

Estudio de una nueva técnica e implementación de una línea piloto de proceso para la obtención de dextrinas a partir de almidón de yuca

Studying a new technique and implementing a pilot-line process for obtaining dextrans from cassava starch

Johanna Aristizábal Galvis,¹ Fabián Leonardo Moreno² y Gustavo Basto Ospina³

RESUMEN

El estudio propone y desarrolla una nueva técnica para la producción de dextrinas por vía seca, consistente en la conversión en lecho fijo de *pelets* de almidón de yuca, la cual resulta ser de mayor aplicabilidad en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales para la agroindustria rural colombiana, particularmente de las llamadas rallanderías, en comparación con las tecnologías disponibles actualmente para la producción de dextrinas. El proceso propuesto es prácticamente limpio y con bajos requerimientos de inversión al permitir utilizar directamente la torta húmeda de almidón sin necesidad de costosas instalaciones de presecado, elimina la generación de polvos y permite obtener un producto de fácil manejo y empaque. Se compararon diferentes tecnologías de dextrinización y se implementó una línea piloto, la cual incluyó las unidades de mezcla, granulación y secado. Se evaluaron las variables: variedad de almidón de yuca y concentración de catalizador, tipo y concentración de aglutinante, tamaño del pelet, espesor del lecho y velocidad del aire, en las etapas de mezcla, granulación y secado, respectivamente. Se determinó que usando 0,1-0,3% de HCl sobre el almidón de yuca, 1,5-3% de pasta de almidón de yuca y *pelets* de L/D=1,25, una fase de presecado a 55 °C y conversión final a 150 °C en un lecho fijo de 2 cm de espesor, con velocidad de aire de 2-3 m/s, se obtienen *pelets* de dextrina con baja friabilidad (13%), alta fuerza de ruptura (1,3 kg-f), alta solubilidad (90-100%) y baja fluidez (50-70 s). Con la dextrina obtenida se elaboró un adhesivo para cerrado de cajas de cartón de mayor pegajosidad, fuerza adhesiva y estabilidad, comparadas con un adhesivo de dextrina de maíz, por lo que la nueva técnica de obtención de dextrinas constituye una buena opción tecnológica para agregar valor a la producción yuquera en Colombia a nivel de pequeñas rallanderías.

Palabras clave: dextrinas, yuca, almidón, dextrinización, peletización, secador de lecho fijo

ABSTRACT

This study proposes and develops a new technique for dry-route dextrin production consisting of converting cassava starch pellets on a fixed-bed dryer; this technique is more applicable to rural Colombian agro-business in technical, economic, social and environmental terms, particularly to so-called "rallanderías" compared to currently available dextrin production technology. The proposed process is practically clean, requires low investment, allows humid starch-cake to be directly used without the need for expensive pre-drying equipment, eliminates large quantities of dust being produced thereby leading to an easily-handled and packaged product being obtained. Different dextrinisation technologies were compared; a pilot-line was implemented which included blending, granulation and drying units. The variables evaluated were cassava-starch variety, catalyst concentration and agglutinant type and concentration; pellet-size, bed-thickness and air-speed were also evaluated during blending, granulation and drying stages, respectively. It was determined that using 0.1-0.3% HCl on cassava starch, 1.5-3% cassava starch paste, L/D=1.25 pellets, a 55°C pre-drying phase and 150°C final conversion on 2 cm thickness fixed-bed dryer at 2-3 m/s air speed led to obtaining low friability (13%), high rupture force (1.3 kg-f), high solubility (90-100%) and low fluidity (50-70 s) dextrin pellets. An adhesive was then obtained from the dextrin resulting from the process described above for sealing cardboard-boxes and cartons having greater stickiness, tensile strength and stability compared to corn dextrin adhesive, suggesting that the proposed new cassava dextrin production technique constitutes a good technological option for adding value to Colombian cassava production at small "rallandería" level.

Keywords: dextrin, cassava, starch, dextrinisation, pelletisation, fixed-bed dryer.

Recibido: septiembre 14 de 2006

Aceptado: junio 7 de 2007

¹ Ingeniera química. Asistente de Investigación, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CLAYUCA, Palmira (Valle), Colombia. jaristizabal@mailworks.org

² Ingeniero químico. Estudiante M. Sc., Ingeniería Agrícola. Investigador, Grupo Agrospectiva, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. flmorenom@unal.edu.co

³ Ingeniero químico. Administrador de empresas. M Sc., ingeniería química. Investigador, Grupo Agrospectiva, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. gbastoo@unal.edu.co

Introducción

Numerosos estudios han permitido identificar a los almidones modificados como una de las opciones tecnológicas más atractivas para promover la generación de una mayor rentabilidad en la cadena productiva de la yuca (Arenas y Márquez, 2000). La diversidad de productos obtenidos por modificación del almidón nativo, su valor comercial y sus altos volúmenes de consumo en el mercado explican el por qué de la importancia económica de este tipo de almidones. Su amplia gama de aplicaciones se deriva de las propiedades físico-químicas que posee el almidón tras su transformación por diferentes tratamientos químicos y físicos. El mercado para estos almidones abarca una amplia gama: en la industria de papel, cartón, madera enchapada, adhesivos, textiles, comidas rápidas, pasabocas, petrolera, alimenticia y farmacéutica. Los almidones modificados han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo en el uso industrial y para mejorar sus propiedades funcionales permitiendo realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez.

En el caso de las dextrinas el almidón se modifica por degradación mediante temperatura o catalizadores en un mecanismo de conversión que involucra ruptura hidrolítica, rearreglo de moléculas y repolimerización; así, se logra reducir viscosidad y aumentar su solubilidad en agua fría, permitiendo su dispersión en altas concentraciones haciendo que sus películas sean más resistentes. Particularmente, el almidón de yuca ha sido reconocido como la materia prima adecuada para la producción de dextrinas de alta calidad, *Prime Quality Dextrins* (Acton, 1976). Las dextrinas obtenidas a partir de almidón de yuca presentan soluciones de excelente claridad y estabilidad, forman películas claras y brillantes con una pegajosidad y adhesividad superior a las dextrinas de almidón de maíz.

La obtención de dextrinas puede ser realizada por vía húmeda o seca. La vía seca presenta menores costos operativos, menor carga contaminante y menor consumo de agua lo que la hace menos costosa y ambientalmente compatible por la ausencia de efluentes; estas dextrinas se conocen también como pirodextrinas. El principal sector de aplicación de las pirodextrinas en Colombia es la fabricación de adhesivos industriales, particularmente para cerrado de cajas corrugadas, fabricación de tubos de cartón, formado de sacos multipliegos y bolsas de papel y etiquetado sobre botellas de vidrio, aunque también pueden ser utilizadas en otros sectores como el de alimentos y farmacéutico, en reemplazo de las maltodextrinas, obtenidas por vía húmeda (Lyckeby, 2002). Esto puede lograrse con el uso de catalizadores, condiciones de proceso adecuadas y el diseño de equipos que permitan homogeneidad de la temperatura de la masa de almidón durante la conversión para obtener un producto aceptable en este tipo de industrias. Potencialmente las dextrinas pueden utilizarse como agentes de relleno y ligantes

de agua en la industria de embutidos, agentes de barrera ante la absorción de grasa en productos fritos y liberación de líquidos en productos preparados, encapsulantes de aroma y sabor en condimentos y confitería, sustitutos de grasa, promotores de cuerpo y estabilidad en alimentos y agentes formadores de película y de cohesividad para revestimiento de cápsulas y confitería.

En Colombia se han hecho grandes avances a través del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), reconocidos a nivel mundial, en el desarrollo agronómico de variedades de yuca de alto rendimiento para el beneficio de regiones y comunidades productoras de yuca en Colombia. Sin embargo, en tecnologías poscosecha de yuca los avances han sido pobres y desalentadores, presentándose un bajo nivel tecnológico en los procesos de extracción y modificación del almidón en las agroindustrias rurales. La incorporación de unidades de secado eficientes, de gran importancia en el proceso, requiere de altas inversiones, por lo cual constituye una de las principales limitaciones para la obtención de almidón de yuca calidad extra y, por ende, de derivados como las dextrinas a nivel de pequeñas instalaciones agroindustriales. En estas, el secado es del tipo solar en patios abiertos, por lo que se requieren grandes áreas, condiciones climáticas favorables y bastante tiempo de proceso, con el agravante de la exposición del producto a diferentes factores de contaminación.

Existen diferentes equipos utilizados para la producción de dextrinas, entre los cuales se destacan el tostador convencional, el tipo Blattman, el lecho fluidizado, el horno rotatorio, el Turbo-Dryer y el extrusor. Sin embargo, la mayoría de los procesos a nivel industrial tienen estructuras de costos poco competitivas, por la marcada incidencia de los costos de operación y financieros sobre los precios unitarios del producto obtenido y, aunque proveen dextrinas de buena calidad, sólo son justificables para altos niveles de producción. Con base en la revisión de la tecnología disponible actualmente y el análisis de los fenómenos presentes en el proceso de conversión del almidón, se concluyó que las opciones tecnológicas disponibles no son adecuadas en el corto plazo para las realidades del sector yuquero. Esto dio margen a la identificación de una oportunidad consistente en el desarrollo de tecnologías de proceso para dar soluciones adecuadas a las problemáticas identificadas buscando, en primera instancia, el diseño y construcción de una línea piloto de proceso como etapa previa a la implementación de tecnologías de proceso más acordes con las características del mercado y capacidad de inversión de este importante sector agroindustrial.

En la línea de trabajo en glucoquímica del Grupo Agropectiva de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, se han adelantado varias investigaciones tales como el establecimiento de la línea preliminar de proceso para la producción de dextrinas de yuca por vía seca, para su uso en adhesivos industriales (Aristizábal y Robles, 2001), la definición de las condiciones de proceso para la obtención

de dextrinas de yuca como sustitutos para grasas, espesantes y modificantes reológicos (Rodríguez y Zoque, 2002), y la definición de las bases para la dextrinización de almidón por la vía seca (Moreno, 2003), con base en lo cual se generó un gran interés en el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) y en Clayuca (Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca), para continuar con adelantos en este tema, lo que dio margen a la realización de un estudio conjunto con el objetivo de evaluar las condiciones de proceso para la obtención de dextrinas de yuca tendiente al diseño de unidades de conversión de almidón por vía seca e implementación de una línea piloto de proceso en una pequeña rallandería de Colombia, para ampliar y mejorar la calidad del portafolio de productos que se ofrece actualmente al mercado.

Marco teórico

Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón obtenidos por medio de altas temperaturas en presencia de catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización. En la hidrólisis se produce un rompimiento de los enlaces glucosídicos α 1-4 y probablemente algunos enlaces α 1-6. Esta reacción tiene lugar en la etapa de presecado por la acción del catalizador, la humedad y el calor. El resultado es una reducción del tamaño de la molécula, un decrecimiento en la viscosidad y un incremento en la cantidad de azúcares reductores. El catalizador ataca principalmente las regiones amorfas y luego las de alta cristalinidad, en la medida en que la reacción avanza la cristalinidad aumenta y el contenido de amilosa disminuye (Naparor *et al.*, 2002). Luego, se presenta una reubicación de las moléculas para la producción de estructuras altamente ramificadas. La recombinación de fragmentos se realiza entre los grupos hidroxilos más cercanos a la molécula fraccionada con la producción de estructuras ramificadas. El proceso es completamente aleatorio, produciéndose ramificaciones tanto por enlaces α 1-6 como por α 1-2 o α 1-4, favorecidas por el calor que se da cuando la humedad ha desaparecido. En esta etapa no se modifica el peso molecular ni la cantidad de azúcares reductores, otorgándole estabilidad a la dextrina, dado que se reduce la cantidad de moléculas lineales (Wurzburg, 1986). Finalmente, en la fase de repolimerización el número de azúcares reductores disminuye, puesto que la glucosa es capaz de polimerizar a altas temperaturas en presencia de catalizadores ácidos, formando moléculas más largas.

Las etapas generales de proceso para la producción de dextrinas por vía seca son: mezcla, maduración, presecado, tostación o conversión, enfriamiento y empaque. El ácido clorhídrico es el catalizador más usado en las conversiones a dextrinas por su actividad relativamente alta, bajo costo, volatilidad y disponibilidad (Kennedy y Fischer, 1984). Sólo trazas de ácido pueden ser usadas (0,05% a 0,5%) ya que cantidades mayores, aunque fomentan una dextrinización más rápida aun a bajas temperaturas, producen aumento en

la formación de azúcares e intensidad en el color. La etapa de mezcla es de particular importancia porque el catalizador debe ser distribuido completamente sobre los gránulos de almidón y así lograr una buena penetración; de lo contrario se presentarán problemas de carbonización de las partículas de almidón. El ácido requiere estar suficientemente diluido, dado que la velocidad de difusión dentro del gránulo es directamente proporcional al contenido de agua del almidón (Radley, 1954). La etapa de maduración es opcional, y se refiere al almacenamiento del almidón una vez adicionado el catalizador; sin embargo, una eficiente mezcla garantiza una buena difusión. El presecado a una temperatura entre 50-60 °C antes de la conversión, es necesario, ya que el alto contenido de humedad en el almidón a bajos niveles de pH promueve escisión hidrolítica y la consecuente formación de azúcares, suprimiendo las reacciones de condensación, las cuales usualmente se dan sólo si el contenido de humedad del almidón es inferior a 3% (Kennedy y Fischer, 1984). La etapa de tostación o conversión se lleva a cabo a una temperatura entre 120-150 °C, pero estudios realizados demostraron que a 150 °C la velocidad de reacción es más rápida (Aristizábal y Robles, 2001). Así mismo, una eficiente ventilación es necesaria para lograr una rápida remoción de la humedad y de los vapores formados durante la dextrinización. Finalizada la conversión, la acción del catalizador es detenida por medio de un rápido y completo enfriamiento. La dextrina es molida, tamizada y almacenada hasta que alcance la humedad de equilibrio con el ambiente, esto para evitar la formación de espuma cuando la dextrina es cocinada con agua durante la elaboración del adhesivo, hecho que es debido a los gases adsorbidos en la etapa de tostación (Acton, 1976).

Unidades de dextrinización

La información técnica disponible en la literatura permitió identificar diferentes unidades utilizadas para llevar a cabo la dextrinización por vía seca a nivel industrial. Sus principales características son:

Tostador convencional

Unidad horizontal de superficie raspada provista de calentamiento indirecto de la masa de almidón con vapor, baño de aceite, gases de combustión o aire caliente a través de serpentines (Rowe y Hagen, 1943). Sus principales desventajas son la mala ventilación, falta de uniformidad de la temperatura en toda la masa, la baja tasa de transferencia de calor por unidad de superficie y la difícil evacuación de vapores, lo que ocasiona aumento de reacciones hidrolíticas.

Equipo Blattman

Autoclave de forma cilíndrica y horizontal con camisa de calefacción y un mecanismo de agitación en el cual se realizan todas las operaciones de proceso: acidificación, presecado, tostación y enfriamiento. La operación se efectúa en condiciones de vacío o bajo una atmósfera no oxidante, lo cual evita fenómenos limitantes como oxidación, colora-

ción u otros (Staerke y Meier, 1955). La versatilidad es su principal ventaja; sin embargo, el control de variables es el factor limitante.

Lecho fluidizado

Equipo tipo ciclón, en el cual un flujo de aire mantiene el almidón en condición fluidizada. Posee una alta tasa de transferencia de calor, por lo cual los tiempos de proceso son más cortos en comparación con las otras tecnologías. Se precisa tomar precauciones para evitar riesgos de explosión por el manejo de partículas finas a altas temperaturas (Fredrickson, 1958). Sus principales desventajas son el alto consumo de energía y la generación de polvos, requiriendo ciclones de separación. Es un equipo que requiere alta inversión, justificable sólo para grandes producciones.

Horno rotatorio

En esta unidad se convierte en forma continua almidón previamente secado con aire caliente en unidades del tipo rotatorio, dispuestas en serie, utilizándose vacío para facilitar la evacuación de vapores a bajas temperaturas (Taylor y Hay, 1970). Dentro de las principales desventajas se encuentran sus altos costos operativos y el requerimiento de ciclones recolectores de polvos y filtros para evitar el arrastre del almidón.

Turbo-Dryer

Cilindro horizontal con una chaqueta de calefacción. El material húmedo es alimentado junto con un flujo de aire caliente, en donde un turboagitador mantiene el material centrifugado contra las paredes. El calentamiento del material se logra por convección y conducción, y la separación de las partículas secas se realiza mediante un sistema de ciclones (Corrado, 1996). Es un equipo multipropósito que debe poseer un eficiente sistema de control sobre las variables de proceso. Es adecuado para productos especializados y de altas producciones, como los de tipo farmacéutico o alimenticio.

Extrusor

Unidad para la modificación física de almidones por efecto de altas presiones y temperaturas (Dudacek *et al.*, 1996). Dados los bajos niveles de humedad que maneja, requiere de una alta potencia en el motor del extrusor, lo que incrementa significativamente los costos operativos.

Unidad propuesta para dextrinización de almidón

La propuesta corresponde a un desarrollo del secador de bandejas con circulación de aire transversal, logrando ventajas comparativas de orden técnico y económico en relación con la oferta actual de unidades comerciales para la conversión de almidones. Con el fin de lograr un incremento sustancial en la transferencia de calor a bajo costo operativo, factor limitante para la utilización a pequeña escala de las unidades disponibles en el mercado, se recurrió a la técnica de preformado del almidón en tamaños de partícula de

forma que haga viable la utilización de flujo transversal de aire a velocidades tales que se logre acelerar la operación de secado y la posterior conversión. La alternativa propuesta corresponde a la opción técnica, según los criterios de selección más adecuada para adelantar en la misma unidad el secado y la dextrinización de almidón en forma secuencial, según las capacidades de procesamiento de una agroindustria de extracción de almidón típica. El almidón extraído, luego de la etapa de sedimentación, posee alta humedad (45%), nivel que se encontró adecuado para llevar a cabo la granulación por compactación húmeda, mediante un extrusor con una placa perforada, para la obtención de pelets de tamaño homogéneo. La granulación obtenida reduce significativamente la formación de polvos, incrementa la porosidad del lecho, reduce fuerzas de adherencia, aumenta la seguridad operativa y la facilidad de manipulación. Mediante el ajuste de las condiciones de extrusión, es posible obtener pelets con buenas propiedades mecánicas para facilitar su manipulación durante el proceso.

Para la escogencia de la técnica y la unidad de procesamiento más conveniente para la producción de dextrinas se utilizó el método de selección de tecnología de decisión multicriterio Ntech-GDSSs (Noori, 1995), que considera factores cualitativos, cuantitativos y subjetivos. Para los propósitos se procedió al análisis de la información tecnológica existente sobre unidades de dextrinización y a la opinión de expertos en el tema. El proceso incluyó el *análisis de criterios de decisión*, en donde se estudiaron aspectos técnicos, operativos, económicos, ambientales y de calidad del producto final. Se definieron los criterios de evaluación asignando un peso relativo (1%-100%) de acuerdo con su importancia. Estos fueron determinados por medio de un análisis de variables relevantes tales como: capacidad de producción, tipo de proceso (continuo o lotes), número de equipos, costo de equipos de proceso y auxiliares, consumo de energía, calidad del producto final, facilidad de operación y control, flexibilidad del proceso, tiempo de proceso, impacto ambiental, facilidad de mantenimiento. Las unidades de procesamiento evaluadas fueron: el tostador convencional, el tipo Blattman, el lecho fluidizado, el horno rotatorio, el Turbo-Dryer, el extrusor y el secador de lecho fijo. Posteriormente, se realizó un *análisis de las tecnologías disponibles* calificando el desempeño de cada una de estas [1 (peor) - 10 (mejor)] frente a los criterios de evaluación seleccionados, obteniendo como resultado la calificación final para cada unidad de proceso considerada, así: tostador convencional: 5,2, equipo Blattman: 5,5, lecho fluidizado: 6,6, horno rotatorio: 5,4, Turbo-Dryer: 6,6, extrusor: 5,9, secador de lecho fijo: 7,5. Así, la unidad de procesamiento que mayor puntaje obtuvo, en este caso, fue el secador de lecho fijo (Aristizábal, 2004).

Desarrollo experimental

La fase experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad de Yuca del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Cali, Colombia) y en la Planta Piloto del Laboratorio de

Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Los ensayos definidos en cada etapa del proceso y el análisis de las variables de respuesta se realizaron por triplicado para garantizar confiabilidad en los datos.

Definición de variables y niveles

La definición de las variables y niveles se hizo para las tres etapas de la línea piloto: mezcla, secado y dextrinización.

La operación de mezclado del catalizador y el almidón se efectuó en una mezcladora marca Hobart, durante 15 min, hasta garantizar una completa homogeneización de los componentes y evitar problemas de carbonización de las partículas de almidón por acumulaciones de catalizador; la granulación se desarrolló en un equipo extrusor diseñado y construido para la formación de pelets y el secado se operó en un secador de bandejas perforadas, con circulación de aire en flujo transversal a temperaturas de 55 °C para el pre-secado y 150 °C para la tostación o conversión, parámetros definidos de acuerdo a referentes anteriores (Aristizábal y Robles, 2001).

Etapas de mezcla

En esta etapa se definieron como variables la *variedad de almidón de yuca* y la *concentración de catalizador*. Dado que las propiedades del almidón dependen de la variedad, para evaluar el efecto de este sobre la conversión a dextrinas se seleccionaron nueve variedades de yuca de las zonas de adaptación más importantes y en las que se han realizado el mayor número de pruebas regionales en Colombia: Llanos, Costa Atlántica y valles interandinos. Se escogieron variedades de yuca comerciales, de alto rendimiento promedio de raíces y materia seca y con diferentes contenidos de amilosa, dentro de rangos bajo-intermedio-alto, con el objeto de determinar su efecto en la conversión a dextrinas. Estas fueron: CM 6740-7, CM 523-7, MCOL 2737, MCOL 2215, MTAI 8, MVEN 25, HMC-1, MPER 183, MBRA 383. El almidón se obtuvo utilizando la técnica de extracción de las llamadas "rallanderías", la cual comprendió las etapas de lavado, rallado, filtración y sedimentación. La torta de almidón fue la materia prima para el proceso de dextrinización de secado en lecho fijo. En el lavado se eliminan la tierra, las impurezas y la cascarrilla adheridas a las raíces de yuca; en el rallado se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces, etapa de cuya eficiencia depende, en gran parte, el rendimiento total del proceso de extracción. Luego, en la etapa de filtración se acomete la separación del afrecho de la lechada de almidón y esta última es conducida a tanques o canales donde el almidón es sedimentado. Al final de esta etapa se obtienen tres capas en los canales: en la inferior el almidón, en la intermedia la denominada mancha (subproducto proteico) y en la superior el agua sobrenadante. Se definieron tres niveles para la concentración del catalizador, así: 0,1%, 0,2% y 0,3%, usando HCl por ser el ácido comúnmente utilizado.

Etapas de granulación

Las variables en esta etapa fueron *tipo* y *concentración de aglutinante*. De acuerdo a diferentes referencias (Ávila y Agudelo, 1983; Kadam, 1991), la selección del aglutinante y dosificación con respecto al almidón seco fue: pasta de almidón (0,5%-3%), y almidón pregelatinizado y dextrina (1,5%).

Etapas de secado

Para esta etapa se definieron como variables el *tamaño del pelet*, el *espesor del lecho* y la *velocidad del aire*. Se utilizó un diámetro constante de *pelet*: $D = 0,4$ cm y dos longitudes: $L = 0,5$ y 1 cm. La humedad de la mezcla (almidón-catalizador-aglutinante) empleada para la formación de los pelets fue de 45%. El espesor del lecho se varió entre $Z = 2$ y 4 cm. La velocidad de aire se varió entre 1-5 m/s para simular el flux de secado y la caída de presión, valiéndonos del tamaño de *pelet* y el espesor de lecho encontrados como más adecuados para el secado.

Elaboración de adhesivo de dextrina

Con los *pelets* de dextrina obtenidos se elaboró un adhesivo para cerrado de cajas de cartón, compuesto por: dextrina 30%, bórax 2,7%, NaOH 0,3%, antiespumante 0,3%, biocida 0,1% y agua 67%.

Métodos analíticos

En la etapa de mezcla las variables de respuesta se evaluaron por medio de análisis de *poder viscosante* y *solubilidad en agua fría*, propiedades funcionales más importantes de las dextrinas ya que son las que presentan el cambio más notorio durante la conversión. El poder viscosante se determinó mediante el ensayo Scott de la consistencia de la pasta, en donde se usó un viscosímetro de capilar, de vidrio enchaquetado, el cual fue patronado convenientemente para su manejo con solución de sacarosa y en donde se determina el tiempo de caída (s) de una solución de dextrina (20% p/p) entre dos aforos que posee el viscosímetro. La solubilidad en agua fría se determinó por refractometría, como porcentaje de sólidos solubles en una solución de dextrina (20% p/p).

En la etapa de granulación las variables de respuesta se evaluaron por medio de análisis de *friabilidad* y *fuerza de ruptura*. La friabilidad es la medida de la susceptibilidad al desgaste presentada por los pelets debido a fuerzas destructivas o de manipulación, determinándose por medio de un friabilador Erweca Apparatebau GMBH TA3, equipo que consta de un recipiente cilíndrico que gira a 24 rpm y que provoca en la muestra una caída de 15 cm. El equipo ocasiona fricción entre pelets y de los pelets contra las paredes del recipiente. La friabilidad se registra como el porcentaje de pelets que se destruyen en el ensayo. La fuerza de ruptura, entendida como la resistencia a la compresión inconfina da de un pelet bajo condiciones inalteradas aplicando carga axial, se estableció por medio de una prensa para ruptura, marca Soiltest Chicago, cuyo dispositivo de medida de la

fuerza aplicada fue un anillo 7827, el pelet se colocó entre las placas y se accionó el motor a una velocidad constante, precisándose la lectura máxima del deformímetro a la cual se logra la ruptura del pelet.

En la etapa de secado las variables de respuesta se midieron por medio de análisis del *tiempo de secado* y la *velocidad de secado*. Se delimitó el tiempo de secado, en la etapa de presecado, para los cuatro ensayos propuestos: $Z = 2$ cm con $L = 0,5$ y 1 cm, y $Z = 4$ cm con $L = 0,5$ y 1 cm. La velocidad lineal del aire es un parámetro que indica tanto la velocidad de secado como la potencia requerida para la ventilación; así, un incremento de esta mejora el secado pero aumenta costos operativos. El tamaño de pelet, el espesor de lecho y la velocidad lineal de aire influyen sobre la productividad de un secador de aire de lecho fijo, por ello se simuló el flux de secado y la caída de presión para diferentes velocidades de aire.

Los análisis para la caracterización del adhesivo de dextrina de yuca y el equipo de medida utilizado fueron: porcentaje de sólidos (refractómetro), pH (pHmetro), viscosidad (Brookfield), color y olor en húmedo, apariencia de la película (cualitativamente), fuerza adhesiva (porcentaje de papel desgarrado en una junta unida con el adhesivo), *tack* (formación de hilos) y estabilidad (almacenamiento a T_{amb} por 24 h y comparación con viscosidad inicial). Estas propiedades se compararon con las de un adhesivo de dextrina de maíz comercial destinado para la misma aplicación.

Resultados y discusión

Poder viscosante y solubilidad en agua fría

En las Figuras 1 y 2 se presentan la relación entre el poder viscosante y la solubilidad en agua fría, respectivamente, y la variedad de almidón de yuca con diferentes contenidos de amilosa para las tres concentraciones de catalizador.

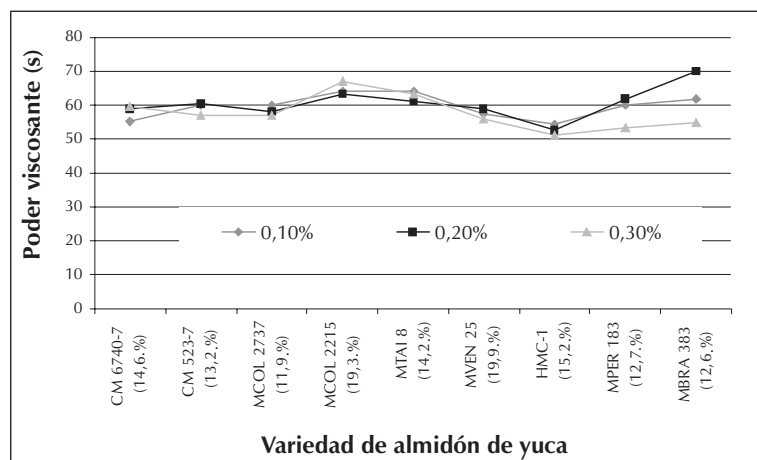


Figura 1. Poder viscosante para diferentes concentraciones de catalizador

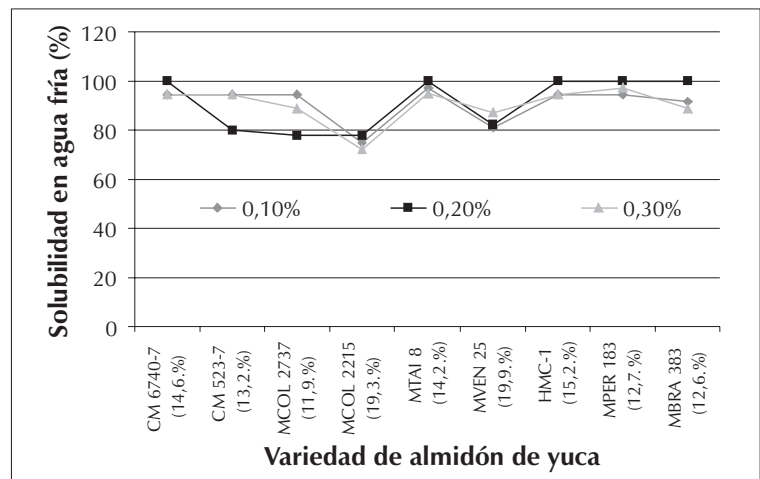


Figura 2. Solubilidad en agua fría para diferentes concentraciones de catalizador

Los resultados muestran que, para las variedades de almidón de yuca estudiadas y las condiciones seleccionadas para la dextrinización, niveles de ácido superiores a 0,1% no tienen un efecto significativo sobre las propiedades evaluadas, por lo cual es posible usar concentración de 0,1% para evitar exceso de catalizador. Las variedades MCOL 2215 y MVEN 25, con los más altos niveles de amilosa, contienen los valores más bajos de solubilidad en agua fría. Todas las dextrinas obtenidas tuvieron un descenso drástico en la viscosidad, ubicándose en el rango 50-70 segundos para los diferentes niveles en la concentración del ácido.

Friabilidad y fuerza de ruptura

La Tabla 1 exhibe la friabilidad y la fuerza de ruptura de los *pelets* de dextrina para diferentes concentraciones de aglutinantes en las etapas de presecado y tostación. El aglutinante que mejores resultados arroja en cuanto a baja friabilidad, es la pasta de almidón. Comparando la friabilidad a una misma concentración de 1,5%, para los tres aglutinantes, se observa que en todos los casos esta aumenta luego de la etapa de tostación, por el efecto del aumento de la temperatura. Para el caso de la pasta de almidón, a medida que la concentración de aglutinante aumenta la friabilidad disminuye para la etapa de tostación, siendo la concentración de 3% la más aceptable debido a sus valores de friabilidad bajos tanto en la etapa de secado como en la tostación.

Con respecto al tamaño de los *pellets* se observó que la friabilidad disminuye para *pellets* de mayor tamaño, mientras que los valores de fuerza de ruptura son similares en todos los casos. En general, entre más concentración de aglutinante, mayor es la fuerza de ruptura, notándose una diferencia decimal entre los valores. El usar aglutinante en exceso (ej: 5%) torna el *pelet* demasiado fuerte, por lo cual puede verse afectada la solubilidad en agua de la dextrina.

Tabla 1. Friabilidad y fuerza de ruptura de pelets en función del tipo y concentración de aglutinante

Etapa	Tipo de aglutinante	Concentración (%)	Friabilidad (%)	Fuerza de ruptura (g-f)
Presecado	Pasta de almidón	0	30,7	1.303,87
Presecado	Pasta de almidón	0,5	12,0	1.303,96
Presecado	Pasta de almidón	1,5	13,0	1.303,96
Tostación	Pasta de almidón	1,5	73,7	1.303,87
Presecado	Pasta de almidón	3	13,3	1.303,96
Tostación	Pasta de almidón	3	35,5	1.303,88
Presecado	Alm. pregelatinizado	1,5	37,0	1.303,91
Tostación	Alm. pregelatinizado	1,5	60,3	1.303,84
Presecado	Dextrina	1,5	73,7	1.303,86
Tostación	Dextrina	1,5	86,7	1.303,82

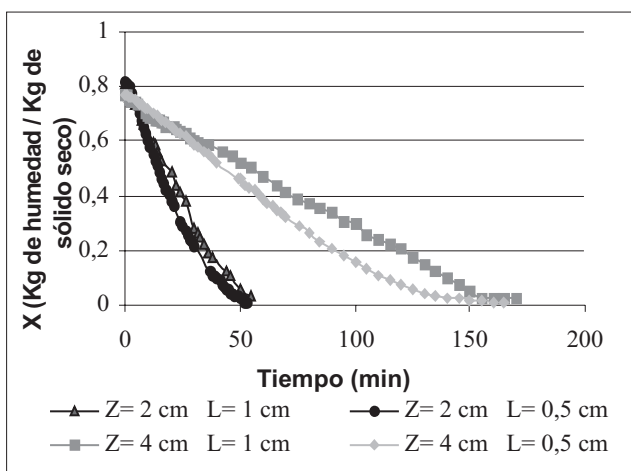


Figura 3. Curvas de secado para diferentes tamaños de pelet (L) y espesores de lecho (Z)

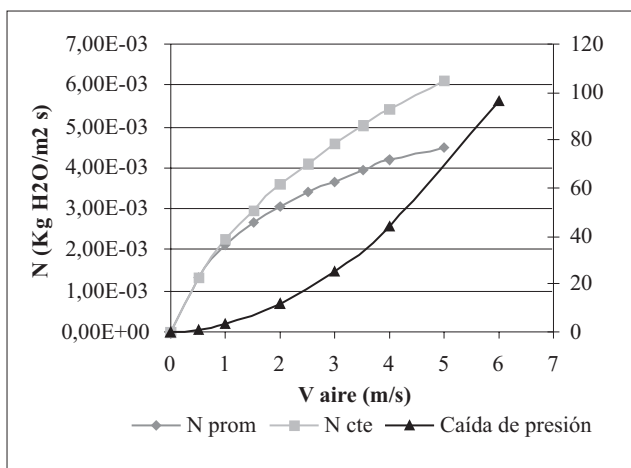


Figura 4. Flux de secado (N) y caída de presión a diferentes velocidades de aire

Velocidad de secado

La Figura 3 muestra las curvas de secado para los diferentes tamaños de *pelet* y espesores de lecho definidos. En las curvas de la Figura 4 se representa el *flux* de secado y la caída de presión en función de la velocidad del aire. El tiempo de secado decrece aproximadamente un 50% cuando se duplica el espesor del lecho. Así, el secado es más rápido utilizando 2 cm de espesor de lecho y una longitud de pelet

de 0,5 cm, siendo la relación L/D = 1,25. Si se utilizara una relación L/D= 1 el valor de la esfericidad disminuye, decreciendo también la porosidad del lecho y dando como resultado una menor velocidad de secado, por ello se recomienda mantener la relación L/D = 1,25 para el secado en lecho fijo.

A partir de velocidades lineales de 2-3 m/s, la tasa de crecimiento de la velocidad de secado disminuye, aumentando la caída de presión; por consiguiente, la velocidad del aire en el secador de lecho fijo debe situarse en un nivel entre 2-3 m/s para lograr altas velocidades de secado pero sin incurrir en excesivos consumos de potencia.

Caracterización de adhesivo de dextrina de yuca

La Tabla 2 muestra la comparación de los análisis realizados a los adhesivos de dextrina de yuca y de maíz.

Se observa que los adhesivos de dextrina de yuca tienen excelente pegajosidad, fuerza adhesiva y estabilidad, su película es clara y brillante, características superiores comparadas con las de los adhesivos de dextrinas de maíz, cuyas películas son opacas, con un brillo imperfecto y menos estables en almacenamiento.

Tabla 2. Caracterización comparativa de adhesivos de dextrina de yuca y maíz para el cerrado de cajas de cartón

Análisis	Adhesivo dextrina de yuca	Adhesivo dextrina de maíz
% Sólidos	30,0	35,5
pH	9,3	9,5
Viscosidad cP S28/10 25 °C	4.500	7.000
Color	Marrón oscuro	Marrón claro
Olor en húmedo	No perceptible	Característico
Apariencia de la película	Transparente y brillante	Opaco
Fuerza adhesiva	Mayor	Menor
Pegajosidad (Tack)	Excelente	Buena
Estabilidad	Más estable	Menos estable

Conclusiones

Fue posible establecer las condiciones necesarias para, por medio de una operación de granulación, secado y conversión en lecho fijo, obtener pelets de dextrina con buenas propiedades mecánicas y funcionales como: baja friabilidad y viscosidad y alta fuerza de ruptura y solubilidad en agua, por lo cual se propone una innovación tecnológica para las operaciones de dextrinización por vía seca.

La operación de secado en lecho fijo no solo es aplicable para la obtención de dextrinas sino también para la de otros productos derivados del almidón, siendo una alternativa económica, de fácil implementación y operación, con lo cual se presenta una solución flexible y adaptable al problema de secado existente en la industria nacional de extracción de

almidón, con reducción sustancial de los tiempos de secado y mejoramiento de las condiciones de procesamiento.

Las dextrinas obtenidas mediante la conversión en lecho fijo presentaron propiedades funcionales comparables o superiores a las comerciales, comprobándose así la efectividad de esta operación y de la innovación propuesta.

La presentación final de la dextrina en forma de pellets facilita su manipulación, empaque y transporte, sin alterar sus propiedades, en comparación con las dextrinas en polvo; reduciendo además las dificultades de procesamiento de polvos, reflejadas en las pérdidas de material en la planta y contaminación.

La evaluación de los adhesivos obtenidos con base en dextrinas de yuca permite resaltar sus características superiores en relación con los adhesivos a partir de dextrina de maíz, factor de importancia particular para incursionar en forma competitiva en el mercado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, al Centro Internacional de Agricultura Tropical, al Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca, y a la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por la financiación y apoyo en el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, al Laboratorio de Calidad de Yuca, de CIAT, y a los Laboratorios de los Departamentos de Ingeniería Química, Mecánica y Farmacia, de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, donde se llevó a cabo la fase experimental.

Bibliografía

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

Arenas, U. y Márquez, D., Opciones y requerimientos tecnológicos para la producción de almidones modificados de yuca en aplicaciones industriales para el entorno colombiano., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional de Colombia, para optar al grado de Ingeniero Químico, Bogotá, 2000, pp. 10-12, 48-69.

Aristizábal, J., 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, 2004, pp. 115.

Aristizábal, J. y Robles, S., Estudio de la dextrinización del almidón de yuca por vía seca., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional de Colombia, para optar al grado de Ingeniero Químico, Bogotá, 2001, pp. 125.

Ávila, M. y Agudelo, V., Estudio comparativo de excipientes empleados en la formulación de formas farmacéuticas sólidas, Parte IV, Granulación por vía húmeda de mezclas de almidón y lactosa., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional de Colombia, para optar al grado de Químico Farmacéutico, Bogotá, 1983.

Corrado, V., A method of modifying starch., Milano, EP 710.670, August 5, 1996.

Dudacek, W., Engels, J. A., Giesfeldt, J. E. D. and Vital, G., Starch products having hot or cold water dispersibility and hot or cold swelling viscosity, Bedford, US Patent 6.001.408, December 14, 1999.

Fredrickson, R., Dextrinization process., Decatur, US Patent 2.845.368, July 29, 1958.

Kadam, K., Granulation Technology for Bioproducts., CRC Press, Boca Raton, 1991.

Kennedy, H. and Fischer, A., Starch and Dextrins in prepared Adhesives., En, Whistler, R., Bemiller, J. y Paschall, E., Starch: Chemistry and Technology, 2 ed, Orlando (Florida), Academic Press, 1984, pp. 593-610.

Lyckeby Amylex., Dextrins [on line]., Horazdovice, República Checa, Lyckeby Amylex, 2002, [citado en 2004-15-04], Disponible en internet, <http://www.lyckeby.cz/english/produkty/dextriny.htm>

Moreno, L., Bases para el diseño de una unidad de dextrinización de almidón por la vía seca., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional de Colombia, para optar al grado de Ingeniero Químico, Bogotá, 2003, pp. 53-73.

Naparor, A., Sujin, S. and Saiyauit, V., Morphological properties of acid-modified Tapioca starch., En, Starch/Starke, Germany, Vol. 52, 2000, pp. 376-384.

Noori, H., The design of an integrated group decision support system for technology assessment., Research & Development Management, Vol. 25, No. 3, 1995, pp. 309-322.

Radley, J., Starch and Its Derivatives., New York, John Wiley & Sons, 1954, pp. 107-125.

Rodríguez, C. y Zoque, M., Estudio de la obtención de dextrinas para alimentos por ruta seca., Trabajo de grado presentado a la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, para optar al grado de Ingeniero Químico, 2002, pp. 47-80.

Rowe, W., and Hagen, C., Dextrine Cooker., Chicago, US Patent 2.332.345, Octubre 19, 1943.

Staerkle, M. and Meier, E., Production of starch conversion products., Waedenswil, US Patent 2.698.818, January 4, 1955.

Taylor, G. and Hay, J., Method of modifying starch., Maine, US Patent 3.527.606, September 8, 1970.

Wurzburg, O., Modified Starches: Properties and Uses., Boca Raton, CRC Press, 1986, pp. 4-10, 29-40, 254-256.