

Capítulo 12.

Cosecha y poscosecha de yuca industrial

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

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

Cosecha, pesaje y alistamiento de raíces de yuca

Cosecha

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

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



Figura 12.1. Cosecha y empacado manual de yuca.

Fotos: Bernardo Ospina

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

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

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

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

Fuente: Ospina y Rosero (2022)

Pesaje, lavado y alistamiento inicial de raíces frescas de yuca

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

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

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

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

Producción de trozos secos de yuca

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

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

Secado en patios y bandejas

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

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

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



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

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

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

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

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

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

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



Figura 12.3. Secado de trozos de yuca en bandejas.

Ilustración: Juan Felipe Martínez Tirado

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

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

Secado artificial

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

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

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

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

Secado mixto

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

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

Recolección y empaque de trozos secos de yuca

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

Procesamiento del almidón fermentado

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

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

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

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

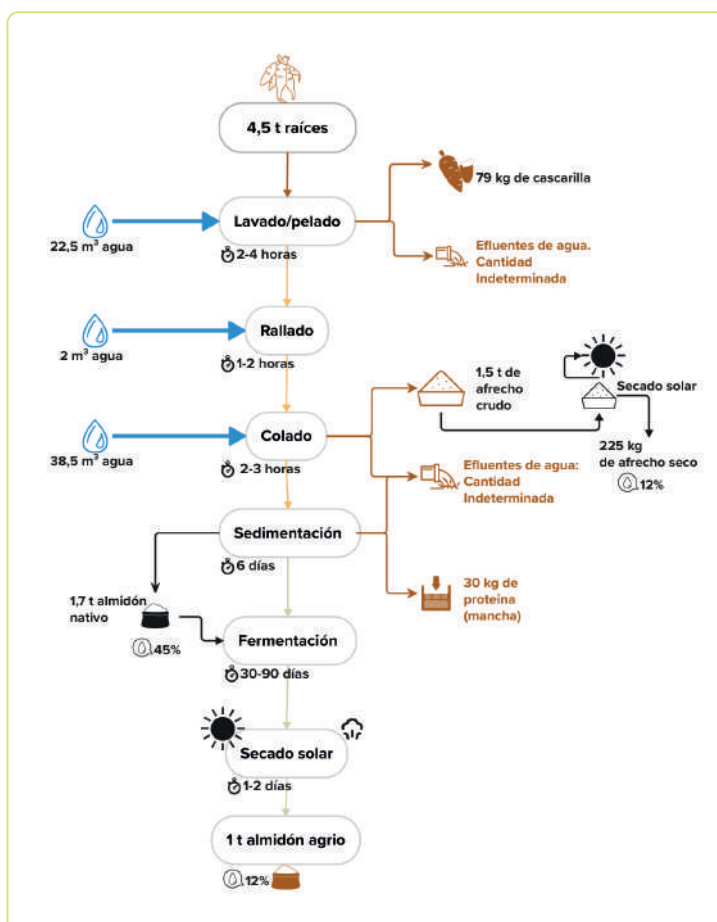


Figura 12.4. Diagrama de flujo del procesamiento de almidón fermentado de yuca: balance de masa y duración promedio en cada etapa para 1 t de almidón agro (12 % b. h.).

Fuente: Elaboración propia

Lavado/pelado

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

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

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

Rallado

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



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

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

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



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

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Extracción

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

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

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

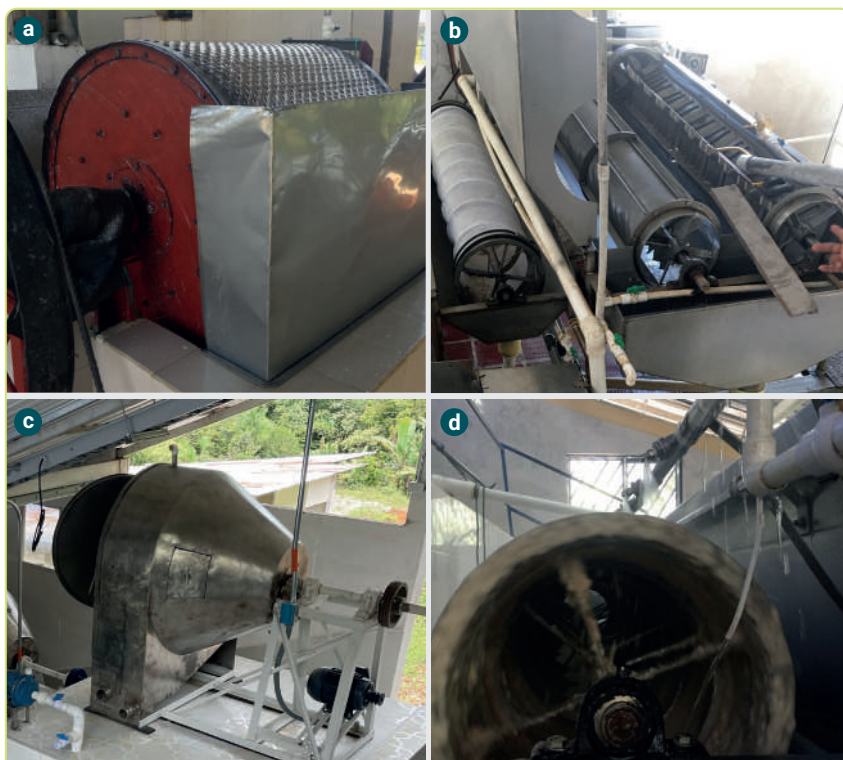


Figura 12.7. Extracción de almidón. a. Coladora; b. Percoladora; c. Centrífuga; d. Separación del almidón de la fibra con agua a presión.

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Separación, desaguado y fermentación

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

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

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

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

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



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

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Secado y empackado

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



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

Fotos: Luis Alejandro Taborda Andrade

Recomendaciones para mejorar el procesamiento de almidón fermentado

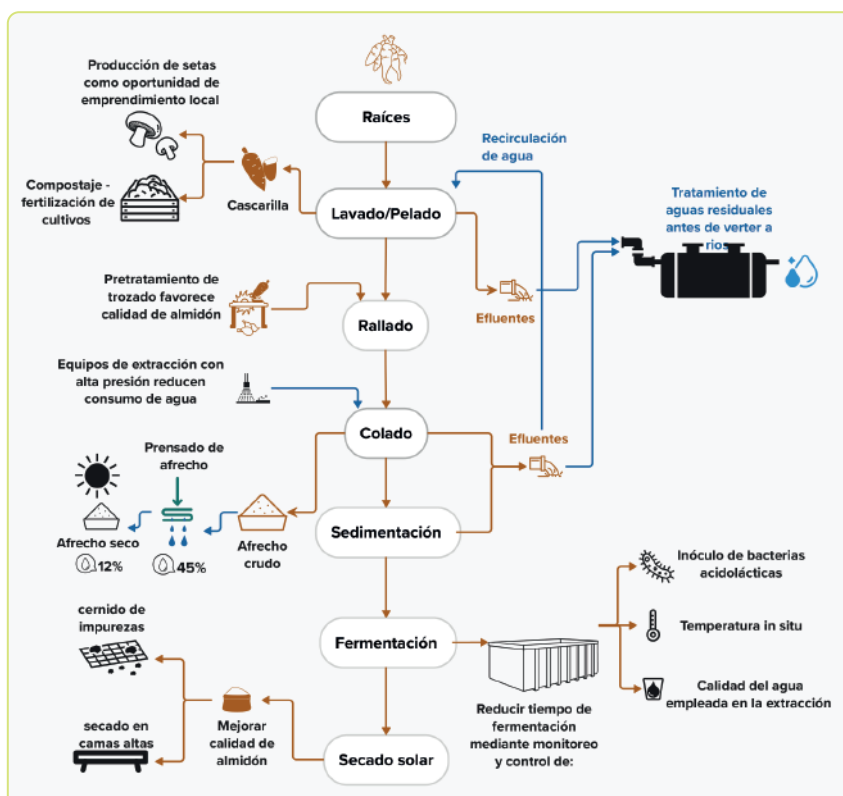


Figura 12.10. Diagrama de flujo del procesamiento de almidón fermentado de yuca: recomendaciones para cada etapa de procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

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

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

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

El uso de aspersores con alta presión en percoladoras ha reducido la capacidad de extracción del almidón y al mismo tiempo ha disminuido el consumo de agua.

Otra opción tecnológica para extraer el almidón con demostrada eficiencia es la centrífuga. No obstante, no ha tenido una buena adopción en las rallanderías.

Colado	Ambiental	
Colado/ sedimentación	Ambiental/ eficiencia de extracción	La recirculación de agua después del colado hacia el mismo proceso es ampliamente utilizada para optimizar la superación del almidón de las fibras. Algunas rallanderías también reciclan efluentes de agua de las etapas de colado y sedimentación para lavar las raíces. Esto ha permitido reducir considerablemente el consumo de agua, teniendo en cuenta que cerca del 36 % del consumo total de agua se da en el lavado de las raíces.

El tratamiento de aguas residuales se ha realizado de diversas maneras (canales, tanques sépticos, descontaminación con microorganismos, entre otras), y aunque tanto investigadores como rallanderos han tenido iniciativas, no se han logrado buenos resultados. El tratamiento mediante biodigestores para obtener gas ha sido igualmente considerado.

Por otra parte, antecedentes industriales a gran escala postulan posibles cuellos de botella, como el costo de manejar un alto caudal frente al contenido característico de materia orgánica, lo cual no se ajusta a una planta de pequeña escala.

Lavado/
sedimentación

Ambiental

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

Fuente: Elaboración propia