

67461



Poscosecha de Yuca



Ministerio de Agricultura
y Ganadería Rural

67461



Poscosecha de Yuca



24 MAR. 2006

222449



Foros de Yuca

Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca, CLAYUCA

Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

Teléfono: (57-2) 445 01 57 / 59
Fax: (57-2) 445 00 73
E-mail: b.ospina@cgiar.org
Sitio web: www.clayuca.org

**Edición
y Diseño:**

Nidia Betancourth
Febrero de 2006
Impreso en Colombia



Contenido

	Página
1. Sistema novedoso de extracción de harina refinada de yuca	8
1.1 Características de la planta piloto	8
1.2 Proceso de extracción de harina refinada de yuca	9
1.3 Descripción físico-química de las harinas	11
1.4 Costos de producción de la harina refinada producida en la planta piloto modular	11
1.5 Costos de producción de una planta de flujo continuo	11
1.6 Usos potenciales de las harinas finas	12
2. Producción de dextrinas de yuca por vía seca	15
2.1 Materias primas	15
2.2 Tecnologías de dextrinización	16
2.3 Nueva tecnología para la producción de dextrinas por vía seca	16
2.4 Mercado de dextrinas en Colombia	19
2.5 Adhesivos de dextrina	20
2.6 Mercado potencial de las pirodextrinas	23
3. Cera natural como nueva alternativa de conservación de yuca fresca	25
3.1 Aspectos generales	25
3.2 Encerado	26
3.3 Impacto ambiental	29

Lista de Figuras

		Página
Figura 1.1	Planta piloto modular para la producción de harina refinada de yuca.	8
Figura 1.2	Cribas intercambiables del molino-tamiz.	9
Figura 1.3	Diagrama de flujo y balanza de la masa de la producción de harina refinada con la planta piloto modular.	10
Figura 1.4	Esquema propuesto de una planta productora de harina refinada de yuca de flujo continuo con capacidad de 100 kg/h de producto final.	13
Figura 2.1	Hidrólisis y repolimerización durante la dextrinización del almidón.	15
Figura 2.2	Lavadora de raíces de yuca.	17
Figura 2.3	Rallador de raíces de yuca.	17
Figura 2.4	Coladora y tamiz vibratorio.	17
Figura 2.5	Tanques y canales de sedimentación de almidón.	17
Figura 2.6	Torta de almidón en tanque de sedimentación.	18
Figura 2.7	Eliminación del secado de almidón.	18
Figura 2.8	Mezcladora de la torta de almidón y catalizador.	18
Figura 2.9	Peletizador de dextrina.	19
Figura 2.10	Secador de bandejas para pelets de dextrina.	19
Figura 2.11	Volumen de importación, exportación, consumo y producción de dextrinas en Colombia.	20
Figura 2.12	Principales sectores de aplicación de las dextrinas en Colombia.	20
Figura 2.13	Principales aplicaciones de los adhesivos de dextrina	20
Figura 2.14	Muestra de adhesivos de dextrina de yuca.	21
Figura 2.15	Adhesivos de dextrina de yuca y de dextrina de maíz.	22
Figura 3.1	Resina natural extraída del pino (<i>pinus</i> sp.), conocida como colofonia.	25
Figura 3.2	Deterioro fisiológico y deterioro microbiano.	26
Figura 3.3	Selección de raíces.	27
Figura 3.4	Lavado de raíces.	27
Figura 3.5	Secado de raíces.	27
Figura 3.6	Encerado de raíces frescas.	28
Figura 3.7	Secado después de aplicarse la cera.	28

Lista de Cuadros

		Página
Cuadro 1.1	Análisis proximal promedio de los tres principales materiales que se manejan en la refinación.	11
Cuadro 1.2	Costos de producción de la planta piloto modular de CLAYUCA para un mes de funcionamiento, un turno por día (Cali, abril de 2004)	11
Cuadro 1.3	Costo de producción de una planta de flujo continuo para un mes de funcionamiento, un turno por día (Cali, abril de 2004)	12
Cuadro 2.1	Comparación de las propiedades de los tipos de adhesivos de dextrinas.	21
Cuadro 2.2	Sustitutos de los adhesivos de dextrina.	21
Cuadro 2.3	Formulaciones típicas de los adhesivos de dextrina.	22
Cuadro 3.1	Costos de encerado de yuca fresca.	28



1. Sistema novedoso de extracción de harina refinada de yuca

Lístmaco Alonso*, Alejandro Fernández**, José Alberto García***, José Francisco Londoño^v, Luis Eduardo Isaza^{vv}, Sandra Milena Barona^{vvv}

El almidón agrio de yuca es extraído en Colombia utilizando aproximadamente 37 m³ de agua por tonelada de producto seco en las pequeñas unidades de procesamiento o rallanderías, mientras que a escala industrial se usan un poco más de 10 m³ por cada tonelada de almidón dulce seco.

En la mayoría de los casos, esta misma cantidad de agua se vierte en los ríos con una elevada carga orgánica de contaminantes y ácido cianhídrico. En consecuencia, en la investigación realizada por CLAYUCA, el CIAT y la Universidad del Valle, con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), se estudiaron diferentes alternativas de procesamiento para evaluar la posibilidad de extraer harina refinada de yuca con características similares a las del almidón dulce con poca utilización de agua.

A continuación se presenta la información sobre la planta piloto modular que fue desarrollada durante la investigación y los costos de producción de la harina refinada que puede obtenerse por medio de

esta planta. Al final del siguiente reporte se propone un esquema de una planta piloto continua que tendría capacidad para procesar 145 kg/h de trozos secos. También se estimaron los costos de proceso y de producción.

1.1 Características de la planta piloto

La planta piloto modular (Figura 1.1) consiste esencialmente en un sistema de alimentación y el molino-tamiz cilindrico de aspas con tres cribas intercambiables (Figura 1.2) y un par de ciclones para la clasificación neumática.

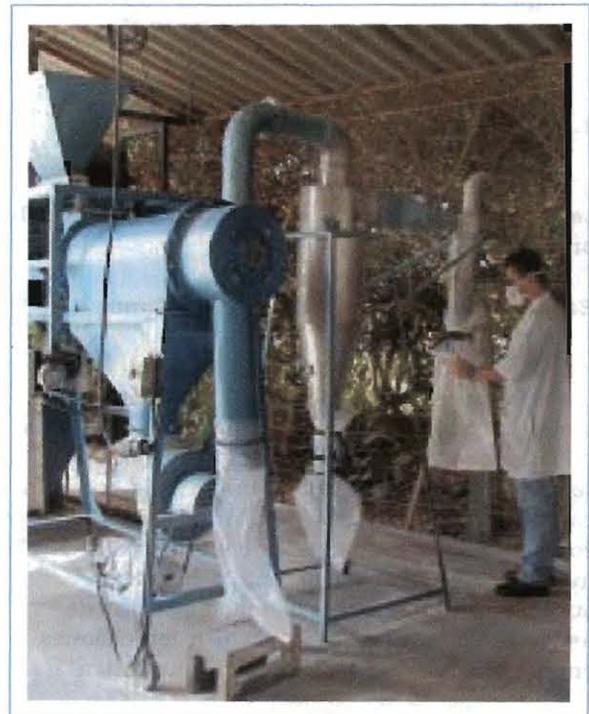


Figura 1.1. Planta piloto modular para la producción de harina refinada de yuca (instalaciones de CLAYUCA)

- * Ingeniero Agrícola. Asistente de Investigación en Sistemas de Manejo Poscosecha, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org
- ** Ph.D., Ingeniería de alimentos. Docente Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: alferman@univalle.edu.co
- *** Ingeniero Mecánico. Encargado de la construcción de plantas de procesamiento de yuca, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: jalbertog983@hotmail.com
- ^v Ingeniero Mecánico. Encargado de la construcción de plantas de procesamiento de yuca, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: jfrancisco@uniweb.net.co
- ^{vv} Ingeniero Agrícola. Profesional, Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Chinchiná (Caldas), Colombia. E-mail: Luis.Isaza@cafedecolombia.com
- ^{vvv} Ingeniero Agrícola. Gerente A&B Ingeniería. Cali, Colombia. E-mail: sandrabarona@hotmail.com



Figura 1.2. Cribas intercambiables del molino-tamiz.

1.2 Proceso de extracción de harina refinada de yuca

El proceso general se compone de las siguientes etapas:

- a. Molienda de los trozos de yuca seca en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 3 mm.
- b. Tamizado de la harina gruesa en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 177 micras.
- c. Tamizado de la harina intermedia en el molino-tamiz cilíndrico de aspas con malla de 100 micras.
- d. Clasificación neumática repetitiva por medio de una pareja de ciclones.

La Figura 1.3 muestra el diagrama de flujo del proceso.

Etapa 1: molienda con malla de 3 mm

Con pequeños trozos de yuca seca, materia prima del proceso, se alimenta el molino-tamiz cilíndrico de aspas provisto de la criba con malla expandida de 3 mm, que los reduce de tamaño y retira materiales como la cascarilla, trozos duros de fibra y astillas que componen lo que se conoce como ripio. El material que logra pasar por la malla es succionado por un ventilador centrífugo de aspas radiales que lo transporta a los ciclones encargados de la clasificación neumática.

En la separación neumática, la harina producida por el molino-tamiz es dividida en dos clases denominadas harina fina 1 y

harina gruesa 1. La harina gruesa se convierte automáticamente en la materia prima de la siguiente etapa y la harina fina pasa al posterior proceso de separación.

Etapa 2: tamizado con malla de 177 micras

Al igual que en la etapa 1, el molino-tamiz dotado con la criba de 177 micras es alimentado con la materia prima, en este caso harina gruesa 1. El material que pasa por la malla es nuevamente succionado por el ventilador y separado en dos nuevas harinas denominadas harina fina 2 y harina gruesa 2. La harina fina 2 queda lista para la etapa de separación neumática y la harina gruesa se convierte en la materia prima de la tercera etapa.

Etapa 3: tamizado con malla de 100 micras

Igual que en las etapas anteriores, con la harina se alimenta el molino-tamiz que presenta una criba con malla de 100 micras. La harina que pasa por la malla es clasificada nuevamente en dos harinas denominadas harina fina 3 y harina gruesa 3. La harina fina 3 queda lista para el proceso de separación neumática y la harina gruesa 3 es mezclada con los ripios procedentes de todas las etapas. Las harinas finas obtenidas en las etapas iniciales del proceso, harinas finas 1, 2 y 3, son mezcladas formando lo que se denomina harina fina 4 que es la materia prima de la etapa final de clasificación o refinación neumática.

Etapa 4: refinación neumática

Inicialmente los ciclones son alimentados con la harina fina 4, donde es dividida por el ciclón clasificador en dos tipos de harinas denominadas harina fina 5 y harina fina 6. La granulometría de la harina fina 5 es aceptable, por lo cual queda como producto final, mientras que la harina fina 6 es nuevamente pasada por los ciclones en el siguiente módulo. Este proceso se repite nuevamente hasta completar el módulo 4. La suma de las harinas finas 5, 7, 9 y 11 se mezclan para formar la denominada harina fina 13 que es el producto final del proceso. La harina fina 12 es un subproducto del proceso.

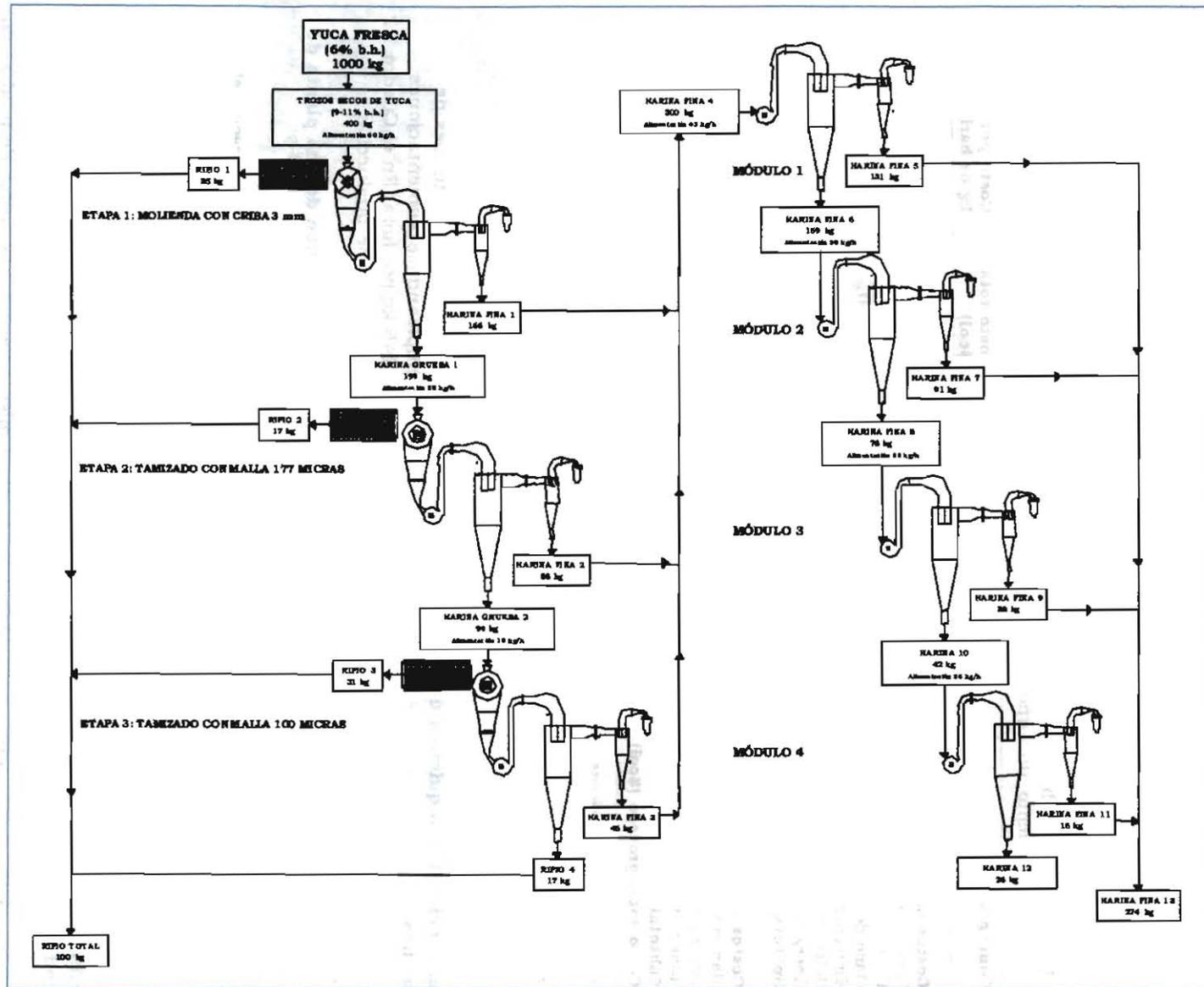


Figura 1.3. Diagrama de flujo y balanza de masa de la producción de harina refinada con la planta piloto modular de CLAYUCA.

Cuadro 1.1. Análisis proximal promedio de los tres principales materiales que se manejan en la refinación.

Material	Fibra (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Almidón (%)
Trozos secos integrales	5	2.8	2.6	79
Ripio total	29.7	4.2	4.3	50
Harina refinada 13	1.6	1.4	1.9	86

Cuadro 1.2. Costos de producción de la planta piloto modular de CLAYUCA para un mes de funcionamiento, un turno por día¹ (Cali, abril de 2004)

Concepto	Cantidad	Precio (\$col/und)	Costo total (\$col)	Costo por kg de harina
Costos directos				
Materia prima (kg trozos secos)	4920	400	1.968	554
Flete	1	200.000	200.000	56
Mano de obra (jornal) ²	26	20.000	520.000	147
Empaques de polipropileno (und)	76	450	34.200	10
Bolsas plásticas (und)	156	580	90.480	25
Energía (kwh)	1.164,8	86	216.653	61
Subtotal				853
Costos indirectos				
Mantenimiento ³			32.727	9
Depreciación ⁴			75.000	21
Administración ⁵	26	12.000	312.000	88
Subtotal				118
Costo total proceso (\$col)			3.301.441	971

1. *Jornal de 8 horas diarias.*
2. *La mano de obra se calcula con un salario integral (salario mínimo más prestaciones)*
3. *El mantenimiento se calcula con el 4% anual del valor total de la planta.*
4. *La depreciación se calcula para diez años de vida útil de las máquinas.*
5. *En el valor por administración se tienen en cuenta los valores de un administrador trabajando medio tiempo.*

1.3 Descripción físico-química de las harinas

En el Cuadro 1.1 se registran los valores promedio de los componentes de los tres principales productos que se manejan en el proceso: trozos secos integrales, harina refinada y ripio. Con la refinación se consiguen reducciones en niveles de un 50% en los valores iniciales de la fibra y la proteína. Con la ceniza la reducción es menor.

1.4 Costos de producción de la harina refinada producida en la planta piloto modular

A continuación se presentan los costos de operación y producción calculados para la actual planta piloto (equipo básico de proceso), teniendo como base 3550 kg de harina

refinada producidos durante un mes de operación, empleándose alimentaciones alrededor de 145 kg por hora. En el Cuadro 1.2 se registran los costos de producción.

1.5 Costos de producción de una planta de flujo continuo

En la Figura 1.4 se puede apreciar el esquema de la propuesta de una planta de procesamiento continuo para la extracción de harina refinada de yuca.

El costo de inversión de la planta se estimó en \$30.000.000 pesos (abril, 2004). La planta recibiría 145 kg de trozos secos por hora para producir 100 kg de harina refinada en el mismo tiempo. Los costos de producción se registran en el Cuadro 1.3 para un mes de funcionamiento de 26 días laborales y un turno de 8 horas por día.

Comparando la planta modular con la planta de flujo continuo, en un turno de 8 horas los costos de procesamiento podrían bajar en \$209 aproximadamente por cada kilogramo de harina refinada producida. Para ambos casos, no se tuvieron en cuenta los ingresos que se podrían recibir por la venta del ripio. Por cada 150 kg/h de harina, se producirían 40 kg/h de ripio.

1.6 Usos potenciales de las harinas finas

Por las características propias de los gránulos del almidón de la yuca, la harina refinada es una excelente materia prima para la elaboración de coladas, sopas y fideos, por su capacidad de espesar la preparación final.

Por esta característica es apropiada para usarla como ingrediente en la elaboración de productos embutidos, ya que mejora la retención del agua y las características de mordida.

En panificación, la inclusión de la harina de yuca en la formulación, se determinó que debe estar entre 10-15% sin afectar la calidad final. En galletería, la inclusión puede llegar a niveles del 40%.

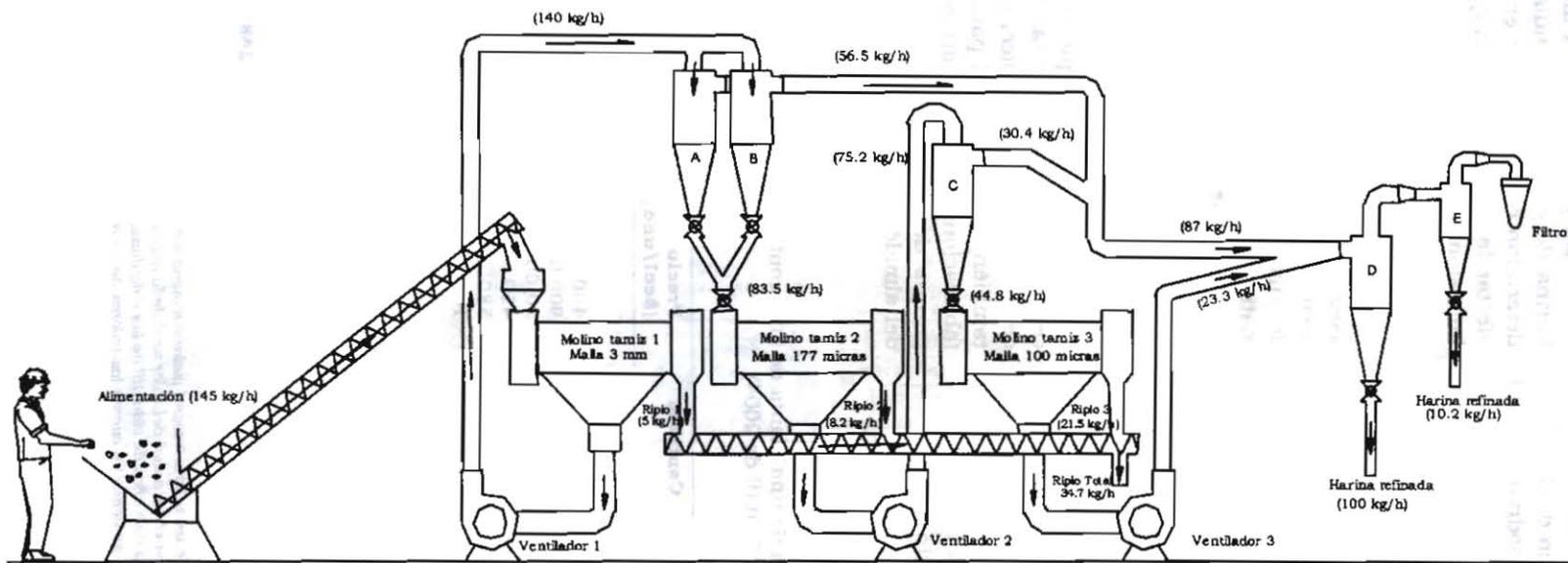
En la producción de snack (productos expandidos), los ensayos realizados permiten asegurar que la harina refinada puede reemplazar materiales como la misma harina de trigo y el almidón de papa, que son materias primas de amplio uso en estas categorías de alimentos.

Para usos industriales, la harina es una materia prima idónea en la elaboración de pegantes para las tapas de cajas de cartón corrugado. A pesar de que sus niveles de fibra, ceniza y proteína no son tan bajos como los del almidón nativo o dulce, la harina refinada también tiene potencial para utilizarse en la fabricación del mismo cartón corrugado, porque tiene características similares a las del almidón de maíz tipo perla.

Cuadro 1.3. Costos de producción de una planta de flujo continuo para un mes de funcionamiento, un turno por día¹ (Cali, abril de 2004)

Concepto	Cantidad	Precio (\$col/und)	Costo total (\$col)	Costo por kg de harina
Costos directos				
Materia prima (kg trozos secos)	30.160	400	12.064.000	580
Flete	1	900.000	900.000	43
Mano de obra (jornal) ¹	26	20.000	520.000	25
Empaques de polipropileno (und)	416	450	187.200	9
Bolsas plásticas (und)	936	580	542.880	26
Energía (kwh)	2.496	186	464.256	22
Subtotal				705
Costos indirectos				
Mantenimiento ²			28.912	2
Depreciación ³			250.000	12
Administración ⁴			900.000	43
Subtotal				57
Costo total proceso (\$col)			14.349.248	762

1. La mano de obra se calcula con un salario integral (salario mínimo más prestaciones)
2. El mantenimiento se calcula con el 4% anual del valor total de la planta.
3. La depreciación se calcula para diez años de vida útil de las máquinas.
4. En el valor por administración se tienen en cuenta los valores de un administrador con un salario integral de \$900.000 pesos mensuales.



Ciclones A, B, C: clasificadores (velocidad de aire entrada 10.9 m/s)
Basado en alimentación de 100kg/h

Ciclones D y E: recolectores

Harina refinada con un 95% de partículas menores a 44 micras

Figura 1.4. Esquema propuesto de una planta productora de harina refinada de yuca de flujo continuo con capacidad de 100 kg/h de producto final.

2. Producción de bioplásticos de yuca por extrusión



El proceso de extrusión de bioplásticos de yuca se realiza en un laboratorio de procesamiento de alimentos. En primer lugar, se prepara la pasta de yuca, la cual se mezcla con un aditivo de plastificación y se homogeneiza. Posteriormente, se carga la mezcla en un extrusor y se extruye a través de una boquilla, formando una lámina que se corta en tiras. Estas tiras se secan y se muelen para obtener el polvo de bioplástico, el cual se puede utilizar para la fabricación de diversos productos plásticos.

El proceso de extrusión de bioplásticos de yuca se realiza en un laboratorio de procesamiento de alimentos. En primer lugar, se prepara la pasta de yuca, la cual se mezcla con un aditivo de plastificación y se homogeneiza. Posteriormente, se carga la mezcla en un extrusor y se extruye a través de una boquilla, formando una lámina que se corta en tiras. Estas tiras se secan y se muelen para obtener el polvo de bioplástico, el cual se puede utilizar para la fabricación de diversos productos plásticos.

2. Producción de dextrinas de yuca por vía seca

Johanna Aristizábal*

Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón, generados por medio de temperatura y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización¹. Los cambios más notables que ocurren en el almidón, luego de su transformación en dextrina, son la reducción de la viscosidad y el aumento de la solubilidad en agua fría.

La producción de dextrinas puede ser llevada a cabo por dos vías: húmeda y seca. Por *vía húmeda* son obtenidas por acción de ácidos y/o enzimas sobre una suspensión

acuosa de almidón, comúnmente son llamadas *maltodextrinas*. Por *vía seca* se producen por calentamiento del almidón con pequeñas cantidades de catalizador o en ausencia de éste y son llamadas *pirodextrinas*. La vía seca requiere menos etapas de proceso y consumo energético, lo que la hace menos costosa y ambientalmente compatible por la ausencia de efluentes. Existen tres clases de pirodextrinas: dextrinas blancas, amarillas o canarias, y gomas británicas. Se diferencian por su proceso de producción y sus características propias de color, poder viscosante y solubilidad en agua fría.

2.1 Materias primas

Almidón

El origen del almidón es muy importante para la manufactura de dextrinas, ya que dependiendo de éste serán la calidad y las propiedades de las dextrinas obtenidas. El almidón de yuca ha sido reconocido como la materia prima más adecuada para la producción de dextrinas de alta calidad *Prime Quality Dextrins*³. El proceso de producción de dextrinas es esencialmente el mismo para todos los almidones, pero la facilidad de conversión cambia con el tipo de almidón y su calidad. Para la producción de dextrinas se pueden utilizar almidones de cualquier variedad de yuca; sin embargo, la conversión se favorece para variedades de alto contenido de amilopectina. Según recientes investigaciones se determinó que a partir de harina de yuca no es posible obtener dextrinas de excelente calidad⁴.

Catalizador

Para la conversión del almidón a dextrina pueden ser usados diferentes catalizadores;

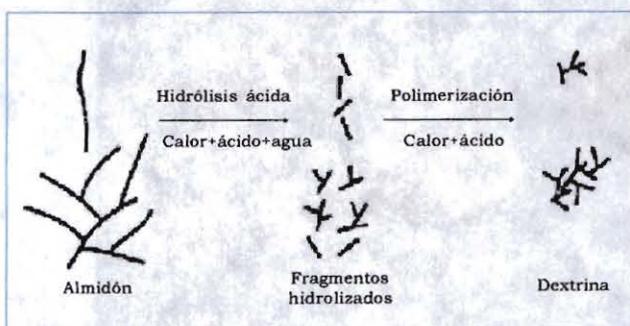


Figura 2.1. Hidrólisis y repolimerización durante la dextrinización del almidón².

* Ingeniera Química. Asistente de Investigación en Almidones Modificados, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: j.aristizabal@cgiar.org

¹ Wurzburg O. 1986. Modified Starches: Properties and uses. Boca Raton: CRC Press. p. 29-40, 254-256

² Skeist I. 1977. Handbook of adhesives. 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold. p. 192-211

³ Acton W. 1976. The Manufacture of Dextrins and British Gums. En: Radley, JA. Starch Production Technology. England: Applied Science Publisher. p. 276-284.

⁴ Aristizábal J. 2004. Estudio de la viabilidad técnica y económica de la producción de dextrinas a partir de yuca utilizando tecnologías de vía seca. MADR-CLAYUCA-CIAT: Cali, Colombia. 115 p.

sin embargo, el catalizador más usado es el ácido clorhídrico por su actividad relativamente alta, bajo costo, volatilidad y disponibilidad. Se usa en pequeñas trazas 0,15-0,3% con respecto al peso de almidón, dado que cantidades mayores producen aumento en la formación de azúcares y oscurecimiento de la dextrina. La cantidad de ácido es determinada por el *factor ácido*, que es la cantidad de ácido necesario para llevar una suspensión 1:2 de almidón:agua hasta un pH de 3,0, que es el valor óptimo para iniciar la dextrinización. Este factor es determinado potenciométricamente por titulación del almidón suspendido en agua desionizada, con ácido clorhídrico 0,1 M⁵; este factor depende del tipo de almidón utilizado.

2.2 Tecnologías de dextrinización

Existen diferentes equipos de dextrinización utilizados para la producción de dextrinas, entre los que se destacan el tostador convencional, equipo Blattman, lecho fluidizado, horno rotatorio, turbo-dryer y extrusor. La mayoría de las investigaciones en el desarrollo de equipos de dextrinización han buscado la aplicación de técnicas que pueden asegurar, en la mayoría de los casos, una mejor calidad en los productos obtenidos; sin embargo, los procesos a nivel industrial tienen estructuras de costos poco competitivas, por la marcada incidencia de los costos de operación, consumo energético e inversiones en capital sobre los precios unitarios del producto obtenido y sólo justificables para altos niveles de producción.

2.3 Nueva tecnología para la producción de dextrinas por vía seca

La producción de dextrinas de yuca por vía seca utilizando secado con aire a través de un lecho de pelets, es una tecnología que agrega valor al método tradicional de extracción de almidón de yuca empleado por pequeñas agroindustrias rurales o rallanderías en Colombia. Presenta ventajas frente a las tecnologías actuales de producción de

dextrinas en forma de polvo, y es la más aplicable en cuanto a los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales de dichas agroindustrias⁶.

Ventajas de la tecnología

- El incremento del área superficial del producto aumenta la transferencia de calor y, en consecuencia, disminuyen los tiempos de proceso.
- La inversión en equipos y costos de mantenimiento son bajos, comparados con los métodos modernos de producción de dextrinas en forma de polvo.
- Permite la producción de las dextrinas enseguida del proceso de extracción de almidón de yuca, utilizando la torta de almidón, evitando su secado y contaminación.
- Elimina una etapa de proceso (secado del almidón) del cual parten las tecnologías actuales de modificación por vía seca.
- La dextrina en forma de pelets es de fácil manejo y empaque.
- Es un proceso limpio que elimina la contaminación por polvos.

El proceso de producción de pelets de dextrina por vía seca, tiene las mismas etapas de proceso utilizadas en las rallanderías hasta la producción de la torta de almidón, cuyas operaciones son *lavado, rallado, colado y recolado y sedimentación*.

Posterior a esta última etapa, se realiza la *recolección de la torta de almidón* y se continúan las etapas para la producción de dextrinas que comprende las operaciones de *mezclado del catalizador, peletización, presecado y tostación, enfriamiento, empaque y acondicionamiento*.

Lavado

En esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a las raíces de yuca y se elimina parte de la cascarilla. Normalmente, las pérdidas en el lavado son de 2-3% del peso de las raíces frescas (Figura 2.2)

Rallado

En esta etapa se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces

⁵ Acton W. 1976. *Op. Cit.*

⁶ Aristizábal J. 2004. *Op. Cit.*



Figura 2.2. Lavadora de raíces de yuca.



Figura 2.3. Rallador de raíces de yuca.

de la yuca. La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total del almidón en el proceso de extracción. Si el rallado no es eficiente, no se logrará la separación total de los gránulos de almidón de las fibras y el rendimiento del proceso será bajo, perdiéndose mucho almidón en el afrecho desechado. Por otra parte, si el rallado es demasiado fino, los gránulos muy pequeños de almidón sufren daño físico y la sedimentación será más lenta, ya que el gránulo fino pierde densidad.

Colado y recolado

En esta etapa se realiza la separación del afrecho de la lechada de almidón. Para evitar

que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón, posterior al colado se recomienda realizar un recolado de la lechada con el objeto de retener las fibras finas que pudieron filtrarse. Entre esta etapa y la de lavado se consumen grandes cantidades de agua, alrededor de 7 litros por kilogramo de yuca.

Sedimentación

La sedimentación de la lechada de almidón se realiza en canales o en tanques de sedimentación. Esta operación puede durar 3 horas en los canales y de 6-8 horas en los tanques.

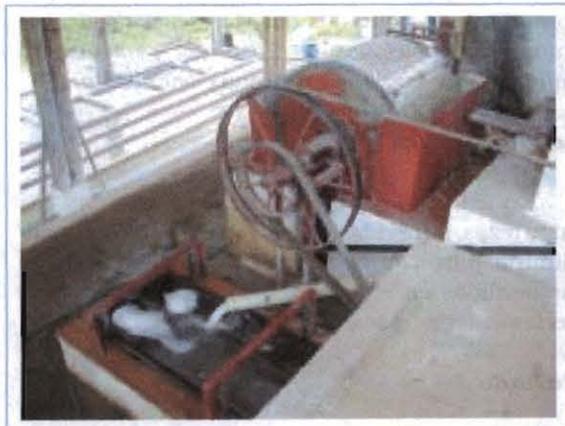


Figura 2.4. Coladora y tamiz vibratorio.

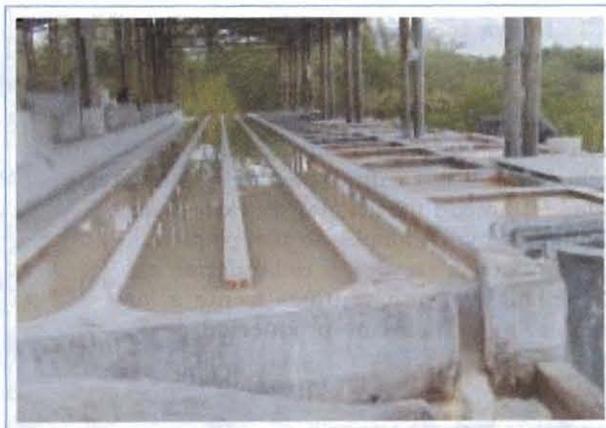


Figura 2.5. Tanques y canales de sedimentación de almidón.

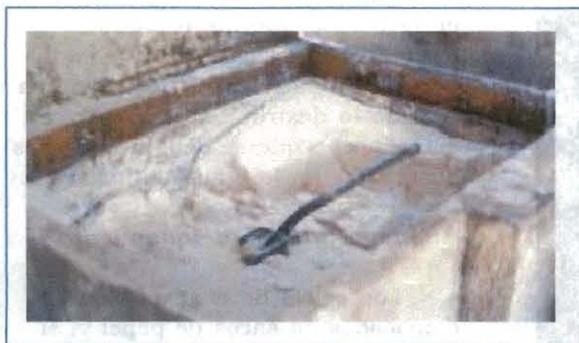


Figura 2.6. Torta de almidón en tanque de sedimentación.



Figura 2.7. Eliminación del secado de almidón.

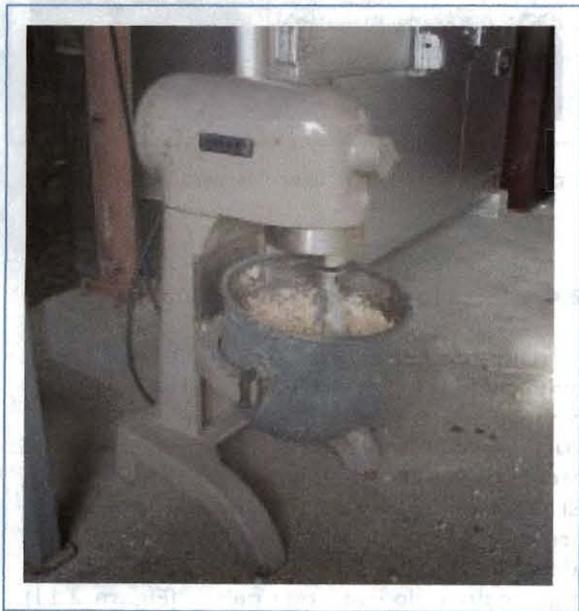


Figura 2.8. Mezcladora de la torta de almidón y catalizador.

Al final de esta etapa, se obtienen tres capas: la capa inferior es el almidón, la intermedia se denomina mancha (almidón mezclado con material proteico) y la capa superior es el agua sobrenadante. La capa superior es eliminada por desagüe del agua y la mancha es retirada por lavado con agua.

Recolección de la torta de almidón

El almidón compactado en el fondo de los canales o tanques de sedimentación, presenta una humedad entre el 45-47%, es recolectado y transportado en bloques compactos hacia la etapa de mezclado del catalizador. El rendimiento del proceso varía entre el 17 y el 25%, dependiendo de la eficiencia de extracción.

Es en esta etapa del proceso donde se elimina el secado de los bloques de almidón en los patios de secado, lo cual es un limitante del proceso de extracción de almidón en las rallanderías, porque se requieren grandes espacios y días soleados. Este es el aporte que hace la tecnología propuesta a la tecnología tradicional de extracción de almidón.

Mezclado del catalizador

La torta de almidón es mezclada con el catalizador (HCl en una concentración de 0,1-0,3% en relación con el peso del almidón) y la masa es ajustada a una humedad del 45% (humedad óptima para realizar el peletizado del almidón). Para evitar que los pelets se desmoronen fácilmente, es conveniente adicionar un aglutinante a la mezcla (1-2% de almidón pregelatinizado en relación con el peso del almidón). Esta etapa es de vital importancia para garantizar una completa penetración del catalizador en la torta de almidón y evitar problemas de carbonización de las partículas convertidas a dextrina.

El alto contenido de agua presente en la torta favorece la penetración del catalizador. Una prueba útil para comprobar el tiempo adecuado de mezcla es tomar una pequeña muestra de almidón acidificado y colocarla en una estufa a 200°C, por 20 minutos, si se observa carbonización local el mezclado es insuficiente.



Figura 2.9. Peletizador de dextrina.

Peletizado

En esta etapa el almidón acidulado es formado o peletizado, con el objeto de aumentar el área superficial de las partículas y facilitar así su secado.

Presecado y tostación

El presecado se lleva a cabo a temperatura entre 55-60°C, hasta alcanzar una humedad por debajo del 5%, dado que un alto contenido de humedad a bajos niveles de pH promueve alta escisión hidrolítica y la consecuente formación de azúcares. La tostación es llevada a cabo a una temperatura de 150°C hasta alcanzar la conversión deseada.

En estas etapas se deben eliminar los gradientes de temperatura en el almidón y garantizar una eficiente ventilación para lograr una rápida remoción de humedad y los vapores formados durante la dextrinización (Figura 2.10)

Enfriamiento

Finalizada la conversión al nivel deseado, la acción del catalizador es detenida con un rápido y completo enfriamiento de la dextrina a temperatura ambiente. La dextrina puede

ser humidificada hasta un nivel entre 5-12% con aire o por atomización de agua sobre ella, para evitar la formación de espuma cuando la dextrina es cocinada con agua, hecho que se debe a los gases adsorbidos en la etapa de tostación.

Empaque y acondicionamiento

Los pelets de dextrina son empacados en sacos de papel y, si es necesario, pueden ser molidos y tamizados; sin embargo, estas operaciones son indeseables, pues lo que se busca con la tecnología propuesta es evitar la formación de polvos que se presenta cuando se produce la dextrina en forma de polvo.



Figura 2.10. Secador de bandejas para pelets de dextrina.

2.4 Mercado de dextrinas en Colombia

Durante el período 1997-2003 las importaciones de dextrinas mostraron un comportamiento estable, aunque en el año 2002 presentaron un aumento importante. El precio promedio de importación fue US\$1/kg. El promedio de la producción de dextrina presentó un comportamiento estable, alrededor de 580 t/año, el cual se considera bajo comparado con otros países (Figura 2.11)

El estudio de mercado realizado por Acosta

y Salcedo⁷, permitió identificar que los sectores de aplicación con mayor participación de las dextrinas son el sector Papel y Cartón (60%), el sector de alimentos (20%) y el sector textil (12%). Siendo el principal sector de aplicación de las pirodextrinas el sector de Papel y Cartón (Figura 2.12)

La principal aplicación de las pirodextrinas en el sector Papel y Cartón es la fabricación de adhesivos industriales, particularmente para las siguientes aplicaciones:

- Cerrado de cajas corrugadas
- Fabricación de cores o tubos de cartón
- Formación de sacos multipliegos y bolsas de papel
- Etiquetado sobre botellas de vidrio

2.5 Adhesivos de dextrina

Los adhesivos de dextrina son clasificados como pegamentos si son fluidos y como gomas si son pastas. Los tipos más comunes son la goma de dextrina, pegamento de dextrina y dextrina boratada. El Cuadro 2.1 muestra la comparación de las propiedades de los tipos de los adhesivos de dextrina.

Existen diferentes sustitutos de los adhesivos de dextrina; siendo el principal el acetato de polivinilo (PVA), por su menor tiempo de secado en comparación con las dextrinas y por evitar el excesivo humedecimiento del sustrato. Sin embargo,

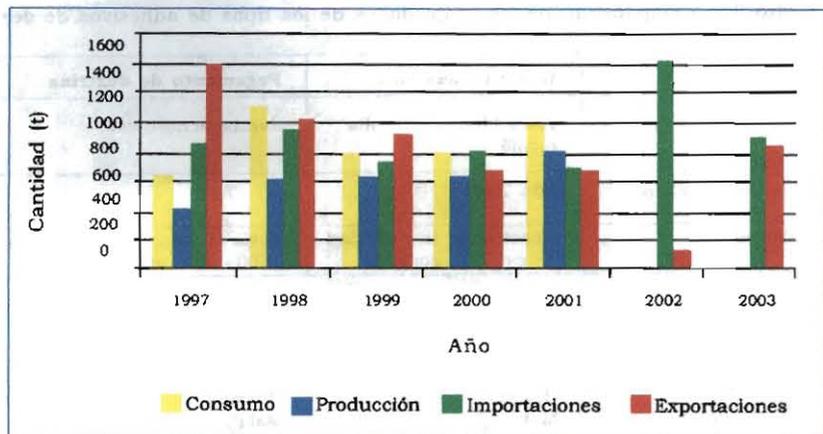


Figura 2.11. Volumen de importación, exportación, consumo y producción de dextrinas en Colombia*. Fuente: Mincomex, 2004.

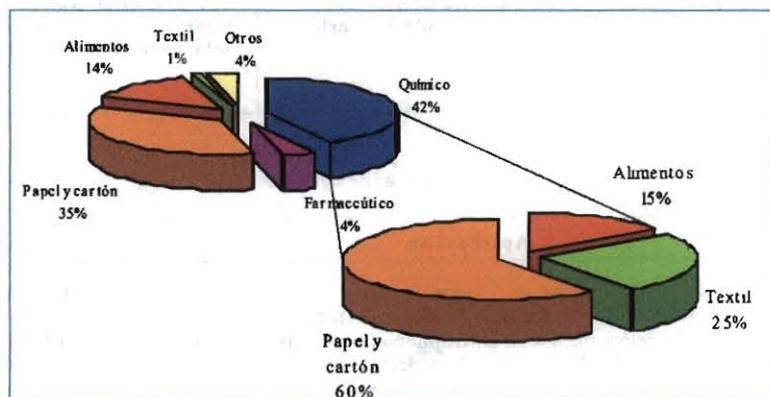


Figura 2.12. Principales sectores de aplicación de las dextrinas en Colombia*.

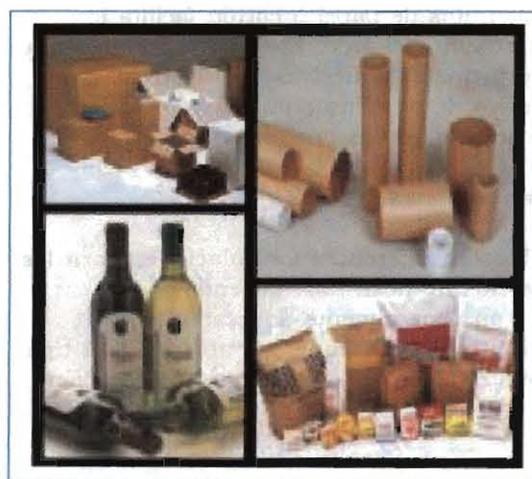


Figura 2.13. Principales aplicaciones de los adhesivos de dextrina.

* No hay discriminación por fuente de almidón.

⁷ Acosta MP y Salcedo MC. 2004. Estudio de las aplicaciones industriales, potencial de mercado en Colombia y diseño de un producto a partir de pirodextrinas de yuca. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial) realizado en CLAYUCA. Universidad Javeriana. Cali, Colombia. 140 p.

⁸ Acosta MP y Salcedo MC. 2004. *Ibid.*

Cuadro 2.1. Comparación de las propiedades de los tipos de adhesivos de dextrinas⁹.

Propiedad		Goma de dextrina	Pegamento de dextrina	Dextrina boratada
Forma		Pasta blanca, amarilla o café	Jarabe acuoso café	Fluido acuoso blanco o café
Contenido de sólidos		30 - 70%	60 - 70%	30 - 50%
Viscosidad		Depende de la velocidad de esfuerzo cortante	Varía entre 1500 - 4000 mPas	Varía entre 1000 - 6000 mPas
Wet tack		Moderadamente alto	Alto	Alto
Velocidad de setting		Baja	Baja	Baja
Resistencia de la unión adhesiva	Calor	Buena	Buena	Buena
	Agua	Mala	Mala	Mala
	Solventes	Buena	Buena	Buena
	Aceites	Buena	Buena	Buena
Biodegradación		Buena	Buena	Buena
Aplicación		Solapa de sobres Etiquetado de botellas	Laminación de papel y cartón, tapas engomadas, solapas de sobres, estampillas	Cerrado de cajas de cartón, elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel

Cuadro 2.2. Sustitutos de los adhesivos de dextrina.

Aplicación	Producto sustituto
Cerrado de cajas de cartón Fabricación de cores o tubos en espiral Formación de sacos multipliegos y bolsas de papel Etiquetado de botellas de vidrio	Hot melts, adhesivos de almidón, PVA PVA Adhesivos mezcla de dextrina - PVA Caseína, Jelly gum

los adhesivos de dextrina son preferidos en muchos casos por su bajo costo, su mayor adhesividad y su estabilidad; además, su uso en sustratos de papel o cartón facilita los procesos de reciclado. El Cuadro 2.2 presenta los principales adhesivos sustitutos del adhesivo de dextrina para las principales aplicaciones en las cuales es usado.

Formulaciones típicas

Existen diferentes formulaciones para los adhesivos de dextrinas, dependiendo de su uso; son generalmente adaptadas por el fabricante según requerimientos para el tipo de sustrato a pegar y la forma de aplicación.



Figura 2.14. Muestra de adhesivos de dextrinas de yuca.

⁹ Booth K. 1990. Industrial Packaging Adhesives. Boca Raton: CRC Press, Inc. p 1-4, 20-28

En el Cuadro 2.3 se registran algunas formulaciones típicas de los adhesivos de dextrina para sus principales aplicaciones.

Las pruebas más comunes para determinar la calidad de un adhesivo son: viscosidad, porcentaje de sólidos, pH, color y olor, y apariencia de la película.

Las propiedades que determinan su desempeño en el momento de una unión adhesiva son fuerza adhesiva, tiempo de secado, tack y estabilidad en almacenamiento.

Los adhesivos de dextrina de yuca tienen excelente pegajosidad, fuerza adhesiva y estabilidad en almacenamiento, su película es clara y brillante; características superiores comparadas con las de los adhesivos de dextrinas de maíz, su principal competidor. Además, su olor en húmedo no es perceptible, comparado con el olor característico que poseen los adhesivos de dextrina de maíz.

La creciente tendencia de las instituciones hacia productos y procesos más sostenibles ambientalmente representa una excelente oportunidad para los adhesivos de pirodextrina de yuca. Aunado a las regulaciones ambientales, cada vez más exigentes, sobre el uso de fibra reciclada y la prohibición de grapas y adhesivos que pueden resultar no aceptados para diferentes tipos de empaques.



Figura 2.15. Adhesivos de dextrinas de yuca (izquierda) y de dextrina de maíz (derecha).

Cuadro 2.3. Formulaciones típicas de los adhesivos de dextrina^{11,12}.

Componente	Porcentaje en peso (%) según aplicación			
	Cerrado de cajas	Fabricación de tubos en espiral	Formación de sacos de papel (fondo lateral)	Etiquetado de botellas de vidrio
Dextrina	37,5	40	22-28	38
Metaborato de sodio	50	--	--	--
Hidróxido de sodio	--	3	--	3
Úrca	--	3	--	3
Bórax (10 mol)	1,3	2,7	3,2	--
Biocida	0,1	0,1	0,1	0,1
Jabón	--	--	0,2	--
Glicerina	--	--	--	2
Antiespumante	0,3	0,3	0,3	0,3
Agua	55,8	50,9	68-74	53,6

¹⁰ Aristizábal J. 2004. *Op. Cit.*

¹¹ Kruger L y Lacourse N. 1990. Starch based adhesives. En: Skeist I. Handbook of adhesives. 3 ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company. p. 153-166

¹² Kennedy H. 1989. Starch and dextrin based adhesives. En: Hemingway, Richard et al. Adhesives from renewable resources. Washington D.C.: American Chemical Society. p. 326-335

2.6 Mercado potencial de las pirodextrinas

Aunque el principal sector de aplicación de las pirodextrinas en Colombia es la fabricación de adhesivos industriales, pueden ser utilizadas en otros sectores industriales, en particular en el sector de alimentos y en el sector farmacéutico, en reemplazo de las maltodextrinas y almidones modificados especializados. Esto puede lograrse con el uso de catalizadores y condiciones de proceso adecuados, para obtener una pirodextrina con propiedades funcionales y requisitos de calidad exigibles en estos mercados. Entre los usos potenciales más destacados se encuentran¹³:

- Agente de relleno y ligantes de agua en la industria de embutidos.
- Agente de barrera ante la absorción de grasa en productos fritos y liberación de líquidos en productos preparados en cocción.
- Encapsulante de aroma y sabor en condimentos y confitería.
- Sustituto de grasa, promotor de cuerpo y estabilidad en alimentos.
- Agentes formadores de película y cohesividad para revestimiento de cápsulas y confitería.
- Fuente de carbohidratos en la fabricación de antibióticos.

¹³ Lyckeby A. 2002. Dextrins (en línea). Horazdovice, República Checa: Lyckeby Amylex. (citado en 2004-15-04) Disponible en internet: <http://www.lyckeby.cz/english/produkty/dextriny.htm>



3. Cera natural como nueva alternativa de conservación de yuca fresca

Mónica Montoya*
Listmaco Alonso**
Teresa Sánchez***

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una raíz altamente perecedera durante la etapa de almacenamiento. Se hace necesario mejorar las prácticas tradicionales de cosecha y poscosecha para evitar el deterioro fisiológico y microbiano. Detener este tipo de deterioros se ha convertido, a lo largo de los años, en un punto de interés para distintos investigadores a nivel mundial.



Figura 3.1. Resina natural extraída del pino (*pinus* sp.), conocida como colofonia. Fuente: www.ambiente.sp.gov.br/destaque/pinus.htm

CLAYUCA ha realizado estudios sobre una nueva alternativa de conservación a través de una cera natural, la cual crea una barrera sobre la superficie de la yuca, inhibiendo la entrada del oxígeno y conservando las propiedades sensoriales del producto por más de 20 días.

3.1 Aspectos generales

Cera natural

La cera natural empleada para conservar yuca fresca se produce a partir de una resina natural que se extrae del pino (*pinus* sp) y se conoce como colofonia (Figura 3.1).

La colofonia, o también llamados ésteres glicéridos de colofonia, es regulada por la FDA (Food and Drug Administration) de los estados Unidos y la Comunidad Económica Europea) en la industria de alimentos.

La presentación comercial del producto¹ es un líquido viscoso de color ámbar traslucido oscuro con un olor a alcohol, contiene 22% de sólidos, pH 8.7 y es 100% soluble en agua. Como aditivo fungicida se le incorporó Tiabendazol en dosis de 1000 ppm/litro del producto.

* Estudiante de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Antioquia. Trabajo desarrollado en CLAYUCA como Práctica Profesional. E-mail: monicatatianamontoya@yahoo.com

** Ingeniero Agrícola. Asistente de Investigación en Sistemas de Manejo Poscosecha, CLAYUCA. Cali, Colombia. E-mail: l.alonso@cgiar.org

*** Química. Jefe del laboratorio de Control de Calidad del Proyecto Mejoramiento de Yuca. CIAT, Cali, Colombia. E-mail: t.sanchez@cgiar.org

¹ Tao Química Ltda. Empresa productora y comercializadora de ceras naturales. Teléfono: (57-4) 238 32 58. E-mail: taoquimica@epm.net.co. Medellín, Colombia.

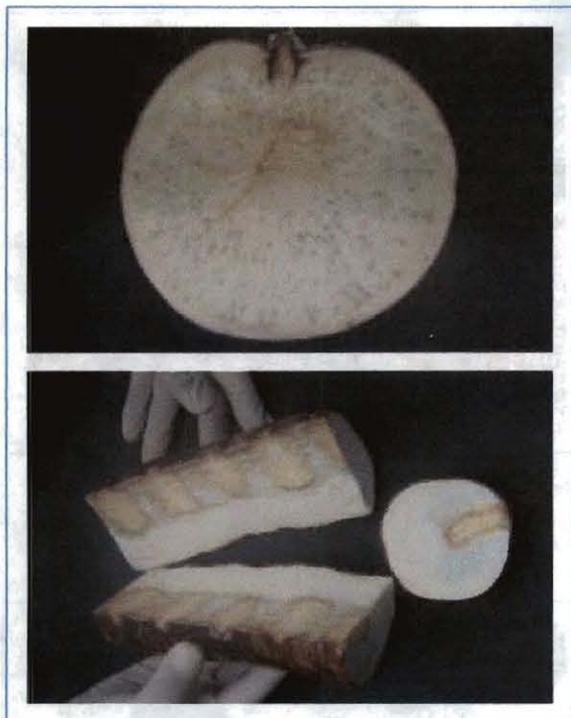


Figura 3.2. Deterioro fisiológico (arriba) y deterioro microbiano (abajo).

Deterioro

Se han definido dos tipos de deterioro de las raíces de yuca después de la cosecha: el fisiológico o primario y el microbiano o secundario^{2, 3}.

Deterioro fisiológico: Se presenta por la presencia de oxígeno en el parénquima, que acelera las reacciones enzimáticas y da origen a una formación de pigmentos negroazulosos, debido al incremento de la escopoletina. Se origina en las heridas causadas en el momento de la cosecha o en el transporte del producto. Los signos visibles aparecen entre las 12-48 horas después de la

cosecha. Los golpes, la exposición directa con el sol y el lavado mecánico son causas secundarias que ayudan a la formación de este deterioro.

Deterioro microbiano: Está asociado con la actividad de microorganismos patógenos presentes en la superficie de la raíz, por ambientes de humedad relativa y temperaturas altas. Se presenta en las heridas que están afectadas por el deterioro fisiológico, debido a que se estimula el crecimiento de hongos y bacterias. Posteriormente, se convierte en una pudrición húmeda con fermentación y maceración de los tejidos; esto se puede observar del quinto al séptimo día después de la cosecha.

3.2 Encerado

Es un proceso que consiste en cubrir las raíces de yuca con una cera natural, inmediatamente después de ser cosechadas para prevenir su rápido deterioro y prolongar su vida útil. Es importante tener en cuenta las condiciones ambientales de cada región del país en las que se va a realizar el proceso de encerado, ya que éstas difieren en cada lugar por temperatura, ambiente y humedad relativa, lo que afecta el tiempo de secado de las cera después de su aplicación.

Para el desarrollo de este proceso se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

Cosecha de raíces

Para mantener la calidad del producto es necesario realizar unas buenas labores como:

- Remover el terreno con herramientas alrededor de las raíces sin causarles heridas y luego se hala del tallo para extraerlas.
- Seleccionar raíces que cumplan con requisitos de tamaño (20 – 40 cm), bien desarrolladas, raíces enteras sin ningún tipo de herida.
- Con un machete o tijera de poda separar la raíz del tallo (tocón) dejando aproximadamente entre 2 y 3 cm de pedúnculo.

² Boot RH; Coursey DG. 1974. Storage of cassava roots and related post-harvest problems. En: Cassava processing and storage: Proceedings of an interdisciplinary workshop, Pathaya, Tailandia, 1974. International Development Research Centre (IDRC), Bangkok, Tailandia. p. 43-49

³ Richard JE. 1981. Study of the production of xylem occlusions and scopoletin in cassava roots in response to injury. Proceedings of the Royal Mycological Society 16(4):294

- Evitar golpear las raíces o tirarlas bruscamente contra el suelo o recipiente de almacenamiento.
- No exponer las raíces directamente a rayos solares durante periodos prolongados de tiempo.
- Trasladar las raíces seleccionadas en el menor tiempo posible al lugar del proceso, haciendo uso de canastillas o de guacales.

Selección

Antes y después de lavar las raíces, se deben seleccionar raíces de categoría extra, que deben ser de calidad superior, carecer de defectos, tener una forma definida, que estén enteras, sin golpes o magulladuras, libres de plagas y enfermedades. Además de cumplir con los requisitos de tamaño y forma, la yuca se debe clasificar según el calibre, que se determina por el diámetro de las raíces (medido en su sección más ancha).

Código calibre	Diámetro (cm)
A	4.0 - 6.0
B	6.1 - 8.0
C	>8

Para todos los calibres se permiten yucas entre 300 y 900 gramos de peso (reglamentación técnica empleada en calidad de yuca fresca, Costa Rica)

Poda de raíces secundarias

Es importante realizar una poda de raíces secundarias para dar una mejor presentación al producto y facilitar el proceso de encerado.

Lavado

Para el lavado de las raíces se recomienda utilizar tanques de fibra de vidrio o canecas plásticas. Se debe emplear agua potable; las raíces seleccionadas se sumergen y se frotran con una espuma de poliuretano (comercial amarilla) para eliminar todo tipo de material extraño. Luego, se deben enjuagar con agua limpia (Figura 3.4).



Figura 3.3. Selección de raíces.



Figura 3.4. Lavado de raíces.



Figura 3.5. Secado de raíces.



Figura 3.6. Encerado de raíces frescas.



Figura 3.7. Secado después de aplicarse la cera.

Secado

Esta etapa se debe realizar bajo techo en un lugar fresco y libre de humedad. Las raíces se colocan sobre una superficie de madera o estante con malla que permita airear el producto y facilitar su secado (finaliza cuando la superficie de la raíz está completamente seca, no se debe encerar la yuca mojada). Es conveniente agilizar el proceso empleando ventiladores o turbinas con aire ambiente (Figura 3.5)

Encerado

Existen diferentes métodos para aplicar la cera: inmersión, frotación y aspersion. El más recomendado hasta el momento es la frotación manual, ya que se logra controlar el grosor de la película de cera; además, se evitan pérdidas del producto y se logra obtener un mayor rendimiento y calidad del producto final.

Cuadro 3.1. Costos de encerado de yuca fresca (CLAYUCA, 2004)

Ítem	Costos (\$Col)		
	Por kg	Por mes	Por año
Materia prima	405	7.572.400	90.868.800
Personal	105,45	1.532.000	18.384.000
Inversión en equipos	178	150.877	1.810.518
Insumos	35,11	656.500	7.878.000
Total costos operativos	582,50	9.911.777	118.941.318
Transporte	47	800.000	9.600.000
Gastos activos (10%)	58	991.178	11.894.132
Total costos	688	11.702.954	140.435.450
Utilidad	688	11.702.954	140.435.450
Costo por kg	688	11.702.954	140.435.450
Precio de venta	1.200	20.400.000	244.800.000

La cera se aplica pura sin diluirla, se realiza a temperatura ambiente con guantes de plástico, vaciándola en un recipiente plástico y untando los extremos de la raíz. Luego, por frotación manual, se esparce sobre toda la superficie evitando dejar espacios libres (Figura 3.6)

Secado de la cera

Después de encerar las raíces, se dejan secar aproximadamente de 10 a 20 minutos en un sitio bajo sombra a temperatura ambiente (no se debe almacenar si la cera no se ha secado). Se puede acelerar el proceso utilizando ventiladores o turbinas de aire.

Almacenamiento

Una vez están completamente secas las raíces, se procede a almacenar en canastillas

plásticas o guacales de madera y/o cajas de cartón de madera en cantidades no superiores a 20 kg. Se debe evitar apilar demasiadas yucas por empaque para que no se presenten heridas por fricción. El almacenamiento se puede realizar en bodegas ventiladas y/o cuartos fríos. Las raíces bien enceradas se pueden conservar por más de 20 días sin cambiar sus propiedades sensoriales (Figura 3.7)

3.3 Impacto ambiental

Utilizar cera natural para la conservación de raíces de yuca no genera contaminación, ya que es un producto soluble en agua, que no deja residuos como otros productos.

Costos (COP)

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
...
...
...
...
...
Total costos operativos			...
...
...
Total costos			...