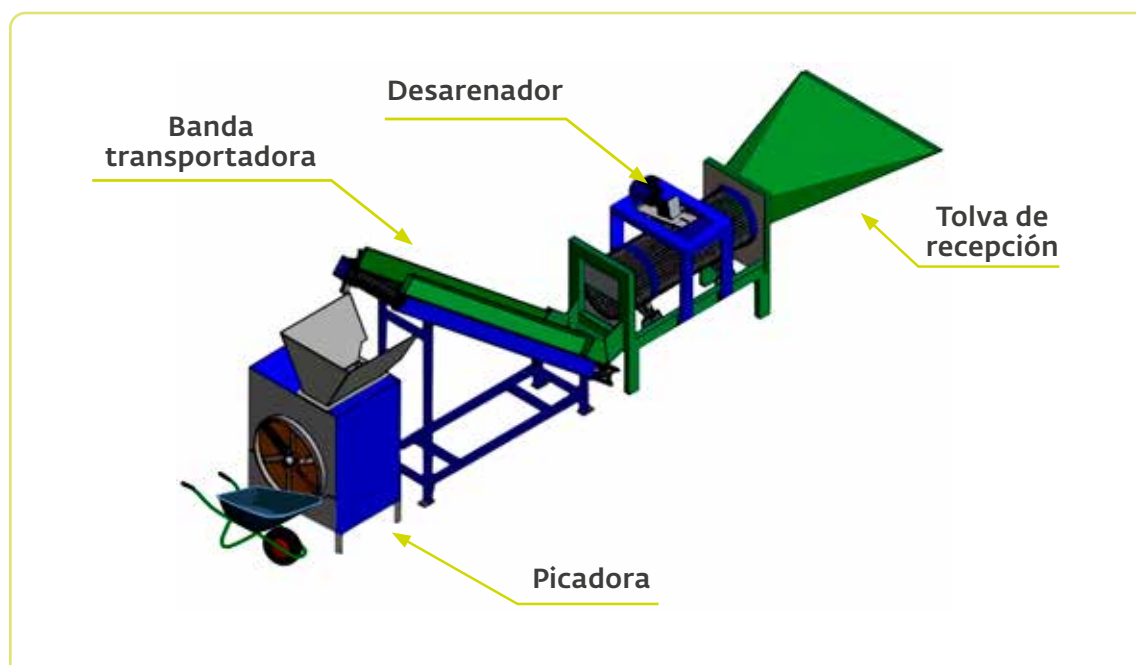


Figura 5.1. Equipos de recepción, desarenado y picado.

Fuente: Archivo de Clayuca / Enso.

Posteriormente a este proceso, una vez obtenidos los trozos frescos de raíces de yuca, se inicia el proceso de secado en patios, ya sea de cemento o con lonas plásticas. Debido a la mayor eficiencia en el secado, se recomienda el uso de patios de cemento. El piso de secado es una de las estructuras más costosas de todo el sistema, pero dura más años que las lonas o carpas plásticas (figura 5.2), las cuales requieren un manejo más cuidadoso para evitar que se rompan y tienen una vida útil más corta, de máximo dos a tres años. La decisión final sobre las dos opciones a utilizar se debe tomar en función del presupuesto disponible.

En la estrategia de secado mixto, se recomienda realizar esta operación durante las primeras horas del día, lo que permite, bajo las condiciones del Caribe colombiano, una reducción del contenido de humedad desde el 65 %, que contienen las raíces frescas, hasta llegar al 40-45 % de humedad.



Figura 5.2. Secado natural en lonas o carpas plásticas.

Foto: Archivo de Clayuca.

Fase de secado artificial en cámara de secado de capa fija

El secado artificial en capa fija, como se describió anteriormente, consiste en el paso de un flujo uniforme de aire caliente a través de una capa de trozos frescos de 20-30 cm de espesor, con apoyo de un sistema de turbina y ventilador, para impulsar el aire caliente. Los trozos de yuca que se ponen en la cámara de secado serían los que se recogen en el patio de secado, después de haber estado sometidos a secado solar durante varias horas. En estas condiciones, la humedad inicial o de entrada a la cámara de secado artificial sería de alrededor del 45 %, y la fase de secado artificial se realizaría más rápidamente, lo que permitiría continuar el proceso de secado en condiciones de lluvia o en horas nocturnas, si así se prefiere, sin tener necesidad de dos días de secado, como es el caso del secado en pisos de cemento. El aire caliente, movido por el sistema turbina-ventilador, se encarga de impulsar el aire caliente a través de la capa de trozos de yuca semisecos.

Inicio de la operación

Después de la fase de secado natural en piso de cemento o lona plástica, los trozos de yuca semisecos son suministrados manualmente (paleados o en sacos) a la cámara de secado. Para lograr una capa homogénea, los trozos son esparcidos uniformemente por un operario, ayudado por un rastrillo o pala. El secado empieza inmediatamente, como se mostró en el capítulo 4.

Mezclado

Para que el secado sea uniforme es preciso mezclar continuamente el producto, en este caso el mezclado es semiautomático, por medio de un mecanismo que se desplaza a lo largo de la cámara, movido por un motorreductor y un control de final de carrera para el desplazamiento de ida y regreso.

Sistema de combustión

Está compuesto por un quemador a gas propano, una cámara de combustión y un ventilador centrífugo. Para el buen funcionamiento del quemador, se debe garantizar una presión de 10 a 15 PSI desde los cilindros estacionarios que almacenan y suministran el gas, presión que se debe regular por medio de una válvula y un manómetro. El quemador va acoplado a una cámara de combustión que, a su vez, está acoplada a un ventilador, conformando un sistema de combustión que se une a la cámara en su parte inferior. La cámara tiene 4,8 m de largo × 2,4 m de ancho. El sistema incluye un tanque estacionario con gas propano y toda la estructura de tubería acoplada hasta la cámara de combustión. Los equipos que componen las etapas de secado en capa fija requieren de motores eléctricos, los cuales tienen una demanda energética.

Descarga de trozos secos

La descarga de trozos secos desde la cámara de secado se puede realizar manualmente. Los trozos secos se empacan en sacos (costales) y se almacenan en un espacio techado y con buena circulación de aire.

Beneficios de la tecnología de secado mixto

El uso de secadores con aire caliente en circulación directa a través de los trozos semisecos de yuca es una alternativa valiosa para ayudar a mejorar la eficiencia del sistema de secado natural de trozos de yuca en pisos de secado. La importancia de este sistema alternativo de secado radica en que se evita el uso de los pisos de secado por un periodo de dos días, ya que se logran las condiciones apropiadas de los trozos de yuca seca en un solo día, con la combinación de piso de secado y cámara de capa fija, lo que significa una mayor productividad (tabla 5.1). Adicionalmente, la calidad final del producto va a mejorar considerablemente al terminar su secado en el sistema de capa fija. Este mejoramiento de la eficiencia va a significar mayores rendimientos económicos para el grupo de productores, especialmente en

las regiones donde las condiciones climáticas no son muy favorables para el secado natural de yuca en pisos de cemento.

Tabla 5.1. Proceso y capacidad de transformación en el sistema de secado mixto

1. Recepción y trozado	2. Secado natural	3. Esparcimiento, volteado y secado	4. Recolección y empaque
Entran 4.000 kg de yuca fresca con un 65% de agua y un 35% de materia seca.	Se realiza después de un día (6-8 horas), para obtener trozos con un 40-45% de humedad.	Entran 2.545 kg de yuca semiseca con un 45% de humedad al secador artificial.	Se recolectan y empacan aproximadamente 1.580 kg de trozos de yuca seca con un 12% de humedad.

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo del sistema de secado mixto, solar y a gas, ha sido instalado en la región Caribe, en el municipio de Corozal (Sucre). Los equipos ensamblados y la integración operativa de las diferentes fuentes energéticas se puede ver en la figura 5.3.



Oportunidad del uso de sistema fotovoltaico con paneles solares en la operación

El sistema fotovoltaico de paneles solares deberá estar conectado a la red de energía eléctrica a través del tablero de distribución. De esta manera, la energía generada que es acumulada en la red, y que puede ser usada para suplir el consumo requerido por los motores que se usan en la planta de procesamiento (etapas de desarenado, picado y secado), también podrá suplir el consumo de la infraestructura existente en el sitio de operación (residencia, oficina, etc.). La capacidad de cobertura de este sistema como fuente de energía dependerá de su tamaño.

Al estar conectado a la red eléctrica distribuida por el operador local, este operador de red recibirá la energía solar como un exceso, en los casos en los cuales la generación fotovoltaica sea superior al consumo. Asimismo, el operador puede proporcionar la energía adicional en los casos en los cuales la generación fotovoltaica a través del sistema de paneles solares no sea suficiente.

El sistema fotovoltaico puede ser acoplado a parte de la infraestructura requerida para cubrir los equipos de la tecnología de secado en capa fija. Para esto, se instalan tubos estructurales, enterrados a un metro de profundidad y fundidos en zapatas de concreto, de modo que sirvan de soporte al juego de paneles solares. El techo debe incluir también vigas estructurales soldadas y tejas termoacústicas. Encima de estas tejas se instalan los rieles de aluminio, la estructura solar y los paneles. Toda el área deberá ser encerrada con malla y láminas de zinc en la parte lateral y posterior, para proteger la maquinaria de la lluvia (figura 5.4).

Según el primer diseño establecido en la región Caribe, se encontró que una estructura de paneles de un área de 40 m² tiene la capacidad de almacenar 1.500 kW. Basándose en la energía almacenada a través del sistema fotovoltaico es posible garantizar el movimiento de los equipos del primer módulo y de las instalaciones domésticas, que en promedio consumen 1.208 kW/mes (tabla 5.2).



Figura 5.4. Infraestructura de un sistema fotovoltaico como fuente de energía en el secado de yuca. a. Infraestructura bifuncional para protección y soporte de paneles solares; b. Paneles solares.

Fotos: Archivo de Clayuca / Enso / E-Verdes.

Tabla 5.2. Descripción del consumo energético de equipos del primer módulo de transformación e instalaciones domésticas básicas

Cargas	Cant.	kW/unidad	kW totales	Horas/día	Días/semana	Semanas/mes	Promedio de kW/mes
Desarenador	1	1,492	1,5	2	6	4	72
Banda	1	0,746	0,7	2	6	4	36
Picadora	1	3,73	3,7	2	6	4	179
Mezclador	1	1,492	1,5	6	6	4	215
Ventilador 1	1	3,73	3,7	6	6	4	537
Consumo doméstico							170
Total							1.209

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6.

Determinantes del mercado de trozos de yuca para la producción de alimentos balanceados en Colombia

Luis Alejandro Taborda Andrade | Katia Contreras Valencia

De cada diez plantas sembradas de yuca para uso agroindustrial en Colombia, en promedio dos plantas se destinan para ser secadas y vendidas en forma de trozos (figura 6.1). Los trozos secos de yuca son empleados para diferentes líneas de explotaciones pecuarias, tales como avicultura, porcicultura, cría de ovinos, equinos, ganadería de carne, ganadería especializada (lechería), mascotas, entre otros.



Figura 6.1. Representación del uso de yuca para alimentos balanceados en Colombia.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

La figura 6.2 expone la adición de valor que se le da a la yuca en los diferentes niveles de transformación. La yuca fresca es troceada y secada por “picadores”, los cuales venden los trozos a diferentes empresas dedicadas a la producción de alimentos balanceados, y actores asociados a la agremiación de unidades productoras de ganadería bovina con énfasis en el sistema productivo de lechería especializada. En el caso del segundo grupo, los usuarios finales son las unidades productoras de ganadería. Sin embargo, existen diferencias en el mercado de trozos secos de yuca para las industrias que venden a líneas de producción pecuaria y de mascotas (PM) y a ganadería de lechería especializada (GL).



Influencia de las dinámicas del mercado internacional sobre el uso de trozos secos de yuca para la formulación de alimentos balanceados

El 80% de las materias primas requeridas para la producción de alimentos balanceados en Colombia son importadas. En este escenario de mercado, en el que se presenta una serie de factores de la macroeconomía y las empresas consideran que las importaciones de materias primas tienen un alto costo, estas últimas modifican periódicamente las formulaciones de alimentos balanceados a fin de usar materias primas más económicas, como residuos agroindustriales de diferentes industrias, tales como, por ejemplo, los residuos de las rallanderías y/o plantas procesadoras de yuca (afrecho que contiene fibra, proteína y cascarilla). Estas empresas estudian el aporte energético y proteínico de cada materia prima, para que al formular los pélets aporten exactamente la promesa de valor de sus productos comerciales (o alimentos balanceados). Asimismo, el maíz y la soya siguen siendo los principales ingredientes de estas formulaciones. Por ejemplo, en un escenario de mercado de incertidumbre para las importaciones, solo se podría reducir el uso de maíz hasta en un 45% en las fórmulas de alimentos balanceados para explotaciones PM, sustituyéndolo con subproductos tales como harina de arroz, harina de mogolla, recortes de galleta, recortes de guanábana, cascarilla de café, trozos secos de yuca, entre otros.

La distribución porcentual de las materias primas importadas más empleadas en la formulación de alimentos balanceados para explotaciones PM muestra que el maíz es la principal materia prima importada (62,2%), seguido por la soya (31,1%) (figura 6.3).

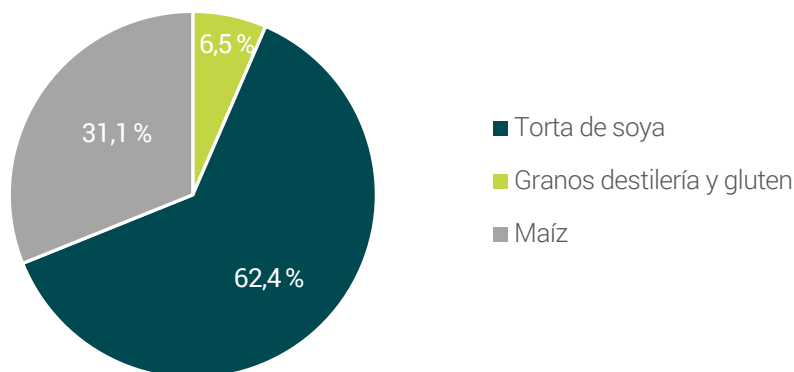


Figura 6.3. Materias primas importadas para la industria de balanceados para explotaciones PM.

Fuente: Elaboración propia

Para la línea de producción de balanceados para explotaciones PM, el uso de trozos de yuca no es estrictamente necesario. Su demanda depende de los precios del maíz y de la soya. Si el precio de los trozos secos de yuca supera el 80 % del precio (futuro) del maíz, entonces no utilizarán yuca en la formulación y buscarán otras alternativas más económicas que aporten el porcentaje de energía y fibra con que la yuca contribuye en sus formulaciones, como, por ejemplo, mogolla, palmiste, palmiste expeller, entre otros residuos de cosechas agrícolas y transformaciones agropecuarias.

En contraste, el uso de los trozos secos de yuca para la elaboración de alimentos balanceados para GL es fundamental, y difícilmente se podrá reemplazar el contenido energético de la yuca con otra materia prima. El contenido calórico de la yuca es fundamental para que las vacas, que pesan entre 450 y 700 kg, puedan moverse. Sin embargo, de forma parecida a la línea de balanceados para explotaciones PM, la inclusión de los trozos de yuca se determina en función del precio del maíz. La yuca no debe superar el 90 % del precio del maíz; por ejemplo, si el precio del maíz importado es de \$1.500 por kilo, los trozos secos de yuca deberían costar menos de \$1.350 por kilo.

En la figura 6.4a se muestra cómo el precio de los principales cereales importados ha aumentado después de pandemia debido a la crisis de contenedores y a la subida del precio del dólar, entre otras dinámicas. Como consecuencia, la demanda de trozos secos de yuca creció en el 2020 (figura

6.4b). Sin embargo, otras dinámicas del mercado local (como la competencia por las raíces frescas entre las industrias procesadoras de almidón) hicieron que el precio de los trozos de yuca en el 2022 superara el precio del maíz (figura 6.4a), lo que hizo que la oferta de trozos disminuyera, pues para los productores era más rentable vender las raíces frescas que trocearlas y secarlas (figura 6.4b).



Perspectivas del mercado de trozos de yuca para la industria de alimentos balanceados

Si la disponibilidad de la oferta de trozos secos de yuca fuera oportuna, las empresas de la industria de alimentos balanceados incorporarían esta materia prima en su cadena de suministros de manera regular. En la línea para explotaciones PM la yuca no podrá sustituir al maíz y la soya, pues los trozos de yuca pueden llegar a ser máximo el 5 % de todas las materias primas para los balanceados (figura 6.5a). Sin embargo, para la línea de GL, los trozos de yuca tienen mayor relevancia, pues en la formulación representan el 70 % de las materias primas utilizadas para la producción de estos alimentos balanceados (figura 6.5b).



Figura 6.5. Participación de los trozos de yuca como materia prima para la producción de alimentos balanceados. a. Porcentaje máximo de la yuca como materia prima para PM; b. Porcentaje máximo de la yuca como materia prima para GL.

Fuente: Elaboración propia

Los precios del maíz han tenido una tendencia al alza en los últimos años. Varios analistas concuerdan en que, en el escenario internacional actual, no debe esperarse que esta tendencia cambie, debido a la volatilidad e incertidumbre de los mercados mundiales, agravadas por la conmoción económica y financiera y la crisis climática (Guzmán, 2022). En estas condiciones, será conveniente fortalecer el cultivo de yuca destinado a procesos agroindustriales para generar alternativas a las importaciones.

No obstante, para lograr el fortalecimiento de este segmento de agregación de valor a través del secado de trozos de yuca, será necesario realizar una serie de esfuerzos:

- **Sistema de producción de semillas:** Se debe tener en cuenta a los productores u organizaciones de base que cuentan con relaciones comerciales sostenidas con la industria de alimentos balanceados, y desarrollar acciones de apropiación y custodia de las variedades que se utilizan.
- **Rentabilidad:** La innovación propuesta para mejorar el proceso de secado de los trozos de yuca influirá en la relación costo/beneficio. Realizar un análisis económico será clave para determinar los mejores núcleos productivos y así potencializar la innovación tecnológica del secado.
- **Desarrollar y adoptar tecnologías:** Esto con el fin de romper la estacionalidad de la producción de yuca en varias regiones del país, ya que un alto porcentaje de productores siembran y cosechan en la misma época, lo que genera saturación (noviembre-febrero) y escasez (septiembre) en el suministro de raíces.
- **Relación comercial:** Garantizar la cadena de suministros es una de las razones de las importaciones de materias primas. Es clave que los productores conozcan los entornos macroeconómicos y los mecanismos para la fijación de precios con el fin de evitar incumplimientos de los contratos a futuro.
- **Tierras:** El arrendamiento de tierras puede representar entre un 20 y un 25 % de la estructura de costos de producción del cultivo de yuca. Generar acciones para promover su acceso y derecho a la propiedad podría influir en la eficiencia del proceso productivo.

Capítulo 7.

Potencial del uso de trozos secos de yuca en la producción de harina refinada

Bernardo Ospina Patiño | Sonia Gallego Castillo | Elvia Amparo Rosero Alpala
José Alberto García Ágredo

Las perspectivas de incrementar el consumo de la yuca y sus productos derivados responde a la demanda actual tanto para elaborar alimentos balanceados de animales como también para la producción de harina refinada, ya que, debido a los costos de importación actuales de cereales como el trigo y el maíz, se promueve cada vez más el potencial de su uso en la alimentación humana. En varias regiones de África y Asia, los trozos secos de yuca se usan para obtener una harina gruesa, la cual es un ingrediente básico en la cultura culinaria de estos lugares (Wheatley et al., 2003). Esta línea de agregación de valor, basada en el abastecimiento de segmentos del mercado en la alimentación humana, podría generar una mayor rentabilidad en los sistemas de transformación actuales, sobre todo, para enfrentar los picos de producción de yuca de consumo fresco en ciertas regiones y épocas del año.

El uso de harina de yuca de alta calidad en alimentación humana ha sido probado en un sinnúmero de evaluaciones, en las cuales se concluye la versatilidad de su inclusión, en reemplazo de la harina de trigo. Esto la convierte en una alternativa para el fomento del uso de productos agrícolas locales que permitirían reducir los costos de producción de los productos alimenticios, los cuales presentan un alto consumo a nivel nacional. Adicionalmente, la ausencia de gluten en estas especies permite responder a requerimientos vigentes tanto de los consumidores como también en la elaboración de productos biofortificados y fortificados (Aristizábal et al., 2017).

Una tecnología para extraer harina refinada de yuca de forma continua, con bajos contenidos de fibra, ceniza, proteína y un alto contenido de almidón, fue desarrollada por Clayuca (García-Mogollón et al., 2006). Esta planta piloto modular utilizó medios mecánicos (molinos-tamiz) y el empleo de la clasificación neumática (ciclones) para llegar a granulometrías tan finas como las del

almidón; específicamente se logró una máxima refinación de la harina con la obtención de partículas menores de 50 μm (Gallego & García, 2015).

Este tipo de tecnologías incluyen equipos que garantizan la producción de harina refinada. La operación inicia con la alimentación del sistema usando trozos secos de yuca. La tolva de suministro incluye un tornillo sin fin (4" de diámetro, 2,5 m de largo), con un dispositivo reductor de velocidad para encendido y apagado automático. Esto se encuentra incorporado a una estructura de soporte, que contiene un molino cilíndrico en acero inoxidable; un ventilador centrífugo con motor, transmisión, tensores y protectores; dos tamices cilíndricos en acero inoxidable, para clasificación de partículas; un premoedor, para la reducción del tamaño de las partículas de los trozos secos de yuca y de otras raíces y tubérculos (molino de martillos); dos filtros, para la recolección de partículas finas, y una sección de descarga de subproductos. Este sistema está basado en un sistema eléctrico, con panel de control para apagado y encendido automático (Gallego & García, 2015).

Composición química

La harina de yuca en su composición química es mayormente comparable con la harina de trigo, excepto por el menor contenido de proteína y el mayor contenido de carbohidratos, los cuales incrementan el contenido de energía metabolizable (tabla 7.1). Sin embargo, se reporta una alta diversidad en la composición dependiendo de la variedad (Aryee et al., 2006), encontrándose variedades que pueden tener hasta un 4,59% de proteína, lo cual mejoraría su calidad nutricional.

Tabla 7.1. Composición proximal de la harina de yuca y de trigo

Características	Harina de yuca	Harina de trigo
Proteína*	2,00 $\pm$ 0,45 a	11,97 $\pm$ 0,64 b
Grasa*	0,61 $\pm$ 0,38 a	0,53 $\pm$ 0,76 a
Ceniza*	2,58 $\pm$ 0,89 a	2,52 $\pm$ 0,94 a
Humedad*	7,97 $\pm$ 0,54 a	8,49 $\pm$ 0,65 a
Fibra cruda*	1,20 $\pm$ 0,50 a	0,80 $\pm$ 0,89 a
Carbohidratos*	85,64 $\pm$ 1,20 a	75,69 $\pm$ 1,56 b
Energía metabolizable**	324,94 $\pm$ 0,34 a	319,27 $\pm$ 0,89 b

* g/100 g $\pm$ DE ** kcal/100 g

Nota: Medias con diferentes literales (a, b) dentro de una misma fila difieren significativamente ($p < 0,05$).

Fuente: Benítez et al. (2008, p. 62)

En general, considerando la composición química de la harina de yuca, se recomienda su inclusión en los alimentos hasta un porcentaje que no afecte la calidad de la masa. Más aún se puede recomendar su uso en mezclas de harinas biofortificadas sin gluten, lo cual responde a una necesidad de un segmento importante de la población.

Usos de la harina refinada de yuca

Para la elaboración de pan, la harina de yuca puede incluirse usando niveles de sustitución de 5-10 %; en estas cantidades, no se afecta el volumen específico y los altos valores de absorción de agua, y la aceptación por parte de los consumidores resulta comparable con la del producto hecho en su totalidad con harina de trigo (Aristizábal & Henao, 2004). Sin embargo, en galletería el porcentaje de sustitución puede subir hasta el 50 %, y se producen galletas con mejor textura y color que aquellas hechas solamente con harina de trigo (Wheatley et al., 2003). Asimismo, la harina refinada de yuca puede usarse para la elaboración de coladas y sopas por su capacidad de espesar la preparación final. Esta harina también puede utilizarse en procesos de extrusión para producir pastas alimenticias, *snacks*, cereales para el desayuno (hojuelas) y todo tipo harinas compuestas para la preparación de coladas y bebidas instantáneas para la alimentación infantil (Ospina et al., 2009).

Para usos industriales, la harina refinada de yuca es una materia prima apropiada en la elaboración de adhesivos utilizados en el proceso de pegado de las cajas de cartón corrugado (Bonilla & Alonso, 2002). También se ha identificado el uso potencial de esta harina en la producción de biopolímeros termoplásticos, que se utilizan como precursores para la manufactura de plásticos biodegradables (bolsas, láminas de recubrimiento, utensilios desechables, entre otros) (Villada & Acosta, 2003).

El uso de la yuca y de otras raíces y tubérculos en la industria alimentaria responde en gran medida a los precios internacionales del grano de trigo. Por esta razón, el escenario actual promueve su uso a fin de disminuir los costos de producción de los alimentos basados en importaciones, aprovechando las ventajas funcionales específicas (Wheatley et al., 2003).

Conclusiones

El uso de tecnologías de secado permite extender la vida útil de las raíces de yuca, con el fin de que sean incluidas como materia prima para la elaboración de balanceados. La decisión sobre la tecnología a usar está relacionada con la capacidad de transformar, la disponibilidad de materia prima, el mercado a abastecer y el recurso a invertir. En general, la asociatividad es una estrategia para garantizar un mejor funcionamiento de los factores antes mencionados, sobre todo para acceder a tecnologías mixtas o híbridas de transformación, lo que garantiza una mayor capacidad de transformación y una mejor calidad del producto final.

El adecuado manejo de las labores previas a la transformación garantiza una mayor durabilidad de los equipos y calidad del producto procesado, por lo cual los operarios deben ser entrenados y concientizados sobre la responsabilidad de su labor. Asimismo, el manejo de los equipos de transformación requiere de entrenamiento, que puede ser realizado por asistentes técnicos del área de agroindustria.

El alto potencial de la agregación de valor a través del secado de trozos de yuca se evidencia en la alta demanda del mercado, especialmente de balanceados. Sin embargo, el acceso a tecnologías que permitan mejorar la eficiencia y calidad del producto final permitirá abrir oportunidades de mercado, especialmente en la fabricación de harina refinada y otros productos de consumo humano, en los cuales se asegura un mayor valor agregado.

En todos estos procesos, se resalta la articulación previa con el mercado, ya que las exigencias y la rentabilidad de este eslabón de transformación dependen del destino final y sobre todo de la confianza que se pueda generar entre los diferentes actores de la cadena de valor.

Referencias

- Aristizábal, J., & Henao, S. (2004). *Adaptación y validación de tecnología para utilización de harina de yuca en panificación* [Informe de proyecto]. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca).
- Aristizábal, J., García, A., & Ospina, B. (2017). Refined cassava flour in bread making: A review. *Ingeniería e Investigación*, 37(1), 25-33. doi: 10.15446/ing.investig.v37n1.57306
- Aryee, F. N., Oduro, I., Ellis, W. O., & Afuakwa, J. J. (2006). The physicochemical properties of flour samples from the roots of 31 varieties of cassava. *Food Control*, 17, 916-922. <http://ir.knust.edu.gh/bitstream/123456789/10800/1/Aryee%20et%20al%202006%20The%20physicochemical%20properties%20of%20flour%20from%2031%20varieties%20of%20cassava.pdf>
- Benítez, B., Archile, A., Rangel, L., Ferrer, K., Barboza, Y., & Márquez, E. (2008). Composición proximal, evaluación microbiológica y sensorial de una galleta formulada a base de harina de yuca y plasma de bovino. *Interciencia*, 33(1), 61-65. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So378-18442008000100013
- Bonilla, A. M., & Alonso, L. (2002). Estudio de la viabilidad técnica, económica y comercial de la obtención de adhesivos para uso en la industria de cartón corrugado, a partir de almidón de yuca extraído por vía seca. En *Informe anual* (pp. 388-402). Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (Clayuca).
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1987). *Secado natural de raíces de yuca en pisos de concreto. Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema*. Autor.
- Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Fenalce). (2022). *Indicadores cerealistas 2021B*. <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2022/07/Indicador-Cerealista-2021B-FINAL.pdf>
- Gallego, S., & García, J. A. (2015). *Producción y usos de harina refinada de yuca*. OEI/SENA/Clayuca/Fundación Promotora del Canal del Dique. <http://www.>

fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/Portals/o/Documentos/Producción%20y%20usos%20de%20harina%20refinada%20de%20yuca.pdf

García-Mogollón, C., Torregroza-Espinosa, A., & Sierra-Bautista, M. (2016). Cinética de secado de chips de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en horno microondas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(3), 98-103. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So254-07702016000300001&lng=es&nrm=iso

Guzmán, J. (2022, octubre 8). Inestabilidad en el mercado del maíz empuja alza en el precio a nivel nacional. *La Tribuna*. <https://www.latribuna.cl/agroforestal/2022/10/08/inestabilidad-en-el-mercado-del-maiz-empuja-alza-en-el-precio-a-nivel-nacional.html>

Hernández-Guevara, A. D., & Vásquez-Barreto, L. (2008). *Optimización del sistema mixto de secado de yuca (Manihot esculenta Crantz) instalado en la planta agroindustrial de Morroa Minuto de Dios municipio de Morroa Sucre* [Tesis de pregrado]. Universidad de Sucre. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/254/664.0284H557.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Miranda, P. J., Martínez-Padilla, K. A., Torres-Gallo, R., Mendoza-Fandiño, J. M., & Gómez-Vásquez, R. D. (2018). Evaluación experimental del secado de yuca variedad venezolana por medio de un sistema híbrido de calentamiento de aire. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26(2), 329-338. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000200329>

Ospina, B., & Ceballos, H. (Comps. y Dirs.). (2002). *La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. CIAT/Clayuca. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/37152>

Ospina, B., Nutti, M., Gallego, S., Carvalho, J. L., & Ascheri, J. L. (2009). Fichas técnicas. Productos alimenticios. En *Curso internacional: Tecnologías para la elaboración de productos alimenticios a partir de cultivos con alto contenido nutricional* (2009, Palmira, Colombia). *Memorias* (pp. 10-25). Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (Clayuca)/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa).

Salcedo-Mendoza, J., Mercado, J. L., Vanegas, M., Fernández, A., & Vertel, M. L. (2014). Cinética de secado de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad Corpoica M-tai en función de la temperatura y de la velocidad de aire. *Revista ion*, 27(2), 29-42. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/4588>

- Torres-Gallo, P. J., Miranda-Lugo, P. J., & Martínez-Padilla, K. A. (2017). Diseño y construcción de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando PCM como fuente de almacenamiento térmico, para secado de yuca. *Tecno Lógicas*, 20(39). <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344251476005.pdf>
- Villada, H. S., & Acosta, H. (2003). Proyectos de desarrollo de materiales poliméricos biodegradables usando extrusión simple. En *Informe anual* (pp. 212-222). Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (Clayuca).
- Wheatley, G., Chuzel, N., & Zakhia, R. (2003). CASSAVA: Uses as a raw material. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (pp. 969-974). Academic Press. ISBN 9780122270550.

Los autores

Elvia Amparo Rosero Alpala

Correo: erosero@agrosavia.co

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

Máster 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), la cual 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 a través de la inclusión de caracteres con valor agregado, especialmente en mejoramiento de calidad nutricional.

Shirley Patricia Pérez Cantero

Correo: sperezc@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5260-0321>

Máster en Dirección del Desarrollo Local, del Instituto Superior de Educación, Administración y Desarrollo (España) y de la Universidad Francisco de Paula Santander (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.

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. En el 2021, publicó, junto con otros autores, "Caracterización socioeconómica y tecnológica del cultivo de ñame (*Dioscorea* sp.) en la región Caribe colombiana" (*Avances en Investigación Agropecuaria*, 25[2]).

Remberto Rafael Martínez Figueroa

Correo: rmartinez@agrosavia.co

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

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Córdoba y máster 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 de 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 y de batata, y 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.

Luis Alejandro Taborda Andrade

Correo: ltaborda@agrosavia.co

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

Doctor en Agroecología con énfasis en desarrollo rural, máster en Ingeniería Agroindustrial e ingeniero agroindustrial. Consultor con más de cinco años de experiencia en el escalonamiento, transferencia de tecnologías, análisis de adopción e impactos de innovaciones agropecuarias bajo la perspectiva de la teoría del cambio. Con experiencias 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 por la Universidad Nacional de Colombia y AGROSAVIA.

Katia Contreras Valencia

Correo: kcontreras@agrosavia.co

Orcid: [0000-0002-5624-4122](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.

Lily Lorena Luna Castellanos

Correo: llunac@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2172-7842>

Ingeniera agrónoma de la Universidad de Córdoba. Con experiencia profesional en la ejecución de proyectos de investigación agrícola en torno al mejoramiento de la productividad de cultivos de raíces y tubérculos, seguimiento fitosanitario de enfermedades y plagas en plantas, evaluación y selección de biofertilizantes en cultivos de tubérculos y hortalizas. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación adscrita a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos en el Centro de Investigación Turipaná, de AGROSAVIA.

Bernardo Ospina Patiño

Correo: b.ospina@clayuca.org

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

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

José Alberto García Ágredo

Correo: a.garcia@clayuca.org

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5063-7657>

Especialista en Administración de la Calidad Total y la Productividad e ingeniero mecánico de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Actualmente, se desempeña como investigador en proyectos de la Corporación Clayuca. Cuenta con experiencia en el desarrollo de tecnologías para la producción y el procesamiento de yuca, batata y otras raíces y tubérculos tropicales, con énfasis en diseño y adaptación de equipos de siembra, cosecha, secado, procesamiento y refinación de harinas para uso en alimentación humana y animal, y para usos industriales, con impacto en América Latina, el Caribe y África.

Sonia Gallego Castillo

Correo: s.gallego@cgiar.org

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

Máster en Ingeniería de Alimentos e Ingeniería Química de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Actualmente es la coordinadora de los Laboratorios de Calidad Nutricional (NQL) y de Procesamiento de Alimentos (FoodLab) del programa de Cultivos Biofortificados de la Alianza Bioversity CIAT en Palmira (Colombia). Cuenta con amplia experiencia en la coordinación de proyectos de investigación, innovación y desarrollo en el área poscosecha, con énfasis en la evaluación y optimización de tecnologías de procesamiento de cereales, legumbres, raíces y tubérculos; desarrollo, caracterización y análisis nutricional de productos alimenticios, y apoyo en la integración de las estrategias e iniciativas de investigación e innovación del CGIAR (consorcio mundial de investigación para un futuro sin hambre) en los planes, políticas, proyectos y programas nacionales de seguridad alimentaria y nutricional en Colombia.



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

Este manual reúne información relevante para productores y procesadores de yuca, y también puede ser útil para otros actores de la cadena agroindustrial de la yuca, especialmente para quienes participan en las actividades de producción de trozos secos de yuca y en su uso posterior como materia prima en la industria de alimentos balanceados para animales y otros usos industriales.

El capítulo 1 describe los resultados de la caracterización de los patios de secado encontrados en los departamentos de Córdoba y Sucre, de la región Caribe, siendo estos los departamentos de Colombia donde se da el proceso de secado de yuca. Los capítulos 2, 3, 4 y 5 describen las generalidades del proceso de secado y las tecnologías usadas en él, indicándose claramente el proceso y las condiciones de operación. Finalmente, los capítulos 6 y 7 abordan el potencial de los trozos secos de yuca para la producción de harina refinada, así como también el análisis global y las perspectivas del mercado y de la transformación de trozos secos de yuca en Colombia, aquí se indica la dinámica y el potencial de la región Caribe, que se articula con la demanda de materia prima para la fabricación de alimentos balanceados a nivel nacional.



ISBN: 978-958-740-624-5



Distribución gratuita
Prohibida su venta