

SB  
211  
.e3  
9757

**Estudio de la viabilidad técnica y económica de la producción de dextrinas a partir de yuca utilizando tecnologías de vía seca**

**Proyecto realizado por**

**Johanna Alejandra Aristizábal Galvis**



**Consortio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la yuca (CLAYUCA) - CIAT**



**Con el apoyo de**

**Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
Convenio 077**

**Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá**



*Ministerio de Agricultura y  
Desarrollo Rural*



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA**

**Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)  
Palmira, Valle (Colombia)  
Febrero de 2004**



**UNIDAD DE INFORMACION Y  
DOCUMENTACION**

**18 MAR. 2004**

220476

## RECONOCIMIENTOS A

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación de este proyecto.

La Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por el apoyo en infraestructura de laboratorios en la fase inicial del proyecto y por la asesoría por parte del departamento de Ingeniería Química.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical, por intermedio del Laboratorio de Calidad de yuca, donde se llevó a cabo la fase experimental.

El Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la yuca -CLAYUCA, por la financiación del proyecto y el apoyo logístico y administrativo para su progresivo desarrollo.

Con el apoyo de

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural  
Convenio 077

Universidad Nacional de Colombia



Centro Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la yuca (CLAYUCA)  
Palmita, Valle (Colombia)  
Febrero de 2004

## RESUMEN

Esta investigación evaluó una nueva opción de mercado para la agroindustria del almidón de yuca en Colombia, estableciendo las bases para la producción de dextrinas de yuca por vía seca. Se propuso una tecnología aplicable en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales a esta agroindustria rural, que le agrega valor y presenta ventajas en comparación con las tecnologías actuales de producción de dextrinas en forma de polvo. El proceso propuesto es limpio y de baja inversión, permite utilizar la torta de almidón, en las llamadas rallanderías, evitando su secado y elimina la generación de polvos y contaminación; obteniéndose un producto de fácil manejo y empaque. La metodología seguida, basada en el conocimiento científico y tecnológico, contempló la evaluación de diferentes tecnologías de dextrinización y la selección y diseño de una unidad piloto para la producción de dextrinas de yuca. La validación a nivel experimental permitió definir las condiciones de operación y la línea de proceso. Se determinó que la mayoría del mercado actual de las dextrinas en Colombia se destina a la fabricación de adhesivos industriales, particularmente para el cerrado de cajas corrugadas, fabricación de cores o tubos de cartón, formado de sacos multipliegos y bolsas de papel y etiquetado sobre botellas de vidrio. Existe un mercado potencial muy interesante en el sector alimenticio y farmacéutico que aún no ha sido explotado. Se obtuvieron adhesivos de dextrina de yuca de excelente calidad; alta pegajosidad, fuerza adhesiva y estabilidad, de película brillante y transparente; características superiores comparadas con las de los adhesivos a partir de dextrinas de maíz, su principal competidor. Finalmente, la determinación de los indicadores económicos del proceso, permitió concluir que la producción de pellets de pirodextrinas y adhesivos constituyen opciones tecnológicas que agregan valor al cultivo de la yuca.

## SUMMARY

This investigation evaluated a new market option for the cassava starch's agroindustry in Colombia, establishing the bases for production cassava dextrins through dry process. An applicable technology in technical, economic, social and environmental terms was proposed to a rural agroindustry, which adds value and presents advantages in comparison with of current technologies of production powder dextrins. The proposed process is clean and of low investment, these allows using the cake of starch, in the called "rallanderías", avoiding its drying and eliminate the generation of powders and contamination; obtained a product of easy handling and packing. The followed methodology, based on the scientific and technological knowledge, contemplated the evaluation of different dextrinization technologies and selection and design of an equipment pilot for production of cassava dextrins. The experimental validation defined operation conditions and process line. Was determined that most of current market of dextrins in Colombia is dedicated to production of industrial adhesives, particularly for case and carton sealing, tube winding, multiwall paper sacks manufacture and bottle labeling . A very interesting potential market exists in the foods and pharmaceutical sectors that still haven't been exploited. Adhesives of cassava dextrins of excellent quality were obtained; faster tack, tensile strength and stability, of brilliant and transparent films; highest characteristics compared with of adhesives from corn dextrins, its main competitor. Finally, the determination of economic indicators of process concluded that the production of pirodextrins pellets and adhesives constitute technological options that add value to crop cassava.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVO GENERAL	4
PRODUCTOS Y/O RESULTADOS DEL PROYECTO	4
PRODUCTO 1. VARIEDADES DE YUCA CON POTENCIALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE DEXTRINAS	5
1.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 1	5
1.1.1 Definición de los criterios para la selección de las variedades de yuca aptas para la producción industrial de dextrinas	5
1.1.2 Selección y caracterización de las variedades de yuca	6
1.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 1	7
1.2.1 Variedades de yuca seleccionadas	8
1.2.2 Características agronómicas y fisicoquímicas de las variedades de yuca seleccionadas	8
1.2.3 Descriptores morfológicos de las variedades de yuca seleccionadas	8
1.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 1	12
1.4. CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 1	12
PRODUCTO 2. TÉCNICA DE EXTRACCIÓN MÁS CONVENIENTE PARA OBTENER ALMIDÓN DE YUCA APTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS	14
2.1. ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 2	14
2.1.1 Identificación de las técnicas de extracción de almidón de yuca	14
2.1.2 Definición de los criterios de selección de la técnica de extracción de almidón de yuca	18
2.1.3 Extracción y caracterización de almidones de yuca por vía húmeda y de harinas refinadas por vía seca	19
2.1.4 Evaluación de almidones y harinas refinadas en pruebas preliminares de dextrinización	20
2.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 2	20
2.2.1 Características fisicoquímicas de almidones y harinas refinadas de yuca	20
2.2.2 Factor ácido de almidones y harinas refinadas de yuca	24
2.2.3 Materia prima adecuada para la producción de dextrinas	25
2.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 2	26
2.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 2	26
PRODUCTO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONVERTIDOR PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS	27
3.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 3	28
3.1.1 Análisis de la información técnica sobre equipos típicos de dextrinización	30
3.1.2 Selección del equipo de dextrinización	37
3.1.3 Definición de los criterios de diseño para la construcción de la unidad piloto de producción de dextrinas	39

3.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 3	40
3.2.1 Equipo de dextrinización seleccionado	40
3.2.2 Dimensiones y parámetros de diseño de la unidad piloto de producción de dextrinas	42
3.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 3	49
3.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 3	49
PRODUCTO 4: CONDICIONES DE OPERACIÓN Y LÍNEA DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS DE YUCA	51
4.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 4	51
4.1.1 Descripción del proceso de dextrinización	51
4.1.2 Definición de variables y niveles para la obtención de dextrinas de yuca por vía seca	53
4.1.2 Realización de experimentos	53
4.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 4	55
4.2.1 Efecto de la variedad de yuca sobre las propiedades de las dextrinas	55
4.2.2 Condiciones de operación para la producción de dextrinas de yuca por vía seca	57
4.2.3 Línea de proceso para la producción de dextrinas de yuca por vía seca	60
4.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 4	61
4.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 4	61
PRODUCTO 5: POTENCIALIDAD DEL MERCADO DE LAS DEXTRINAS DE YUCA	63
5.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 5	63
5.1.1 Estudio del mercado global de las dextrinas	63
5.1.2 Estudio del mercado nacional de las dextrinas	64
5.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 5	66
5.2.1 Principales sectores de aplicación de las dextrinas	66
5.2.2 Principales usos de las dextrinas en los sectores seleccionados	68
5.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 5	69
5.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 5	69
PRODUCTO 6: ADHESIVOS INDUSTRIALES A PARTIR DE DEXTRINAS DE YUCA	71
6.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 6	71
6.1.1 Descripción de los adhesivos de dextrina	71
6.1.2 Recopilación de adhesivos para la fabricación de adhesivos de dextrina	79
6.1.3 Recopilación de formulaciones típicas de los adhesivos de dextrina	81
6.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 6	82
6.2.1 Formulaciones seleccionadas para los adhesivos de dextrina de yuca	83
6.2.2 Muestras de adhesivos de dextrinas de yuca	84
6.2.3 Características de los adhesivos de dextrina de yuca obtenidos y comparación con un producto comercial	84
6.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 6	86
6.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 6	86
PRODUCTO 7: INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS DE YUCA POR VÍA SECA	87
7.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 7	87
7.1.1 Evaluación de los aspectos técnicos de la producción de dextrinas de	87

yuca por vía seca	
7.1.2 Evaluación de los aspectos económicos de la producción de dextrinas de yuca por vía seca	92
7.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 7	95
7.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 7	96
7.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 7	96
8. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN Y CAPACITACIÓN	97
9. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	103

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fotografía de raíces de yucas de la zona de adaptación de los Llanos, con cascarilla y sin cascarilla	11
Figura 2. Fotografía de raíces de yuca de la zona de adaptación Costa Atlántica, con cascarilla y sin cascarilla	11
Figura 3. Fotografía de raíces de yuca de la zona de adaptación Valles Interandinos, con cascarilla y sin cascarilla	11
Figura 4. Proceso de extracción de almidón de yuca por vía húmeda	15
Figura 5. Planta Piloto para la producción de harina refinada de yuca por vía seca	17
Figura 6. Amilogramas de las variedades de yuca seleccionadas	22
Figura 7. Amilogramas de las harinas refinadas de yuca (trozos y Planta Piloto)	22
Figura 8. Contenidos de amilosa obtenidos según la técnica de extracción para tres variedades de yuca	24
Figura 9. Factor ácido de almidones y harinas refinadas	25
Figura 10. Hidrólisis y repolimerización durante la dextrinización del almidón	27
Figura 11. Tostador convencional	32
Figura 12. Equipo Blattman	33
Figura 13. Lecho fluidizado	33
Figura 14. Horno rotatorio	34
Figura 15. Turbo-Dryer (Vomm Impianti E Processi trademark)	35
Figura 16. Extrusor	36
Figura 17. Secador de lecho fijo	37
Figura 18. Mezcladora marca HOBART	42
Figura 19. Relación entre la variación de frecuencia y la velocidad del tornillo extrusor	44
Figura 20. Potencia del motor para diferentes velocidades de extrusión	44
Figura 21. Esquema extrusor-formador, accesorios y estructura de soporte	46
Figura 22. Conjunto extrusor, motor y variador	46
Figura 23. Esquema secador de bandejas de lecho fijo	48
Figura 24. Secador de bandejas de lecho fijo	48
Figura 25. Cambios en las propiedades de las dextrinas durante el proceso de dextrinización	55
Figura 26. Curvas de poder viscosante (20% sólidos b.s) para los almidones utilizados a tres niveles de concentración de catalizador	56
Figura 27. Curvas de solubilidad en agua fría para los almidones utilizados a tres niveles de concentración de catalizador	56
Figura 28. Capacidad de producción del equipo extrusor para la formación de pellets	57
Figura 29. Regulador de entrada de aire en el secador de lecho fijo	59
Figura 30. Zonas seleccionadas dentro del secador de bandejas para	59

determinar la homogeneidad de secado	
Figura 31. Perfil de temperaturas en el secador de lecho fijo para cada zona seleccionada	59
Figura 32. Línea de proceso para la producción de pellets de dextrinas de yuca por vía seca	60
Figura 33. Importaciones de almidones y derivados en la Unión Europea	64
Figura 34. Exportaciones de almidones y derivados realizadas por la Unión Europea	64
Figura 35. Mercado nacional de dextrinas	65
Figura 36. Compra y venta de dextrinas en Colombia en el periodo 1997-2000	66
Figura 37. Principales sectores de aplicación de las dextrinas en Colombia	67
Figura 38. Precio promedio de almidones modificados en Colombia	68
Figura 39. Principales aplicaciones de los adhesivos de dextrina	77
Figura 40. Baño termostático y agitador usados en la fabricación de un adhesivo de dextrina	84
Figura 41. Muestra de adhesivos de dextrina de yuca obtenidos	84
Figura 42. Muestra de adhesivos de dextrina de maíz y de dextrina de yuca	86
Figura 43. Lavadora de raíces de yuca	87
Figura 44. Ralladora de raíces de yuca	88
Figura 45. Coladora y Tamiz vibratorio	88
Figura 46. Tanques y canales de sedimentación de almidón	89
Figura 47. Torta de almidón en tanques de sedimentación	89
Figura 48. Eliminación del secado del almidón	90
Figura 49. Mezcladora de la torta de almidón, catalizador y aglutinante	90
Figura 50. Extrusor-formador para la producción de pellets de dextrina	91
Figura 51. Secador de bandejas para pellets de dextrina	91
Figura 52. Viscosímetro de capilar y baño termostático	110
Figura 53. Relación entre el tiempo de flujo y la viscosidad para el viscosímetro de capilar	111
Figura 54. Relación entre la viscosidad en unidades Brabender y Centipoises	111
Figura 55. Refractómetro para la determinación de sólidos solubles en la dextrina	112
Figura 56. Lámpara infrarroja para pruebas rápidas de secado	113
Figura 57. Medidor de dureza para comprimidos	114

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de variedades de yuca comerciales de las zonas: Llanos, Atlántico y Valle	7
Tabla 2. Variedades de yuca seleccionadas para la producción de dextrinas	8
Tabla 3. Caracterización de las variedades de yuca seleccionadas	9
Tabla 4. Descriptores morfológicos de las variedades de yuca seleccionadas	10
Tabla 5. Características físico-químicas de los almidones de las variedades de yuca seleccionadas	21
Tabla 6. Características físico-químicas de harinas refinadas a partir de trozos y Planta Piloto	21
Tabla 7. Características reológicas de los almidones y las harinas refinadas.	23
Tabla 8. Calificación de los criterios de evaluación	40
Tabla 9. Calificación de las tecnologías	41
Tabla 10. Resultados de la calificación	41
Tabla 11. Modelo factorial propuesto para la realización de ensayos	54
Tabla 12. Parámetros del equipo extrusor-formador de almidón	58
Tabla 12. Comparación de las propiedades de los tipos de dextrinas adhesivas	75
Tabla 14. Sustitutos de los adhesivos a base dextrina en sus principales aplicaciones	77
Tabla 15. Formulación típica de un adhesivo para cerrado de cajas de cartón	81
Tabla 16. Formulación típica de un adhesivo para fabricación de cores o tubos en espiral	81
Tabla 17. Formulación típica de un adhesivo para costura lateral de bolsas de papel	82
Tabla 18. Formulación típica de un adhesivo para cerrado de fondo de bolsas de papel	82
Tabla 19. Formulación típica de un adhesivo para etiquetado de botellas de vidrio	82
Tabla 20. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para cerrado de cajas de cartón	83
Tabla 21. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para costura lateral de bolsas de papel	83
Tabla 22. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para cerrado de fondo de bolsas de papel	83
Tabla 23. Caracterización de adhesivos de dextrina de yuca para el formado de bolsas de papel	85
Tabla 24. Caracterización comparativa de adhesivos de dextrina de yuca y maíz para el cerrado de cajas de cartón	85
Tabla 25. Descripción de costos de equipos, construcción e instalación de la planta de producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón de yuca	92

Tabla 26. Descripción de costos fijos y variables del proceso de producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón de yuca	93
Tabla 27. Precios almidón nativo, almidón agrio y sus subproductos (Enero 2004)	94
Tabla 28. Indicadores económicos de la producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón	95
Tabla 29. Precios de venta de dextrina y subproductos para el proceso de producción propuesto	95
Tabla 30. Propiedades de soluciones acuosas de sacarosa	110

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica de germoplasma industrial y doble propósito disponible para diferentes zonas de adaptación en Colombia	103
Anexo B. Patentes de la producción de dextrinas por vía seca	104
Anexo C. Metodología de selección de tecnología	105
Anexo D. Catalizadores usados en el proceso de dextrinización	106
Anexo E. Descripción de las principales propiedades de las dextrinas	107
Anexo F. Determinación del poder viscosante de las dextrinas	109
Anexo G. Descripción del patronamiento del viscosímetro de capilar	110
Anexo H. Determinación de solubilidad en agua fría de las dextrinas	112
Anexo I. Determinación del contenido de humedad por medio del método rápido de secado en lámpara infrarroja	113
Anexo J. Determinación de la dureza de los pellets de dextrina	114
Anexo K. Pruebas para determinar la calidad de un adhesivo de dextrina	115

## INTRODUCCIÓN

Para fortalecer y hacer viable la producción de yuca es necesario desarrollar sistemas de producción rentables y sostenibles; por lo cual es cada vez más urgente la adaptación, desarrollo o generación de tecnologías que, una vez incorporadas, permitan el fortalecimiento de la cadena productiva de la yuca y sus derivados industriales. La industrialización del sector yuquero mejoraría la rentabilidad de la cadena agroindustrial y abastecería el mercado limitando la dependencia de las importaciones, para ello es necesario el aumento de la productividad agronómica con variedades de tipo industrial y de alto rendimiento, lo que tendría justificación sólo cuando el desarrollo de nuevos mercados para los derivados de la yuca asegure su empleo y aprovechamiento de forma planificada.

Colombia ha hecho un gran esfuerzo, reconocido a nivel mundial, en el desarrollo agronómico de variedades de yuca de alto rendimiento a través del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Estos esfuerzos son valiosos porque en las actuales circunstancias del país de necesidad de desarrollo industrial, es urgente promover opciones para el desarrollo alternativo de cultivos promisorios con la incorporación de paquetes tecnológicos que, en primera instancia, nos permitan salir de la economía de los narcocultivos y se promueva el desarrollo de un sector agroindustrial fuerte, de alto valor agregado, competitivo y gran generador de empleo.

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. 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 fisicoquímicas 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. Las industrias a nivel nacional para atender estos mercados se consolidarán en la medida que la superficie sembrada, la productividad y el rendimiento del sector yuquero aumente y sus derivados tales como el almidón y almidones modificados cumplan con las características de calidad que exige la industria.

Los almidones modificados han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo para uso industrial. Esto es, para mejorar sus propiedades funcionales y consecuentemente obtener productos de mayor valor agregado. Un resultado práctico de las modificaciones es la reducción de la viscosidad de las soluciones en agua caliente, permitiendo la dispersión del almidón a concentraciones mucho más altas sin efecto significativo sobre la

viscosidad. La modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez. Para efectos industriales el almidón de yuca es un excelente sustituto del almidón de maíz. Particularmente, para la producción de dextrinas 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 son productos de degradación parcial del almidón generados por medio de temperatura y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos tales como ruptura hidrolítica, rearrreglo de moléculas y repolimerización. Los cambios más notables en el almidón son la reducción de la viscosidad y aumento de la solubilidad en agua fría. Su manufactura puede ser realizada por vía húmeda o por vía seca. 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, estas dextrinas se conocen también como *pirodextrinas*. Aunque los adhesivos para cartón y papel constituyen la gran mayoría de las aplicaciones de las pirodextrinas, su empleo en otras ramas de la industria se debe a la gran variedad de tipos de dextrina que pueden ser obtenidas con propiedades que determinan su funcionalidad. Es así, que pueden ser usadas también en la industria de imprenta, fundición y en la industria alimenticia y farmacéutica. Según sea la aplicabilidad del producto así es su valor agregado en el mercado.

Las dextrinas más económicas son obtenidas a partir de almidón de maíz, en razón de su bajo costo y disponibilidad; sin embargo, este proceso requiere tiempos largos de conversión y temperaturas altas. Las dextrinas de mejor calidad son manufacturadas a partir de almidón de yuca ya que sus soluciones muestran excelente claridad y estabilidad, son inodoras e insaboras, forman películas claras y brillantes con una pegajosidad y adhesividad superior; unido a que el almidón de yuca es más fácil de convertir a dextrinas que el almidón de maíz. Contrariamente, las dextrinas de maíz presentan soluciones turbias y de olor característico. Para el mismo grado de conversión, las dextrinas a partir de almidón de maíz poseen más alta viscosidad, forman películas opacas y carecen de brillo comparadas con las películas obtenidas a partir de dextrinas de yuca.

En esta investigación se evaluaron diferentes tecnologías de dextrinización, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas, y además se propuso una nueva tecnología, la cual por medio de un método de selección fue seleccionada como la más aplicable en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales a una agroindustria rural. La tecnología de dextrinización propuesta agrega valor al método tradicional de extracción de almidón de yuca empleado por pequeños agricultores y procesadores en Colombia y presenta ventajas frente a las tecnologías estudiadas de producción de dextrinas en forma de polvo.

Una investigación de mercado realizada permitió determinar que el principal sector de aplicación de las pirodextrinas es el de papel y cartón donde la principal aplicación esta en la fabricación de adhesivos industriales, particularmente para

el cerrado de cajas corrugadas, fabricación de cores o tubos de cartón, formado de sacos multipliegos y bolsas de papel y etiquetado sobre botellas de vidrio. Se realizó el diseño de producto con base en la implementación de una herramienta de diseño. Los adhesivos obtenidos tuvieron excelente pegajosidad, fuerza adhesiva y estabilidad, su película es clara y brillante, características superiores comparadas con las de los adhesivos a partir de dextrinas de maíz, su principal competidor.

La validación experimental de los resultados y la determinación de los indicadores económicos del proceso de producción de pellets de pirodextrinas y adhesivos elaborados a partir de estos, permitió concluir que estos productos constituyen opciones tecnológicas rentables que agregan valor al cultivo de la yuca y permiten aprovechar las ventajas competitivas y comparativas que tiene este cultivo frente a sus productos sustitutos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las condiciones de proceso para la obtención de dextrinas de uso industrial, a partir del cultivo de la yuca, utilizando tecnologías de vía seca. Como base para facilitar el montaje de plantas de procesamiento de yuca en regiones productoras de yuca del país.

## **PRODUCTOS Y/O RESULTADOS DEL PROYECTO**

(Lo que el proyecto entrega a MADR y a los beneficiarios del proyecto)

- Variedades de yuca con potencialidad para la producción industrial de dextrinas.
- Técnica de extracción más conveniente para obtener almidón de yuca apto la producción de dextrinas.
- Diseño y construcción de un convertidor piloto para la producción de dextrinas de yuca.
- Condiciones de operación y línea de proceso para la producción de dextrinas de yuca para uso en adhesivos industriales.
- Potencialidad del mercado de las dextrinas de yuca.
- Muestras de adhesivos industriales, basados en dextrinas de yuca, para diferentes aplicaciones.
- Indicadores técnico-económicos para la producción de dextrinas de yuca por vía seca.

## **PRODUCTO 1: VARIEDADES DE YUCA CON POTENCIALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE DEXTRINAS**

En este capítulo se realizó la selección y caracterización de las variedades de yuca más adecuadas o de mayor potencial para la producción de dextrinas con base en la información disponible en el Programa de Mejoramiento de Yuca de CIAT y con bases en los criterios definidos para la selección.

### **1.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 1**

A continuación se describen las actividades desarrolladas para el logro del producto 1.

**1.1.1 Definición de los criterios para la selección de las variedades de yuca aptas para la producción industrial de dextrinas.** Los criterios para escoger las variedades de yuca para la producción industrial de dextrinas, se definieron con base en parámetros agronómicos de particular importancia para la selección de un genotipo de yuca (Jaramillo, 2002).

– **Zona de adaptación.** La yuca ha sido reconocida por su notable adaptación a diferentes condiciones abióticas, especialmente su tolerancia a las condiciones de acidez y sequía, suelos degradados y gran flexibilidad en la plantación y la cosecha, por lo que se adapta a diferentes condiciones de crecimiento. Sin embargo, la estabilidad de la producción es muy importante y se logra cuando el clon o variedad de yuca ha desarrollado adaptabilidad en determinada zona, permitiendo que el comportamiento de la variedad se mantenga constante a través de ambientes favorables y no favorables, y cuando se garantiza la producción a través del tiempo por medio de evaluaciones periódicas. Para este estudio se escogieron las zonas de adaptación más importantes en Colombia y en las cuales se ha realizado el mayor número de pruebas regionales.

– **Disponibilidad.** Para obtener un producto estándar se debe partir de una materia prima que también lo sea. Uno de los principales obstáculos que afectan el mercado de almidón y sus derivados es el abastecimiento constante de materia prima. Por esta razón, se escogieron las variedades más cultivadas en las zonas de adaptación y de las cuales se garantizaba una producción constante.

– **Rendimiento promedio de raíces en materia seca (t/ha).** El rendimiento de las raíces de yuca es una característica controlada genéticamente, que depende principalmente de las condiciones de clima, fertilidad y de manejo del cultivo. Un rendimiento en materia fresca por encima de 20 t/ha se considera aceptable para un clon destinado al uso industrial, este se considera más relevante si se expresa en términos de rendimiento en materia seca, ya que de esta forma no se tiene en cuenta el agua de la raíz, siendo un valor más eficiente para el cálculo del transporte y procesamiento por su menor contenido de agua. El rendimiento

expresado en términos de materia seca estima qué tan eficientes son las variedades. Este parámetro se calcula multiplicando el rendimiento en peso fresco por el porcentaje de materia seca. Se escogieron rendimientos de raíces en materia seca por encima de 6 t/ha, los cuales se consideran como buenos.

- **Contenido de materia seca.** Este parámetro varía con la edad de la planta, el tipo de variedad, la época de cosecha y el tipo de suelo. Es de vital importancia, ya que está relacionado con la cantidad del almidón que tiene la yuca. En términos generales un contenido de materia seca por debajo de 30 % se considera bajo, entre 30-40 % intermedio y por encima de 34 % se considera alto. Se escogieron los contenidos de materia seca dentro de los rangos intermedio-alto.

- **Contenido de amilosa y amilopectina.** Los contenidos de amilosa y amilopectina, definen las propiedades funcionales del almidón; particularmente su viscosidad, textura y solubilidad. Para la yuca los contenidos de amilosa se encuentran en el rango de 10-25 %. Se escogieron variedades que poseían contenidos de amilosa dentro de rangos bajo, intermedio y alto, con el objeto de determinar su efecto en la producción de dextrinas.

**1.1.2 Selección y caracterización de las variedades de yuca.** Según la información suministrada por el coordinador de cada polo de desarrollo<sup>1</sup>, se realizó una recopilación de los clones disponibles más estudiados en las diferentes zonas de adaptación los cuales se muestran en el Anexo A.

Las zonas de adaptación más importantes y en las que se han realizado el mayor número de pruebas regionales son las zonas: *Llanos, Costa Atlántica y Valles Interandinos*. Por ello se escogieron estas tres zonas para la selección de las variedades de yuca a estudiar.

La descripción de las características generales de las variedades de yuca más cultivadas y comerciales en las zonas de adaptación seleccionadas, se presentan en la Tabla 1.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con coordinadores de las zonas de adaptación seleccionadas: Calle, F.: Zona Llanos; Lenis, J.: Zona Atlántico y Jaramillo, G.: Zona Valles Interandinos. Mayo de 2002.

Tabla 1. Características de variedades de yuca comerciales de las zonas: Llanos, Atlántico y Valle.

Clon o genotipo CIAT	Zona de adaptación	Rendimiento prom. m.seca (t / ha)	Materia seca prom. %	Contenido de amilosa %
CM 523-7	Llanos - Valle - Tolima	9,5	38,0	17,7
MCOL 2737	Llanos - Tolima	7,7	35,0	-
CM 6740-7	Llanos - Norte del Cauca	8,9	35,5	15,4
MCOL 1505	Costa Atlántica - Valle - Tolima	10,2	37,0	-
CM 3306-4	Costa Atlántica - Valle -Tolima	7,7	36,5	19,1
MCOL 2215	Costa Atlántica	3,5	37,0	20,8
CG 1141-1	Costa Atlántica - Tolima	6,7	33,6	18,6
MTAI 8	Costa Atlántica	11,3	33,1	17,3
CM 3306-19	Costa Atlántica	7,1	33,0	-
CM 3555-6	Costa Atlántica	8,3	36,5	-
MVEN 25	Costa Atlántica - Tolima	7,2	33,5	21,1
HMC-1	Valle - Tolima - Zona Cafet.	8,3	33,0	20,9
MCOL 2066	Zona Cafetera	9,3	37,0	21,1
MPER 183	Valle - Tolima - Zona Cafet.	10,5	32,0	16,1
MCOL 1522	Zona Cafetera	3,2	35,0	19,4
MCOL 1468	Valle - Norte del Cauca	7,6	34,5	19,8
MBRA 383	Norte del Cauca	14,0	38,1	17,9
MCOL 2758	Norte del Cauca	13,0	37,0	-

Fuente: Autora, con base en entrevistas con coordinadores de las zonas de adaptación.

De los datos registrados en la Tabla 1 se observa que la mayoría de los contenidos de materia seca de las variedades de yuca están por encima del 30 % y los rendimientos promedio en materia seca son superiores a 6 t/ha.

Aunque los contenidos de amilosa teóricamente varían entre 10-25 %, el rango de los datos reportados de las variedades de yuca comerciales en las zonas seleccionadas se encuentra entre 15-21 %, por lo que se definieron estos valores como bajo y alto respectivamente y el valor medio entre los dos valores como intermedio. El contenido de amilosa se seleccionó como el criterio limitante para definir el número de variedades de cada una de las zonas de adaptación. Se escogieron variedades de yuca con contenidos de amilosa en el rango bajo, intermedio y alto, definiendo así tres variedades de cada zona, unido a que las variedades debían tener rendimientos promedio en materia seca superiores a 6 t/ha y contenidos de materia seca por encima del 30 %, esta selección se realizó con base en los datos de la Tabla 1.

## 1.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 1

Una vez seleccionadas las variedades de yuca con base en los criterios de selección definidos se realizó su caracterización.

**1.2.1 Variedades de yuca seleccionadas.** Con base en los criterios definidos las variedades de yuca seleccionadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Variedades de yuca seleccionadas para la producción de dextrinas.

Zona de Adaptación	Genotipo o variedades de yuca
Llanos	CORPOICA REINA (CM 6740-7) ICA CATUMARE (CM 523-7) BRASILERA (MCO 2737)
Costa Atlántica	VENEZOLANA (MCO 2215) MTAI 8 MVEN 25
Valles Interandinos	ICA - P13 (HMC-1) MPER 183 MBRA 383

De las variedades seleccionadas, cuatro de ellas (CORPOICA REINA (CM 6740-7), ICA CATUMARE (CM 523-7), BRASILERA (MCO 2737) y MBRA 383, las tres primeras variedades son de la zona de adaptación Llanos y la última de los Valles Interandinos. Estas variedades están siendo cultivadas actualmente y evaluadas en pruebas regionales en la región del Putumayo.

**1.2.2 Características agronómicas y fisicoquímicas de las variedades de yuca seleccionadas.** La caracterización se llevó a cabo para confrontar los valores teóricos que permitieron la selección de las variedades y sus características agronómicas y fisico-químicas se registran en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de las variedades de yuca seleccionadas.

Variedad	Zona de Adaptación	Edad de la raíz (meses)	Rendimiento en peso fresco (t/ha) *	Materia seca (%) **	Rendimiento en materia seca (t/ha) **	pH **	Contenido de amilosa (%) **	Contenido de almidón (%) **	Contenido de cianuro (ppm)	Tipo de uso de la raíz
CORP.REINA (CM 6740-7)	Llanos	12	25,0	41,3	10,3	6,4	14,6	76	300	Industrial
ICA CATUMARE (CM 523-7)	Llanos	12	25,0	37,9	9,5	6,5	13,0	87	177	Doble propósito
BRASILERA (MCO 2737)	Llanos	12	22,0	38,6	8,5	7,0	11,9	88	307	Doble propósito
VENEZOLANA (MCO 2215)	Costa Atlántica	13	9,5	34,1	5,3	6,2	19,3	84	100	Doble propósito
MTAI 8	Costa Atlántica	16	34,2	30,6	10,7	6,0	14,2	88	680	Industrial
MVEN 25	Costa Atlántica	16	21,6	27,7	6,0	5,9	19,9	80	1000	Industrial
ICA - P13 (HMC-1)	Valles Interandinos	12	25,0	39,7	10,0	6,5	15,2	86	120	Doble propósito
MPER 183	Valles Interandinos	11	32,9	34,9	11,5	6,3	12,7	89	73	Doble propósito
MBRA 383	Valles Interandinos	14	36,7	42,9	15,7	6,8	12,6	80	127	Industrial

\* Rendimiento en pruebas regionales

\*\* Determinado experimentalmente

**1.2.3 Descriptores morfológicos de las variedades de yuca seleccionadas.** Los descriptores morfológicos son las características de la raíz que se pueden observar a simple vista y que sirven para identificarla. Para el caso de la raíz de la yuca se destacan: el color externo, el color de la corteza, el color de la pulpa, su diámetro y su longitud promedio.

Aunque los descriptores morfológicos tienen control genético, son afectados por la edad de la planta y los factores ambientales como la fertilidad del suelo y la luminosidad, entre otros, además de plagas y enfermedades. Por lo tanto, para que estos sean confiables, se deben caracterizar en la época apropiada de expresión, controlando previamente los factores que los pueden afectar. Los descriptores morfológicos de las variedades seleccionadas se muestran en la Tabla 4 y las fotografías de su forma física se observan en las Figuras 1, 2 y 3. Estas fotografías permiten identificar el color externo, el de la corteza y, además, las formas más típicas de las raíces, su diámetro y su longitud promedio.

Tabla 4. Descriptores morfológicos de las variedades de yuca seleccionadas.

<b>Variedad</b>	<b>Color externo de la raíz</b>	<b>Color corteza de la raíz</b>	<b>Color pulpa de la raíz</b>	<b>Diámetro promedio (cm)</b>	<b>Longitud promedio (cm)</b>
CORP.REINA (CM 6740-7)	Café claro	Crema	Blanco	5	43
ICA CATUMARE (CM 523-7)	Café oscuro	Rosado claro	Blanco	6	33
BRASILERA (MCOL 2737)	Café claro	Rosado claro	Blanco	6	29
VENEZOLANA (MCOL 2215)	Café oscuro	Rosado claro	Blanco	6	30
MTAI 8	Café crema	Amarillo	Crema	6	31
MVEN 25	Café oscuro	Amarillo	Blanco	6	32
ICA - P13 (HMC-1)	Café oscuro	Rosado mediano	Blanco	6	33
MPER 183	Café oscuro	Morado oscuro	Blanco	5	35
MBRA 383	Café claro	Rosado claro	Blanco	6	29

Figura 1. Fotografía de raíces de yucas de la zona de adaptación Llanos, con cascarilla y sin cascarilla.



Figura 2. Fotografía de raíces de yuca de la zona de adaptación Costa Atlántica, con cascarilla y sin cascarilla.



Figura 3. Fotografía de raíces de yuca de la zona de adaptación Valles Interandinos, con cascarilla y sin cascarilla.



### 1.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 1

Según los datos reportados en la Tabla 3, se puede afirmar que la edad de la planta tiene un efecto significativo sobre el contenido de materia seca de la raíz de yuca. En el caso de las variedades MTAI 8, MVEN 25 y MBRA 383, raíces que fueron cosechadas en un tiempo por encima de su época adecuada de cosecha; esto es 16 y 14 meses, ya que no había disposición de raíces con un ciclo más corto; estas presentaron contenidos de materia seca bajos particularmente para las dos primeras variedades.

Los valores de materia seca en las raíces de yuca, a excepción de las variedades que fueran cosechadas posterior a la época adecuada, presentaron valores superiores a los recopilados teóricamente.

Ninguno de los valores de los contenidos de amilosa reportados en la literatura para las variedades de yuca, coincidieron con los valores determinados experimentalmente; encontrándose que el rango de valores varió entre 12-20 % definiendo estos como bajo (B) y alto (A) respectivamente y el valor medio como intermedio (I). Por esta razón, no fue posible que las variedades de cada zona de adaptación tuvieran los tres niveles de contenido de amilosa. Así, para la zona de los LLANOS los contenidos de amilosa fueron dos en el nivel bajo y uno en el nivel intermedio: CORPOICA REINA (CM 6740-7): 14,2 % (I), ICA CATUMARE (CM 523-7): 13,0 % (B) y BRASILEIRA (MCOLE 2737): 11,9 % (B). Para la zona de la COSTA ATLÁNTICA los contenidos de amilosa fueron dos en el nivel alto (A) y uno en el nivel intermedio (I): VENEZOLANA (MCOLE 2215): 19,3 % (A), MTAI 8: 14,2 % (I) y MVEN 25: 19,9 % (A). Para la zona de los VALLES INTERANDINOS los contenidos de amilosa fueron dos en el nivel bajo y uno en el nivel intermedio: ICA-P13 (HMC-1): 15,2 % (I), MPER 183: 12,7 % (B) y MBRA 383: 12,6 % (B).

Según los descriptores morfológicos de la Tabla 4 se puede afirmar que el diámetro promedio de las raíces de yuca, en las tres zonas de adaptación seleccionadas, es de 6 cm y la longitud promedio es de 33 cm. La forma promedio de las raíces en general es cilindro-cónica.

### 1.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 1

- El contenido de materia seca tiene una relación inversamente proporcional a la edad de cosecha, desde el momento en que la edad de cosecha supera la edad adecuada de cosecha. Por ello, las variedades de yuca cosechadas después de los 12 meses presentaron disminución en el contenido de materia seca.
- El contenido de amilosa en las raíces de yuca depende de las condiciones edafoclimáticas del cultivo y es posible que también dependa de la edad de cosecha. Según los resultados obtenidos los contenidos de amilosa altos se presentaron en las variedades con alto contenido de ácido cianhídrico, es factible que exista una relación entre estas dos variables.

- Las raíces de yuca se diferencian principalmente en su forma externa y en el color de la corteza. El color de la pulpa blanca y sus dimensiones de diámetro aproximado de 6 cm y largo 33 cm fueron las características comunes en la mayoría de las variedades de yuca seleccionadas.
- Se presentan diferencias morfológicas de las yucas procedentes de la misma zona de adaptación. Así, es posible encontrar dentro de una misma zona de adaptación raíces de yuca de color de corteza desde rosado claro hasta morado oscuro.

## **PRODUCTO 2: TÉCNICA DE EXTRACCIÓN MÁS CONVENIENTE PARA OBTENER ALMIDÓN DE YUCA APTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS**

La técnica de extracción de almidón nativo de yuca está directamente ligada a la calidad del almidón obtenido. El almidón de partida es uno de los aspectos más importantes para la producción de dextrinas. Según el tipo de almidón varía el tiempo de proceso, la concentración del catalizador utilizado, la temperatura de conversión y la calidad de la dextrina obtenida. En este capítulo se realizó la selección de la técnica de extracción más conveniente para la obtención de un almidón de yuca apto para la producción de dextrinas, con base en criterios de selección definidos y realizando posteriormente la caracterización y el análisis de los productos obtenidos.

### **2.1. ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 2**

A continuación se describen las actividades desarrolladas para el logro del producto 2.

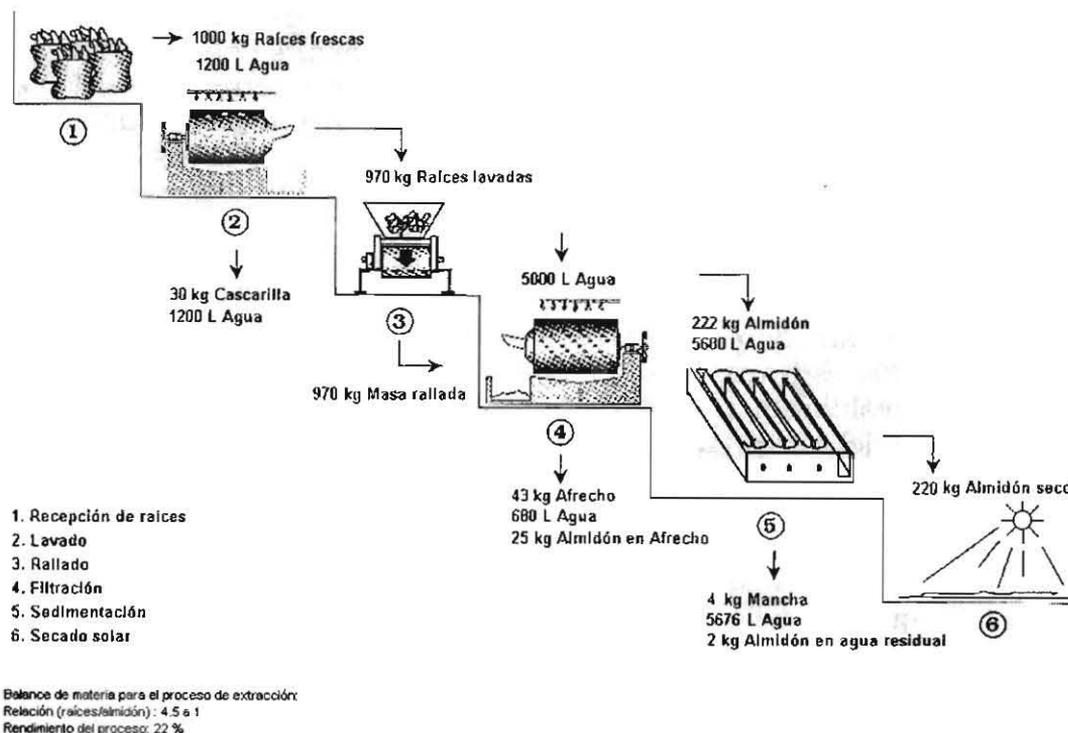
**2.1.1 Identificación de las técnicas de extracción de almidón de yuca.** La extracción de almidón de yuca ha sido una actividad agroindustrial que se inició en Colombia desde hace más de 50 años. Inicialmente, la mayoría de las plantas procesadoras de almidón eran de mediana escala, con bajos niveles de producción, manejadas principalmente por mano de obra familiar o por pequeñas cooperativas de campesinos. Con el paso de los años, la demanda de almidón aumentó y se introdujeron innovaciones mecánicas en algunas etapas del proceso, logrando aumentar la capacidad productiva de estas pequeñas fábricas que se conocen con el nombre de "rallanderías". En el norte del departamento del Cauca extrae almidón de yuca agrio (el cual sufre un proceso de fermentación) principalmente y en los departamentos de Atlántico y Sucre se extrae almidón nativo o dulce. Recientemente, CLAYUCA ha iniciado trabajos para evaluar una técnica de extracción de almidón de yuca (llamada harina refinada) por vía seca, con el objeto de disminuir los altos consumos de agua, los largos tiempos de proceso que requiere la técnica de extracción de almidón dulce utilizada por las rallanderías y los niveles de contaminación causados por los efluentes. La hipótesis de esta investigación es lograr una separación total de los gránulos de almidón a partir de la harina gruesa; separando fibra, proteína y ceniza, obteniendo al final un producto con características fisicoquímicas similares a las de un almidón obtenido por vía húmeda (en las rallanderías). A continuación se describen cada uno de los procesos mencionados.

- **Extracción de almidón vía húmeda (utilizado en rallanderías).** La extracción de almidón de yuca por vía húmeda se lleva a cabo por medio de un proceso que comprende las etapas de lavado, rallado, filtración, sedimentación, secado, molienda y tamizado (Alarcón y Dufour, 1998). Particularmente, en las

etapas de lavado y filtración se consumen grandes cantidades de agua, aproximadamente 7 L por kg de yuca fresca ó 31 L por kg de almidón. El rendimiento del proceso varía entre 17-25 %, dependiendo de la eficiencia del proceso de extracción. Es decir, una relación de 6:1 hasta 4:1 de raíces/almidón. Las aguas residuales poseen altas cargas contaminantes por sus contenidos de compuestos cianogénicos; las cuales deben ser tratadas para evitar la contaminación de otras corrientes de agua, siendo este uno de los principales problemas en la extracción de almidón de yuca por vía húmeda.

Los principios de la extracción del almidón de yuca por vía húmeda se aplican en todas las rallanderías, aunque varía mucho la tecnología empleada. Se encuentran, por ejemplo, rallanderías en las que el proceso es completamente artesanal, otras medianamente mecanizadas; pero siguen siendo muy artesanales y de esta forma tienen limitaciones en cuanto al cumplimiento de las especificaciones de calidad exigidas para el almidón de uso industrial. En muchas de las rallanderías, el almidón obtenido presenta un color crema o grisáceo, producto del método de secado. Así mismo, puede contener un alto contenido de proteína que lo hace susceptible a la descomposición por gran variedad de microorganismos, un pH variable que, si es bajo, es indicativo de la presencia de fermentación y un alto contenido de fibra, reflejo de deficiencias en el sistema de filtración o tamizado empleado.

Figura 4. Proceso de extracción de almidón de yuca por vía húmeda.



Fuente: Alarcón y Dufour, 1998.

A continuación se realiza una descripción de cada una de las etapas de la extracción de almidón por vía húmeda:

- **Lavado:** En esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a las raíces de yuca y se elimina parte de la cascarilla.
- **Rallado:** Se realiza para liberar los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces de la yuca. Esta operación suele hacerse en seco, en algunos casos se utiliza agua cuando puede hacerse fluir directamente a la operación posterior. La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total del almidón en el proceso de extracción. Si el rallado no se hace bien, no se logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado. Por otra parte, el rallo no debe ser demasiado fino, porque los gránulos muy pequeños de almidón sufrirían daño físico.
- **Filtración:** En esta etapa se realiza la separación del afrecho de la lechada de almidón, debe evitarse en lo posible que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón; por ello, en algunos casos se hace pasar la lechada de almidón por un tamiz después de la filtración con el objeto de retener las fibras finas que pudieron filtrarse a la lechada.
- **Sedimentación:** La lechada de almidón es conducida a tanques de sedimentación, en donde se debe esperar entre 6-8 horas para que el almidón quede sedimentado. Al final de esta etapa, se obtienen tres capas en los canales: 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 el lavado con agua. Dependiendo si la sedimentación se realiza en tanques o en canales, se perderá o no almidón en la eliminación del agua sobrenadante y la mancha.
- **Secado:** El almidón compactado en el fondo de los tanques de sedimentación es transportado en bloques compactos a un patio de secado donde se deshidrata por exposición al sol, hasta un nivel de humedad aproximado del 12 %. Para facilitar el secado el almidón se desmenuza y se coloca sobre polietileno de espesor No. 6 de color negro, para captar mayor radiación solar facilitando el secado. Generalmente, para secar 1 kg de almidón se requiere 1 m<sup>2</sup> y un tiempo aproximado de 6 horas. El secado es una de las etapas más limitantes del proceso de extracción de almidón de yuca, ya que para llevarla a cabo se necesitan grandes espacios y días soleados. En procesos modernos se emplea secado artificial, con secadores tipo flash dryer, pero la inversión en este tipo de equipos es alta y sólo justificable para altos niveles de producción.

- **Molienda y Tamizado:** El almidón seco, en forma de terrones, es molido y posteriormente es tamizado en mallas, cuya finura o granulometría depende de las características del almidón que se desea obtener, el cual generalmente varía entre 100 – 200 mesh.
- **Extracción de almidón por vía seca (harina refinada).** Con el objeto de generar una nueva tecnología de extracción de almidón de yuca, reduciendo los consumos de agua por medio de un proceso más limpio y compatible con el medio ambiente, CLAYUCA está investigando un sistema de obtención de almidón de yuca por vía seca (harina refinada) en el que no se utiliza agua, salvo en algunas ocasiones para la etapa de limpieza de las raíces.

La extracción de la harina refinada puede ser llevada a cabo por dos métodos. Uno llamado *harina refinada a partir de trozos* que comprende las etapas de trozado de la yuca, secado al sol, molienda y tamizado y otro llamado *harina refinada a partir de planta piloto* en donde las operaciones del proceso son rallado de la yuca, secado artificial, molienda y tamizado. La planta piloto utilizada para el secado artificial de la yuca se muestra en la Figura 5. Finalmente, mediante un adecuado sistema de separación neumática estudiado en un proyecto de grado de convenio CLAYUCA-UNIVALLE (Barona e Isaza, 2003), se evaluó la posibilidad de separar las trazas de fibra, proteína y cenizas presentes en la harina refinada con el objeto de obtener, al final del proceso, un material que sea en su totalidad almidón y que cumpla con las especificaciones de calidad que requiere el mercado y que sea similar al almidón de yuca extraído por las rallanderías.

Figura 5. Planta Piloto para la producción de harina refinada de yuca por vía seca.



La descripción de las etapas de la extracción de almidón por vía seca (harina refinada) son:

- **Limpieza:** Las raíces de yuca son limpiadas por medio de un tambor de barrotos giratorio, donde se liberan trozos de tierra y barro adheridos a la superficie de las raíces. Posteriormente, las raíces son recibidas en una banda transportadora que las conduce a la fase siguiente del proceso.
- **Triturado o Picado:** En esta etapa si se desea obtener harina refinada a partir de trozos, las raíces de yuca son únicamente trozadas en una picadora. Si se desea obtener harina refinada a partir de planta piloto se realiza una reducción de tamaño de las raíces a través de un triturador que las transforma en pequeñas partículas.
- **Secado:** Dependiendo de la harina refinada a obtener, esta operación se puede llevar a cabo de dos formas. Para obtener harina refinada a partir de trozos, las raíces de yuca una vez picadas en trozos son secadas al sol. Si se desea obtener harina refinada a partir de Planta Piloto el secado se realiza en varias etapas; inicialmente, en dos secadores rotatorios horizontales de aire caliente, cuyo principio se basa en el contacto directo del aire a una temperatura determinada con el producto el cual es transportado a lo largo de estos por medio de un eje con paletas provisto en cada secador. En el proceso de secado el ácido cianhídrico se volatiliza en las corrientes de aire y es retirado del sistema a través de un ciclón de separación con salida a la atmósfera eliminando así el grado de toxicidad de la harina integral. En estos dos secadores se elimina la humedad hasta el 25 %. Posteriormente, el producto termina de secarse hasta alcanzar un contenido de humedad del 13 % y un nivel aceptable de contenido de cianuro. Este proceso se lleva a cabo por el contacto directo con aire caliente en otro par de secadores rotatorios; donde el secador final cumple la función de aclimatar el producto final para evitar que absorba humedad del medio dado su carácter higroscópico. Las partículas finas que son arrastradas por las corrientes de aire son recolectadas por una batería de ciclones de separación acoplados a cada uno de los secadores rotatorios.

**2.1.2 Definición de los criterios de selección de la técnica de extracción de almidón de yuca.** Para la definición de los criterios de selección de la técnica de extracción de almidón de yuca se tuvieron en cuenta aspectos de tipo económico, ambiental y de calidad. Los criterios seleccionados fueron:

– **Impacto ambiental.** Este criterio tuvo en cuenta que la técnica de extracción tuviera baja generación de efluentes y contaminación. En este caso, la técnica de extracción de almidón por vía seca posee ventajas frente a la técnica de extracción por vía húmeda tales como bajo consumo de agua y eliminación de efluentes y de sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como reducción de la contaminación de corrientes de agua localizadas en las zonas de producción.

- **Calidad del producto final y facilidad de conversión a dextrina.** Sin duda alguna, este es el criterio de mayor importancia en la selección de la técnica. Este criterio se evaluó por medio de la caracterización del almidón obtenido de las dos técnicas de extracción y por la realización de ensayos preliminares de dextrinización teniendo en cuenta la facilidad de conversión, la concentración de catalizador y la calidad de la dextrina obtenida.
- **Costo de equipos.** En cuanto al costo de inversión de equipos, la técnica de extracción por vía seca requiere una infraestructura más costosa por su tamaño y equipos auxiliares de control y por ello su costo es superior al costo de una rallandería.
- **Tiempo de proceso.** El tiempo de proceso es un criterio bastante importante, ya que representa costo de producción. La técnica de extracción por vía seca garantiza una disminución significativa en el tiempo de proceso, particularmente en la etapa de secado.
- **Número de operaciones.** Este criterio tiene en cuenta las operaciones que se requieren para la obtención del producto. La técnica de extracción por vía húmeda comparada con la técnica de extracción por vía seca, posee dos etapas más de operación: la etapa de filtración y la etapa de sedimentación.

**2.1.3 Extracción y caracterización de almidones de yuca por vía húmeda y de harinas refinadas por vía seca.** La extracción de almidón por la vía húmeda se realizó utilizando la técnica descrita anteriormente a una escala de laboratorio. Se procesaron de 25-30 kg de cada una de las nueve variedades de yuca seleccionadas. Las raíces se lavaron para eliminar tierra e impurezas adheridas a la cascarilla y gran parte de esta. Luego el material pasó a las etapas de rallado y licuado, filtración, sedimentación y secado. La molienda se realizó en un molino de aspas rotatorias y se realizó un tamizado del almidón utilizando un tamiz de 140 mesh. El factor de conversión de raíces de yuca a almidón fue del orden de 5:1 – 6:1, el consumo de agua fue aproximadamente de 7-8 litros por kg de yuca fresca y las pérdidas de 3-4 %.

Dado que la cantidad de raíces de yuca necesaria para procesar la harina refinada en la planta piloto es mínimo 200 kg/h; el realizar la extracción de la harina refinada por los dos métodos de trozos y Planta Piloto, a partir de las nueve variedades de yuca seleccionadas, conllevaría a un alto costo en raíces de yuca, unido al costo de transporte de las variedades, especialmente de las zonas Atlántica y Llanos. Por esta razón, se decidió trabajar con harinas refinadas de trozos y de Planta Piloto que habían sido obtenidas en un trabajo de grado desarrollado en CLAYUCA (Barona e Isaza, 2003). Las variedades de yuca con las que se realizó la extracción de la harina refinada vía seca fueron: ICA CATUMARE (CM 523-7) y MPER 183 ambas obtenidas a partir de trozos y Planta Piloto y CORP. REINA (CM 6740-7) obtenida a partir de planta piloto.

La caracterización de la materia prima para la obtención de dextrinas, en este caso los almidones extraídos por vía húmeda y las harinas refinadas extraídas por vía seca, se llevó a cabo por medio de pruebas fisicoquímicas tales como humedad, densidad aparente, pH, contenido de amilosa, color y contenidos de proteína, fibra cruda y cenizas.

**1.2.4 Evaluación de almidones y harinas refinadas en pruebas preliminares de dextrinización.** Con el propósito de evaluar la facilidad de conversión a dextrina de los almidones obtenidos por vía húmeda y de las harinas refinadas, a partir de trozos y Planta Piloto, obtenidas por vía seca se realizaron ensayos preliminares de dextrinización. Con base en los resultados obtenidos en las pruebas preliminares se definió cuál era la materia prima adecuada para la obtención de dextrinas. Las pruebas preliminares fueron realizadas en los Laboratorios de Planta Piloto del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional, sede Bogotá, empleando un convertidor de almidón construido para este fin a nivel de laboratorio, tomando como base las mejores condiciones de operación de un estudio de dextrinización de almidón de yuca recientemente desarrollado en la Universidad Nacional, sede Bogotá (Aristizábal y Robles, 2001), en cuyo estudio fue utilizado almidón industrial, HCl como catalizador en un porcentaje del 0,15 % en peso con respecto al almidón, temperatura de conversión de 150 °C. y tiempo de proceso de dos horas. La reacción de dextrinización fue seguida por medio de pruebas de coloración con solución  $I_2/KI$ , solubilidad en agua fría y poder viscosante.

## **2.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 2**

Una vez extraídos los almidones por vía húmeda y las harinas refinadas por vía seca, se caracterizaron y se evaluó su comportamiento en las pruebas preliminares de dextrinización.

**2.2.1 Características fisicoquímicas de almidones y harinas refinadas de yuca.** Las características fisicoquímicas de los almidones obtenidos a partir de las nueve variedades de yuca seleccionadas extraídos por vía húmeda y de las cinco harinas refinadas de yuca se muestran en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5. Características físico-químicas de los almidones de las variedades de yuca seleccionadas.

Variedad Almidón	Humedad %	Densidad aparente g/ml	pH	Contenido de amilosa %	Color	Proteína %	Fibra cruda %	Cenizas %
CORP. REINA (CM 6740-7)	7,77	0,69	6,7	14,6	Blanco crema	0,35	0,18	0,40
ICA CATUMARE (CM 523-7)	6,80	0,72	6,8	13,0	Blanco crema	0,54	0,12	0,42
BRASILERA (MCOL 2737)	6,18	0,73	6,5	11,9	Blanco	0,41	0,16	0,34
VENEZOLANA (MCOL 2215)	5,34	0,71	4,5	19,3	Blanco crema	0,58	0,26	0,34
MTAI 8	6,01	0,72	4,4	14,2	Blanco	0,53	0,14	0,36
MVEN 25	5,85	0,73	4,5	19,9	Crema	0,59	0,24	0,5
ICA - P13 (HMC-1)	6,65	0,73	7,1	15,2	Blanco crema	0,48	0,16	0,26
MPER 183	6,26	0,69	5,0	12,7	Blanco	0,40	0,18	0,66
MBRA 383	7,16	0,68	5,0	12,6	Blanco	0,51	0,16	0,38

Tabla 6. Características físico-químicas de harinas refinadas a partir de trozos y Planta Piloto.

Variedad Harina Refinada	Humedad %	Densidad aparente g/ml	pH	Contenido de amilosa %	Color	Proteína %	Fibra cruda %	Cenizas %
ICA CATUMARE (CM 523-7) (a partir de trozos)	9,4	0,54	5,4	5,7	Crema	2,62	2,44	2,54
ICA CATUMARE (CM 523-7) (a partir de Planta Piloto)	6,7	0,67	5,9	4,4	Crema	2,32	5,16	2,48
MPER 183 (a partir de trozos)	6,4	0,53	6,3	3,9	Crema	2,21	4,40	2,68
MPER 183 (a partir de Planta Piloto)	6,3	0,73	5,8	5,8	Crema	1,38	3,80	2,28
CORP. REINA (CM 6740-7) (a partir de Planta Piloto)	5,7	0,67	5,4	6,2	Crema	3,48	4,70	2,12

Adicionalmente, en la Figura 6 se presenta el conjunto de amilogramas de los almidones, donde se puede apreciar el comportamiento reológico diferente según la variedad de yuca y en la Figura 7 el de las harinas refinadas a partir de trozos y de Planta Piloto extraídas por vía seca.

Figura 6. Amilogramas de las variedades de yuca seleccionadas.

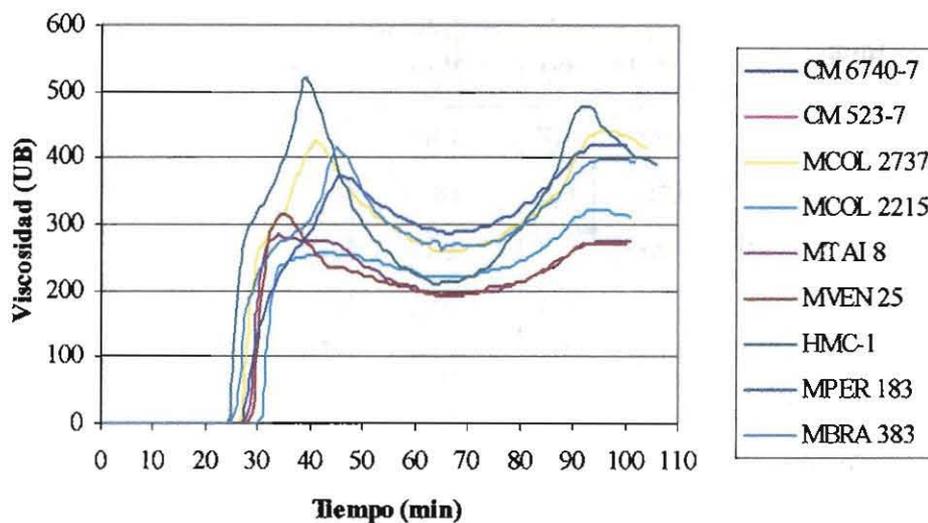
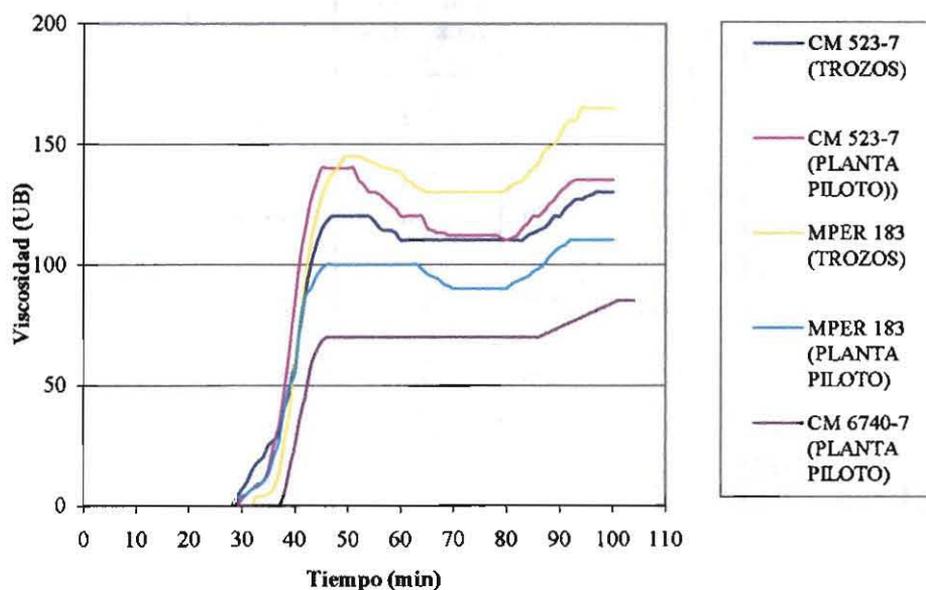


Figura 7. Amilogramas de las harinas refinadas de yuca (Trozos y Planta Piloto).



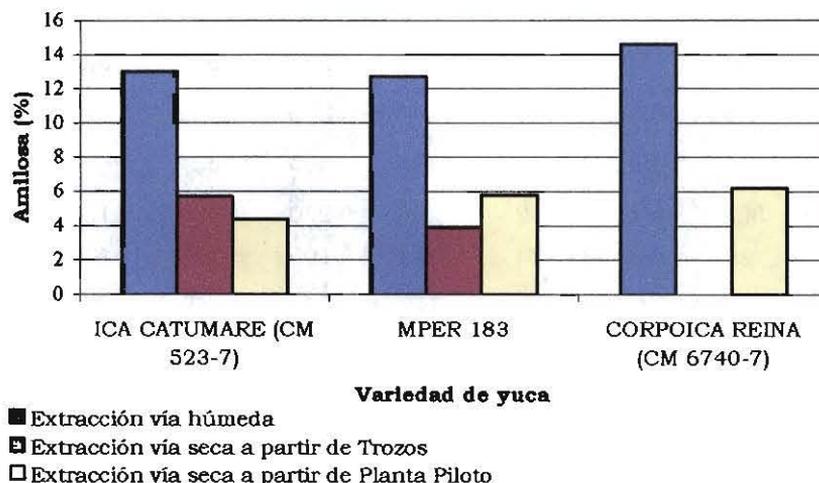
Como se observa en las Figuras 6 y 7 el comportamiento reológico de los almidones es diferente de las harinas refinadas. Un resumen del comportamiento de estas en términos de viscosidad y tiempos se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Características reológicas de los almidones y las harinas refinadas.

Variedad	Tg (°C)	tg (min)	Vmáx. (UB)	tVmáx (min)	V90 (UB)	V90/20 (UB)	V50 (UB)	Fgel (min)	Inest. gel (UB)	Ind. gel (UB)
<b>Almidón</b>										
CORP.REINA (CM 6740-7)	61,75	24,5	425	40	420	260	500	15,5	165	240
ICA CATUMARE (CM 523-7)	43,37	12,25	554	23,3	295	285	450	11,05	269	165
BRASILERA (MCO 2737)	65,12	26,75	425	41	407	265	394	14,25	160	129
VENEZOLANA (MCO 2215)	70,75	30,5	255	42	255	220	307	11,2	35	87
MTAI 8	67	28	285	34	273	195	260	6	90	65
MVEN 25	67,75	28,5	314	35	240	194	260	6,5	120	66
ICA - P13 (HMC-1)	61,75	24,5	520	39	440	214	457	14,5	306	243
MPER 183	66,25	27,5	374	46	340	291	400	18,5	83	109
MBRA 383	62,87	25,25	414	45	367	270	370	19,75	144	100
<b>Harina</b>										
ICA CATUMARE (CM 523-7) (a partir de trozos)	69,25	29,5	120	46	100	110	120	16,5	10	10
ICA CATUMARE (CM 523-7) (a partir de Planta Piloto)	70	30	140	45	127	120	130	15	20	10
MPER 183 (a partir de trozos)	73,75	32,5	145	49	110	132	154	14	13	22
MPER 183 (a partir de Planta Piloto)	68,5	29	100	46	90	100	107	17	0	7
CORP. REINA (CM 6740-7) (a partir de Planta Piloto)	65,5	27	70	46	58	70	74	19	0	4

Los valores del contenido de amilosa de los almidones y las harinas refinadas de las variedades de yuca ICA CATUMARE (CM 523-7), MPER 183 y CORP. REINA (CM 6740-7), registrados en las Tablas 5 y 6 respectivamente, son diferentes para una misma variedad, estos difieren según la técnica de extracción. Es así, que al realizar la extracción de las harinas refinadas de una variedad, el contenido de amilosa disminuye en un porcentaje superior al 50 % con respecto al contenido de amilosa obtenido si se realiza la extracción de la misma variedad por vía húmeda, tal como se observa en la Figura 8.

Figura 8. Contenidos de amilosa obtenidos según la técnica de extracción para tres variedades de yuca.

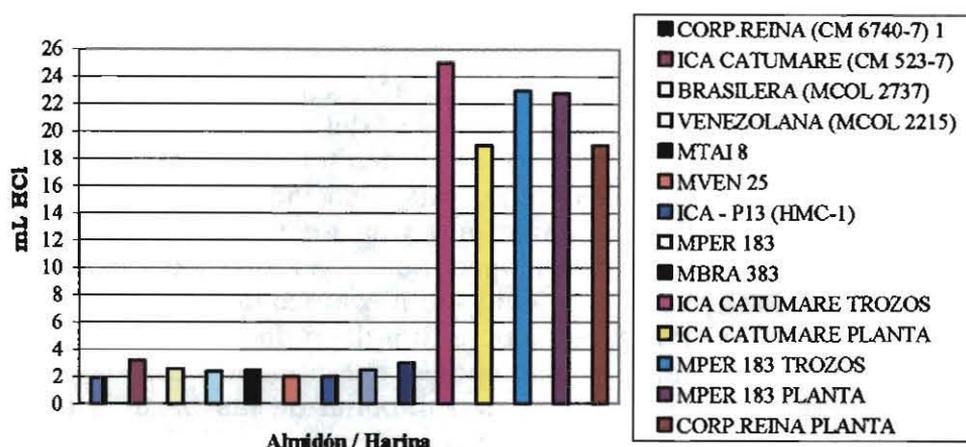


Las dextrinas obtenidas en las pruebas preliminares de dextrinización, con almidones y harinas refinadas a las condiciones de operación seleccionadas (catalizador HCl: 0.15 % en peso con respecto al almidón, temperatura de conversión: 150 °C y tiempo de proceso de 2 horas), fueron insolubles en agua fría, las viscosidades fueron altas y la coloración con solución I<sub>2</sub>/KI dió un color azul, indicativo de la presencia de almidón.

**2.2.2 Factor ácido de almidones y harinas refinadas de yuca.** Dados los resultados preliminares, con las condiciones de operación inicialmente definidas, fue necesario determinar la cantidad de ácido adecuado para llevar a cabo la dextrinización tanto para los almidones como para las harinas refinadas, el cual depende del pH y del tipo de almidón o harina utilizado. El *factor ácido* es definido como la cantidad de ácido necesario para llevar una suspensión 1:2 de almidón:agua hasta un pH de 3,0, que es el pH óptimo para iniciar la dextrinización. Este factor es determinado potenciométricamente por titulación del almidón suspendido en agua deionizada, con ácido clorhídrico 0,1 M (Acton, 1976).

La Figura 9 muestra los valores obtenidos del factor ácido para los almidones y las harinas refinadas. Como se esperaba, la presencia de materiales diferentes al almidón aumentan en gran medida el factor ácido, encontrándose que para los almidones los valores del factor ácido varían entre 2-3 mL, lo que equivale a una concentración de 0,2-0,3 % en peso con respecto al almidón y para las harinas refinadas este valor varió de 19-25 mL equivalente a concentraciones entre 2-3 %; estos niveles tan altos de HCl requeridos en la harinas, hace que en el proceso de dextrinización la dextrina tome un color muy oscuro.

Figura 9. Factor ácido de almidones y harinas refinadas.



**2.2.3 Materia prima adecuada para la producción de dextrinas.** Una vez definidos los valores del factor ácido se realizaron nuevamente pruebas de dextrinización, donde para el caso de los almidones se obtuvieron dextrinas altamente convertidas con solubilidad en agua fría de 95-100 % y bajo poder viscosante 2-10 cP, inodoras y de color crema o blanco crema.

Para las harinas refinadas se obtuvo un poder viscosante entre 100-200 cP a 20% de sólidos, siendo un rango alto, y aunque a concentraciones del 4 % fueron bajas (50-70 cP) a una concentración de 15 % fueron muy altas (superiores a 45.000 cP), lo que es un indicativo de que no hubo conversión. La solubilidad en agua fría fue nula o máxima de 5 %. Las dextrinas presentaron un color amarillo tostado y un olor a quemado característico; hecho que, se asume, se debió a la presencia de fibra y proteína en las harinas y a posibles reacciones de Maillard.

## 2.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 2

En la técnica de extracción de almidón de yuca por vía húmeda, la etapa más crítica fue el secado. El secado solar presentó inconvenientes en cuanto al largo tiempo, dado que cuando el espesor del lecho es grande se dificulta la liberación de agua; por lo tanto, fue necesario extender el almidón en grandes áreas y en capa delgada para tener una mayor velocidad de secado. Adicionalmente, si el almidón no se seca rápidamente se presentan problemas de fermentación. Por estas razones, se prefirió secar el almidón en un horno con circulación de aire caliente a 55 °C.

De los criterios de selección para la técnica de extracción más conveniente para obtener almidón de yuca apto para la producción de dextrinas, los relacionados al impacto ambiental, el tiempo de proceso y el número de operaciones son favorables para la técnica de extracción de almidón por vía seca o harina refinada. Sin embargo, a pesar de este hecho el criterio que definió la técnica de

extracción más adecuada para la obtención de dextrinas fue la calidad del producto final y facilidad de conversión a dextrina, donde se encontró que las harinas refinadas no son la materia prima adecuada para producir dextrinas de buena calidad o comparables con las dextrinas obtenidas a partir de almidones.

Los contenidos de amilosa disminuyen con la técnica de extracción por vía seca debido a que ocurre una modificación física del almidón; en este caso, la molienda en un molino de aspas produce una alteración en la estructura del gránulo del almidón y, al mismo tiempo, una disociación entre los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón y una degradación de los polímeros constitutivos de éste: amilosa y amilopectina<sup>2</sup>. Las propiedades del almidón parcialmente modificadas por medio del efecto mecánico del gránulo. Paralelo a la ruptura de los enlaces de hidrógeno, ocurre una degradación de los polisacáridos es por ello que las propiedades funcionales del almidón cambian. Como se observa en las Figuras 6 y 7, la viscosidad máxima de las harinas refinadas es menor que la de los almidones, para una misma variedad y a una misma concentración del 5 % bs. La Tabla 7 muestra que las viscosidades que indican la inestabilidad y facilidad de cocción del gel son mucho más bajas; lo que significa que las pastas obtenidas con harinas refinadas tienen mayor estabilidad en la cocción y menor tendencia a la retrogradación.

## 2.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 2

- Según los resultados obtenidos la materia prima más adecuada para la obtención de dextrinas de alta calidad es el almidón extraído por vía húmeda, ya que las en las harinas refinadas la presencia de otros materiales tales como proteína, fibra, grasa y cenizas no solamente dificultan la modificación ácida, sino adicionalmente tienen un efecto negativo sobre la calidad del producto modificado, haciéndolas inapropiadas para muchas aplicaciones dado su color amarillo quemado y olor característico.
- El factor que más incide en el proceso de dextrinización, para los almidones y harinas refinadas es el pH requerido para iniciar la conversión.
- El hecho de que las harinas refinadas no hayan podido ser convertidas a dextrinas en el grado deseado, no significa que este producto no pueda ser utilizado en otros campos. Contrariamente, estos productos poseen interesantes ventajas relacionadas con las propiedades de viscosidad y de los sitios activos de alta reactividad creados con el rompimiento de los enlaces de hidrógeno por el tratamiento mecánico, haciendo estas harinas refinadas más reactivas al tratamiento con soluciones alcalinas y al ataque enzimático.

<sup>2</sup> Meuser, Von F., Klinger, R. W. and Niedick, E. A. Charakterisierung Mechanisch Modifizierten Starke. En: Die Starke. Germany. v. 30, No. 11 (1978); p.376-384.

### 3. PRODUCTO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONVERTIDOR PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS

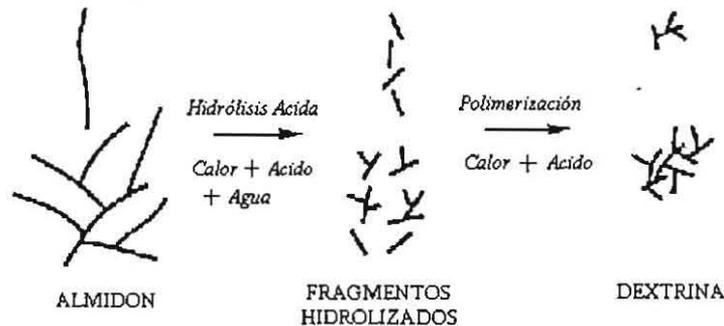
Uno de los aspectos más importantes para la producción de dextrinas es el diseño del equipo de dextrinización. El diseño de un equipo debe estar basado en el estudio del fenómeno que se da en el proceso involucrado. La selección de la tecnología más adecuada para obtener la calidad de dextrina esperada por vía seca, depende del tipo de almidón y catalizador usados, de las condiciones de operación y de las características constructivas y facilidad de control de la unidad de proceso. Es por ello, que para el diseño y la construcción del convertidor piloto para la producción de dextrinas fue necesario realizar una revisión de los aspectos de la ciencia básica y tecnológica de la dextrinización, de los equipos típicos de proceso utilizados y con esta información se realizó una selección de la tecnología de dextrinización, utilizando una metodología de selección, para finalmente realizar el dimensionamiento y diseño de la unidad piloto.

#### 3.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 3

Antes de describir las actividades para el desarrollo del producto 3, es necesario hacer una descripción de la ciencia básica de las dextrinas.

Científicamente, las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón obtenidos por medio de temperatura y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización, como lo muestra la Figura 10. La dextrina tiene la misma fórmula empírica del almidón original  $i.e (C_6H_{10}O_5)_n$ , donde en el almidón el valor de  $n$  es completamente largo pero en las dextrinas progresivamente decrece con la degradación del almidón. La dextrina es considerada químicamente intermediaria entre el almidón y la dextrosa, se presenta como un sólido amorfo color crema hasta marrón, soluble en agua fría, insoluble en alcohol. Las soluciones de dextrina son ópticamente activas y dextrógiras y su rotación específica es  $+195$ .

Figura 10. Hidrólisis y repolimerización durante la dextrinización del almidón.



Fuente: Skeist, 1977

Las tres principales reacciones que ocurren durante el proceso de dextrinización son:

- **Hidrólisis.** Esta primera etapa está dada por el rompimiento de los enlaces glucosídicos  $\alpha$  1-4 y probablemente algunos enlaces  $\alpha$  1-6; esta reacción tiene lugar en la etapa de presecado por la acción del catalizador, la humedad y el calor. El principal 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, cuando el tiempo de reacción avanza la cristalinidad aumenta y el contenido de amilosa disminuye<sup>3</sup>.

- **Tran glucosidación.** Una vez ocurre el rompimiento de los enlaces glucosídicos se da 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, este tipo de reacción es la que produce estructuras ramificadas. El proceso es completamente aleatorio y se producen ramificaciones tanto por enlaces  $\alpha$  1-6 como  $\alpha$  1-2 ó  $\alpha$  1-4. Esta reacción se favorece por el calor que se da cuando la humedad ha desaparecido. Esta etapa no modifica el peso ni la cantidad de azúcares reductores, le otorga estabilidad a la dextrina, ya que reduce la cantidad de moléculas lineales (Wurzburg, 1986).

- **Repolimerización.** Durante esta etapa el número de azúcares reductores disminuye, dado que la glucosa es capaz de polimerizar a altas temperaturas y en la presencia de cantidades catalíticas de ácido. Durante este proceso se lleva a cabo una repolimerización o unión de algunas moléculas en otras más largas.

Debido a la naturaleza del proceso de dextrinización y la complejidad molecular del almidón, un ilimitado número de dextrinas puede ser obtenido. Todas las variaciones en la estructura producen solamente dos cambios característicos. Uno es el tamaño molecular de la partícula de dextrina y el otro es un cambio en el grado de linealidad. Cada uno de estos cambios tiene un efecto específico sobre las características físicas y químicas de la dextrina. La variación en el peso molecular promedio influye en la viscosidad de la dextrina, mientras que el cambio en la linealidad influye enormemente en las características de solubilidad.

Las dextrinas pueden ser obtenidas por dos rutas: húmeda y seca.

- **Ruta húmeda.** El almidón se dispersa en agua y es calentado en presencia de un catalizador o tratado con enzimas y posteriormente secado (Linden y Lorient, 1994).

- **Tratamiento con ácido.** Se preparan por simple calentamiento de suspensiones acuosas de almidón con ácido. Son usadas para textiles o

<sup>3</sup> Naparorn A., Sujin, S. and Saiyauit, V. Morphological properties of acid-modified Tapioca starch. En: Starch/Starke. Germany. v. 52, (2000). p.376-384.

adhesivos; sin embargo, poseen cierta cantidad de dextrosa y su presencia en cantidades excesivas causa rompimiento de la película adhesiva con la consecuente disminución de su fuerza.

- **Tratamiento con enzima.** La conversión con enzimas se lleva a cabo por tratamiento de una pasta de almidón, con enzimas hidrolíticas. Según el tipo de enzima pueden clasificarse como:

➤ **Maltodextrinas.** Se obtienen por hidrólisis parcial del almidón usando una enzima llamada alfa-amilasa, esta modificación logra prevenir la retrogradación de los fragmentos lineales, ya que se hidrolizan preferiblemente estas cadenas; la mezcla hidrolizada se lleva a cabo hasta un pH 4,5, finalmente la mezcla es filtrada y llevada a un proceso de refinación y concentración a vacío hasta obtener jarabes que contienen mínimo 75% de sólidos o si se retira completamente la humedad un polvo blanco. Su Equivalente de Dextrosa (DE) varía entre 3 y 20. Tienen varios usos en la industria alimenticia según su DE, se emplean en mezclas de panadería, polvos para bebidas, condimentos, alimentos deshidratados o instantáneos, mezclas de jabones secos, encapsulantes de sabor, aromas y color, espesantes y estabilizantes de emulsiones y espumas, sustitutos de grasa, endulzantes en alimentos infantiles y dietéticos.

➤ **Ciclodextrinas.** También llamadas dextrinas de *Schardinger*. Se producen por tratamiento del almidón con la amilasa de *Bacillus macerans*, esta enzima tiene la propiedad de transformar las cadenas lineales del almidón en moléculas cíclicas. Su acción es compleja, tal que, parece catalizar al menos tres reacciones que implican los fenómenos de ciclización, acoplamiento e hidrólisis. Por su configuración, no poseen grupos reductores terminales, por lo tanto no son afectadas por soluciones alcalinas calientes, son muy resistentes a la hidrólisis ácida, cristalizan bien en agua y en soluciones acuosas de alcohol, forman complejos de inclusión con sustancias orgánicas. Entre sus principales aplicaciones industriales están la estabilización de sustancias volátiles, de emulsiones y de compuestos aromáticos, modificación de la actividad química de una molécula por protección de algunos de sus grupos funcionales, encapsulamiento de aromas y sabores, extracción de productos tóxicos de aguas residuales y tienen como potencial imitar el papel de un biocatalizador.

- **Ruta seca.** El almidón es calentado sólo o en presencia de pequeñas cantidades de un catalizador. Es la ruta que requiere menos etapas de proceso y consumo energético. Las dextrinas así obtenidas se conocen con el nombre de *dextrinas de torrefacción* o *pirodextrinas*. Existen tres clases de pirodextrinas industriales y cada una posee características propias de color, poder viscosante y solubilidad en agua fría (Balagopalan y Padmaja, 1988).

- **Dextrinas blancas.** Se obtienen por tratamiento del almidón con trazas de ácidos minerales, pH bajo, baja temperatura; 80-120 °C y tiempos de tostación relativamente cortos; 3- 8 horas. Son de color blanco similar al almidón,

poseen viscosidad variable y su solubilidad en agua fría pueden ser desde 0 a 90 %. El grado promedio de ramificación es calculado alrededor del 3 %. En estas dextrinas la hidrólisis es la principal reacción, obteniéndose almidones depolimerizados por ruptura de enlaces  $\alpha$  (1,4). Su empleo es principalmente en la industria de confitería y de adhesivos.

- **Dextrinas amarillas o canarias.** Son obtenidas a temperaturas mayores; 150- 220 °C, pH bajo y por largo tiempo de tostación; 6-18 horas. Presentan un distintivo color que va desde crema a amarillo y tienen alta solubilidad. La mayoría son solubles 100 % en agua fría. El grado promedio de ramificación es 20 %. Estas dextrinas resultan de la combinación de dos mecanismos hidrólisis y repolimerización, los cuales tienen lugar en sucesión. Forman excelentes adhesivos para la industria del papel, se emplean también como aglutinantes, plastificantes y flexibilizantes.
- **Gomas británicas.** Se forman cuando el almidón sólo se calienta a temperaturas altas; 130- 220°C, a alto pH, y por un tiempo largo de proceso; 10-20 horas. El rompimiento hidrolítico es mínimo y las reacciones de dextrinización son lentas. Son de color marrón oscuro, tiene gran variación en solubilidad y poder viscosante. El grado de ramificación es del orden 20-25%. Tienen aroma de caramelo.

A continuación se describen las actividades desarrolladas para el logro del producto 3.

**3.1.1 Análisis de la información técnica sobre equipos típicos de dextrinización.** La primera mención de la producción de dextrinas por calentamiento del almidón seco data de 1804, donde Roard<sup>4</sup> reportó que Bouillon-Lagrange obtuvieron productos a partir de materiales domésticos que podían ser usados en reemplazo de las gomas. El método usado en este trabajo consistió en la preparación de una goma por medio de un fuerte calentamiento del polvo de almidón en un utensilio de hierro con agitación constante. En 1811, Kirchoff, Vauquelin y Bouillon-Lagrange<sup>5</sup> publicaron casi simultáneamente sus resultados sobre la modificación del almidón; el primero describió un producto gomoso y jarabes de azúcares a partir de almidón calentado con ácido, mientras el segundo y tercero obtuvieron un producto gomoso soluble a partir de la tostación del almidón. Al principio se consideró esta sustancia gomosa como idéntica a los extractos vegetales, con una apariencia similar en solución a la goma arábiga.

Sin embargo, el descubrimiento que marcó el gran rol en el desarrollo de las pirodextrinas ocurrió en 1821 en una fábrica textil localizada en Dublín, Irlanda, donde almidón de papa almacenado junto a la fábrica fue accidentalmente

---

<sup>4</sup> Roard, J. L. Sur les tintures en noir. Et la fabrication des encres. Ann. Chim. Phys., 1, 50 (1804). p.220-224.

<sup>5</sup> Tomasik, Piotr, Wiejak, Stanislaw and Palasinski, Mieczyslaw. The Thermal Descomposition of carbohydrates. Part II: The Descomposition of Starch. En: Advances in carbohydrates Chemistry and Biochemistry. London: Academic Press, 1989. v. 47, p. 279-343.

expuesto al calor del fuego, posteriormente los trabajadores notificaron que el almidón se tornó de un color marrón oscuro y que cuando se disolvía en agua formaba un líquido viscoso que presentaba propiedades adhesivas. En 1833 Biot y Presoz<sup>6</sup>, trataron el almidón de papa en presencia de ácido sulfúrico diluido y le dieron el nombre de "*dextrina*" debido a su rotación óptica de carácter dextrógiro en soluciones acuosas. Bloede en 1867, pareció ser el primero que trabajó con el proceso de tostación ácida a escala comercial en América. Naegeli en 1874, mostró que una hidrólisis parcial de los gránulos de almidón producía un residuo que contenía cadenas cortas. Sus productos y los desarrollados por Lintner en 1886, constituyeron las bases de la tecnología actual de almidones.

En los principales estudios realizados sobre el proceso de dextrinización (Brimhall, 1944), se encontró que las dextrinas tienen de 60-70 unidades de glucosa y en otros (Wolfrom *et al.*, 1961) se describió la naturaleza de las reacciones involucradas en el proceso de obtención de pirodextrinas. Posterior a estos estudios, en el siglo pasado se desarrollaron procesos industriales así como mejoramientos en toda la tecnología de la manufactura, análisis y utilización de las dextrinas. Muchos de estos estudios son los citados en numerosas patentes que describen el proceso de dextrinización por ruta seca, dentro de las más importantes se citan las registradas en el Anexo B.

Dado que en el proceso de producción de dextrinas se usan catalizadores ácidos, los equipos de dextrinización son usualmente construidos en acero inoxidable, cobre o varias aleaciones resistentes a la corrosión. La información tecnológica disponible en la literatura, permitió identificar diferentes equipos usados para el proceso de dextrinización.

- **Tostador convencional.** Constituye el primer equipo de tostación para la producción de dextrinas. Consiste en un horno en forma de cubeta o tambor, interiormente muy liso, con agitador rotatorio de tipo cinta o de paletas que mezcla lentamente la masa acidificada de almidón y además permite el traslado del material hacia una compuerta corrediza para la descarga. Puede poseer un ventilador para extraer los productos volátiles. Para introducir el almidón al equipo son usadas aberturas de carga provistas de corredera, localizadas en la tapa, que sirven también como toma muestras. El método de calentamiento es indirecto usando vapor, baño de aceite, gases de combustión o aire caliente los cuales circulan a través de serpentines en las paredes y en el fondo del equipo. Poseen una capacidad desde 100 kg hasta varias toneladas y manejan temperaturas desde 120-200 °C.

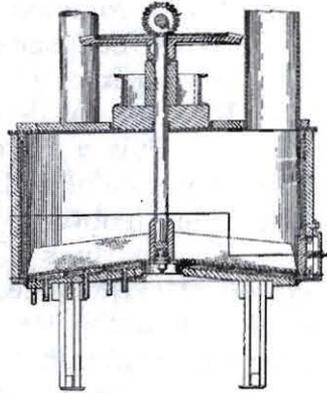
Las principales desventajas de este tipo de convertidores son la mala ventilación, la falta de uniformidad de la temperatura en toda la masa y la baja transferencia de calor o velocidad de calentamiento por unidad de superficie. Difícil evacuación de vapores lo que ocasiona aumento de reacciones hidrolíticas, generando alto contenido de azúcares reductores lo que es indeseable si la dextrina va a ser usada para la fabricación de adhesivos. Escaso movimiento del material lo que

---

<sup>6</sup> Biot, J. B. and Presoz, J. F. Memoire sur les modifications que le fécule et la gomme subissent sous l'influence des acides. Ann. Chim. Phys. (2) 52, 1833. p. 72-90.

puede ocasionar quemado y oscurecimiento del producto. Equipos muy grandes, de difícil construcción y a la vez costosos.

Figura 11. Tostador convencional.



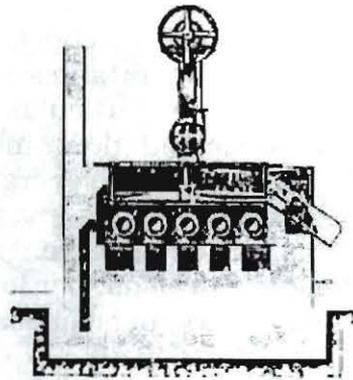
Fuente: ROWE, William and HAGEN, Carl. Dextrine Cooker. Chicago. US Patent 2.332.345, Octubre 19, 1943.

- **Equipo Blattman.** Consta de una autoclave o un recipiente provisto de una camisa de calefacción y un mecanismo de agitación, generalmente de forma cilíndrica y horizontal. Su principal característica es que en él se realizan todas las operaciones de proceso: acidificación, secado, tostación y enfriamiento. La operación puede llevarse a cabo en condiciones de vacío o bajo una atmósfera no oxidante (gases inertes como nitrógeno, dióxido de carbono o dióxido de azufre). La torrefacción del almidón en un ambiente libre de oxígeno permite evitar fenómenos limitantes como oxidación, coloración u otros y es una de las ventajas de este equipo. Cuando la degradación se ha alcanzado, el material es enfriado manteniendo el ambiente inerte hasta obtener como producto final una dextrina clara, blanca o amarillo pálido, con buenas propiedades adhesivas, poca presencia de sustancias reductoras y homogénea<sup>7</sup>.

La versatilidad es su principal ventaja y las dextrinas producidas son más homogéneas que las obtenidas en otros equipos. Sin embargo, en este equipo el control de variables es el factor dominante. En general, los equipos multipropósito, no cumplen de manera óptima todas las funciones que pretenden efectuar. Al igual que los tostadores convencionales, su principal desventaja es la baja transferencia de calor por unidad de superficie, por el secado de tipo indirecto, la difícil ventilación y la necesidad de tener un sistema de mezcla eficiente para garantizar que el almidón no se queme y tanto la calidad como la productividad no se vean afectados. Estos equipos, por lo general, son de bajas producciones. La presencia de vacío aumenta los costos de producción al igual que el uso de un gas inerte.

<sup>7</sup> Staerkle, Max A. and Meier, Emil. Production of starch conversion products. Waedenswil. US Patent 2.698.818. January 4, 1955.

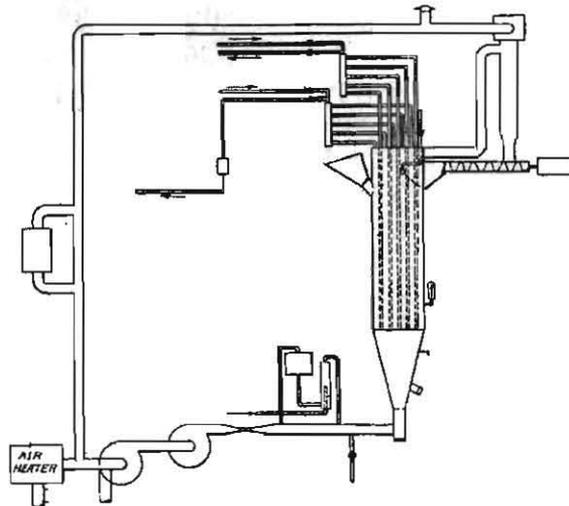
Figura 12. Equipo Blattman.



Fuente: Equipo similar al Blattman. Ullmann, Fritz. Enciclopedia de Química Industrial. Dextrina. Gustavo Gili: Barcelona, 1931. Tomo V. p. 89.

- **Lecho fluidizado.** En este equipo el almidón se mantiene en una condición fluidizada, esto se logra por el paso de un gas a temperatura y velocidad deseadas, generalmente aire, a través del almidón. Lo que se busca es una mayor homogenización de la temperatura del material en un proceso continuo. Este equipo maneja capacidades entre 4-6 t/h. Los flujos de aire que se manejan son de 8-15 m/s. La temperatura del aire para el presecado está entre 55-85 °C y para la conversión entre 120-150 °C. El consumo energético para la primera etapa es aprox. 13,7 KW y para la conversión de 36,6 KW.

Figura 13. Lecho fluidizado.



Fuente: Fredrickson, Ralph E. C. Dextrinization process. Decatur. US Patent 2.845.368. July 29, 1958.

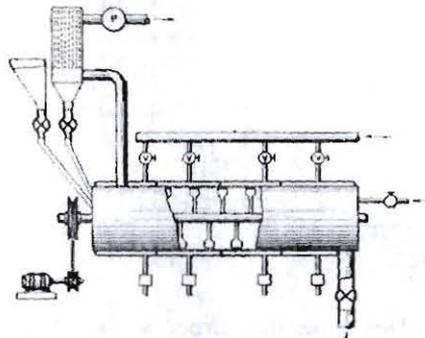
Sus ventajas radican en una alta tasa de transferencia de calor por superficie de almidón y en la fácil y rápida ventilación que se logra en la dextrina, por lo cual los tiempos de proceso son más cortos comparados con las otras tecnologías. Sin embargo, se deben tomar precauciones para evitar riesgos de explosión por el

manejo de partículas finas a altas temperaturas; los almidones no deben entrar en contacto con superficies calientes, chispas o llamas o descargas de electricidad estática cuando están suspendidos en aire. La concentración de polvo en el aire y su tamaño de partícula, son factores importantes que determinan el grado de explosión. Cuanto más finas sean las partículas, tanto más fácilmente se incendian y tanto mayor es la velocidad de combustión (13). Unas de sus principales desventajas son el alto consumo de energía y la generación de polvos, adicional a que es un equipo que requiere altas inversiones por la gran cantidad de equipos auxiliares como intercambiadores, ciclones, ventiladores, colectores de polvo. Aunque el secado del almidón es rápido, por lo general la partícula seca no es homogénea, la dextrina tiende a formar grumos. Finalmente, la dextrina se somete a molienda y tamizado.

- **Horno rotatorio.** Este es un sistema continuo que supera el problema asociado con la ventilación de los tostadores convencionales. Consiste de un secador rotatorio al cual se alimenta continuamente almidón previamente secado dentro de hornos rotatorios dispuestos en serie, en donde se utiliza aire caliente en contracorriente al flujo de almidón. El aire es usado para arrastrar el vapor de agua formado en las primeras etapas de proceso. También se usa vacío para facilitar la evacuación de vapores a bajas temperaturas y así minimizar la hidrólisis. La capacidad de producción es variable hasta 4 t/h, las temperaturas de operación entre 115-130 °C y la velocidad del aire es 1,2 m/s. La potencia instalada varía hasta 119 KW.

Este equipo es adecuado para grandes producciones de dextrinas, pero con frecuencia los lotes no son de calidad estándar debido al difícil control de las condiciones de operación en el equipo. Generalmente, los equipos son grandes y costosos. Con frecuencia operan al vacío lo que aumenta los costos de producción. El secado con aire sobre el almidón en polvo, requiere ciclones recolectores de polvos finos y filtros para evitar el arrastre del almidón.

Figura 14. Horno rotatorio.

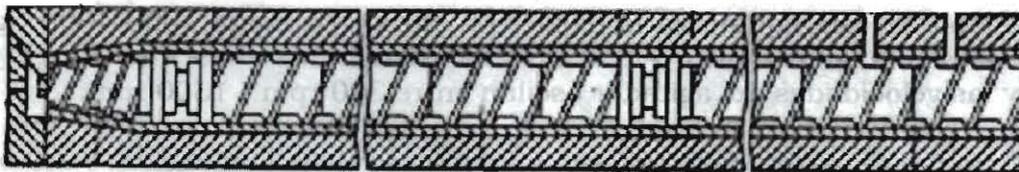


Fuente: Taylor, Gerwin G. and Hay, Julian A. Method of modifying starch. Maine. US Patent 3.527.606. September 8, 1970.

- **Turbo-Dryer.** Este equipo, de tecnología italiana, consta de un cilindro horizontal con una chaqueta de calefacción por medio de vapor o fluidos térmicos. El material húmedo es alimentado junto con un flujo de aire caliente,

involucrar el efecto de la presión en la modificación física de almidones con el fin de utilizar bajas temperaturas de trabajo desde 60-130 °C y lograr mayores calidades del producto final. Debido a la necesidad de operar con bajos niveles de humedad, se requiere una gran potencia en el motor del extrusor, la presión requerida en el dado de extrusión se encuentra en el rango de 500 – 1600 psig. Es posible, la utilización de aditivos como gomas o surfactantes para mejorar el procesamiento.

Figura 16. Extrusor.



Fuente: Dudacek, Wayne, Engels, Joyce, Giesfeldt, Todd and Vital, Gregory. Starch products having hot or cold water dispersibility and hot or cold swelling viscosity. Bedford. US Patent 6.001.408. December 14, 1999.

Aunque es un sistema bastante eficiente, el costo de los equipos es bastante alto, que se justifica sólo para altos niveles de producción. Las desventajas de este equipo son el alto consumo de potencia, lo que puede llegar a incrementar los costos de operación. La presencia de aditivos puede deteriorar la calidad del producto. En este proceso es muy importante el manejo de la humedad para evitar la hidrólisis y la gelatinización del almidón, lo que generaría una presión demasiado alta debido a la compactación que sufre el almidón durante la gelatinización.

- **Secador de lecho fijo.** Uno de los mejores sistemas de secado es el secado directo, utilizando aire caliente como medio calefactor. Dado que la producción de pirodextrinas se da principalmente por efecto térmico, un sistema de secado eficiente permite una buena conversión del almidón. Dentro de este sistema, el de circulación de aire a través de lecho presenta las mejores ventajas en cuanto a velocidades de secado. El material a secar debe poseer un tamaño de partícula que evite su arrastre y, por ende, la generación de polvos en el proceso. Es por ello que el secado en lecho fijo de partículas formadas y porosas permiten que el aire tenga una mayor área de contacto, y por lo tanto la velocidad de secado es mayor.

El equipo de lecho fijo, se propone como una nueva tecnología de dextrinización, ya que además de realizar el presecado de una manera adecuada, permite su utilización en el proceso de conversión, aumentando la temperatura del almidón de una forma rápida y homogénea mediante la utilización de aire como agente calefactor. Los equipos pueden ser secadores de bandejas (proceso batch) o secadores de tunel (proceso continuo).

donde un turbo agitador mantiene el material centrifugado contra las paredes. El aire usado en el proceso de secado es filtrado y luego calentado en un intercambiador de calor antes de ser inyectado simultáneamente con el material húmedo. En esta forma, el calentamiento es hecho por convección y conducción; indirectamente por conducción desde las paredes calentadas del cilindro y directamente por convección por medio del aire precalentado. Los vapores son liberados por medio de un sistema de aspiración. La separación de las partículas secas tiene lugar en un sistema de ciclones por medio de la diferencia de gravedad específica.

La capacidad de este equipo varía desde 50-200 kg /h hasta 1000-4000 kg/h y su tamaño se encuentra entre 2.5-18 m<sup>3</sup>, la potencia instalada: 7.5-35 KW (10 - 47 HP) y las velocidades del agitador oscilan entre 300 rpm - 1500 rpm.

Este equipo fue diseñado para una serie de procesos como oxidación, calcinación, evaporación de agua a partir de cristales, tostación, esterilización, dextrinización, caramelización entre otros. Es un equipo de una sola unidad, altamente eficiente en la transferencia de calor y elimina la necesidad de realizar operaciones en varias etapas. El tiempo de residencia es muy corto, por lo que la modificación del almidón puede ser baja para algunos procesos. Debe poseer un eficiente sistema de control sobre las variables de proceso. Al igual que el sistema de lecho fluidizado, una de sus principales desventajas es la generación de polvos. Aunque el consumo de potencia para calefacción puede ser bajo, la potencia para que el eje gire a esas velocidades es muy alta. Este equipo junto con el lecho fluidizado son operativa y económicamente adecuados para productos especializados y de altas producciones, como los de tipo farmacéutico o alimenticio.

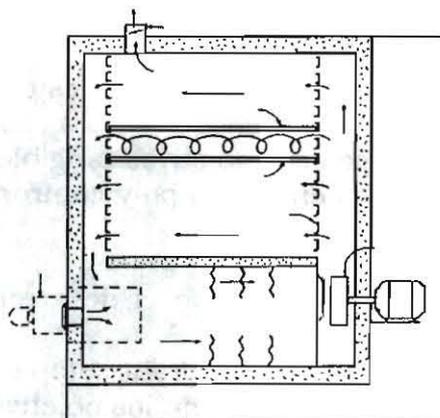
Figura 15. Turbo-Dryer (VOMM IMPIANTI E PROCESSI trademark)



Fuente: Corrado, Vezzani. A method of modifying starch. Milano. EP 710.670. August 5, 1996 and <http://www.vomm.it/tdrying.htm>.

- **Extrusor.** Recientes estudios han demostrado que es posible obtener almidones modificados por efecto térmico y mecánico, adicionado al efecto químico sobre el almidón, con el uso de un equipo extrusor. Este proceso

Figura 17. Secador de lecho fijo.



Fuente: Catalogue Despatch. Laboratory and Production Ovens. Batch System.

La capacidad de este equipo varía desde 0,1-1 m<sup>3</sup> de cámara de trabajo, la potencia instalada es de consumo eléctrico de 6-42 KW (1/3-2 HP) o de gas desde 40.000 hasta 150.000 BTU y varía desde 325-1700 rpm. El rango de temperaturas que opera es desde temperatura ambiente hasta 260-455 °C.

**3.1.2 Selección del equipo de dextrinización.** La elección del equipo más conveniente para la producción de dextrinas, se realizó utilizando un método de selección de tecnología. El método de selección utilizado fue la herramienta Ntech-GDSS<sup>8</sup>, utilizada para el soporte de decisiones en tecnología o toma de una decisión sobre innovación o mejoramiento tecnológico, la cual describe el proceso de decisión multicriterio y permite el análisis de factores cualitativos y cuantitativos evaluando a la vez factores subjetivos. Esta herramienta se diseñó recopilando y analizando los conocimientos tecnológicos existentes en la literatura sobre los equipos de dextrinización, analizando sus ventajas y desventajas, y de recolectó la opinión de personas expertas en el tema; de esta forma se delimitaron las etapas a seguir y las relaciones existentes entre éstas.

El proceso de decisión se dividió en tres *niveles de trabajo* independientes pero interrelacionados que se dividen en cinco *etapas*. La metodología seguida se esquematiza en el Anexo C. Los niveles de trabajo son:

- **Modelo de análisis de los criterios de decisión.** En este nivel se analiza por qué la nueva tecnología es necesaria, examinando sus prioridades y el impacto que tendrá. Se determinan los criterios de juicio con los cuales se evaluarán las tecnologías existentes, para finalmente asignarles un valor de peso.
- **Modelo de análisis de tecnologías disponibles.** Aquí se analiza el comportamiento de cada una de las alternativas técnicas frente a las

<sup>8</sup> J. Noori, Hamid. The design of an integrated group decision support system for technology assessment. *En* : Research & Development Magagement. Vol. 25, no. 3; (1995); p. 309-322.

necesidades planteadas, calificando el desempeño de cada una de ellas frente a los criterios de juicio seleccionados y calificados en el modelo anterior.

- **Modelo de evaluación de desempeño.** En este último nivel se evalúa el desempeño real de la tecnología elegida frente a las expectativas generadas, para llevarlo a cabo se fijan metas u objetivos tangibles a nivel experimental de forma que puedan ser medidos en el tiempo y confrontarlos con los resultados esperados.

Las etapas requeridas para llevar a cabo el desarrollo de los tres niveles de trabajo son:

- **Establecimiento de prioridades.** Esta etapa es decisiva, pues las prioridades se relacionan directamente con los objetivos finales de la tecnología a seleccionar. Para lo cual se hace una definición de los resultados que se desea obtener con la tecnología a seleccionar, que servirán para establecer los criterios de juicio a través de los cuales se calificarán las tecnologías disponibles.
- **Criterios de evaluación.** Aquí se eligen los criterios para evaluar las tecnologías seleccionadas, así como la metodología para manejar la interacción entre ellos. Este paso es vital para darle objetividad al proceso de selección, por lo que debe manejarse con cuidado la asignación del peso de cada uno de los criterios elegidos. Cada uno de los integrantes del grupo de trabajo o expertos en el tema, califica los criterios de evaluación dando un porcentaje de importancia entre 0 y 100; calificaciones ( $f_i$ ), que luego se promedian ( $(f_{i1}+f_{i2}+f_{i3}) / 3$ ). El peso relativo para cada criterio se calcula tomando la calificación obtenida para cada uno y dividiéndolo entre la suma de todas las calificaciones de los demás criterios ( $f_i / \sum f_n$ ), cumpliéndose que  $\sum f_i = 1$ .
- **Evaluación de tecnologías.** Esta etapa corresponde a la calificación del desempeño de cada una de las tecnologías disponibles, frente a los criterios de evaluación seleccionados. Para llevar a cabo esta etapa, se usa el método de calificación a través de matrices  $[A] \times [B] = [C]$ , empleado por Noori, por considerarse el más adecuado en cuanto a los beneficios que otorga, ya que muestra de manera eficiente las apreciaciones respecto del desempeño global de cada tecnología. La matriz A sintetiza la calificación de cada tecnología frente a los criterios de juicio, asignando una calificación entre 1-10, de la siguiente manera: Mejor opción: 10; Segunda opción: 8; Tercera opción: 6; Cuarta opción: 4; Quinta opción: 2; Peor opción: 1. La matriz B muestra la ponderación, peso, de cada uno de los criterios de juicio y la matriz C los puntajes totales de cada tecnología, resultado de la multiplicación de las matrices A y B.
- **Resultado de la calificación.** Una vez obtenidos los puntajes, en esta etapa se procede a tomar la decisión buscada. La cual será, por supuesto, la tecnología que mayor puntaje tenga.

- **Evaluación de desempeño.** Una vez tomada la decisión de cuál tecnología es la más adecuada, es necesario hacer un seguimiento para determinar si esta tecnología realmente cumple con las expectativas planteadas. Esto se logra con el desarrollo experimental, usando métodos de evaluación que se puedan monitorear en el tiempo y confrontar con los resultados esperados.

**3.1.3 Definición de los criterios de diseño para la construcción de la unidad piloto para la producción de dextrinas.** En el proceso de producción de dextrinas existen dos etapas de particular importancia, el mezclado del catalizador y la tostación. En la primera etapa es necesario realizar una distribución homogénea del catalizador sobre la masa de almidón, para evitar puntos en los cuales haya acumulación de éste y produzca quemado en las partículas y para ello se utiliza un equipo mezclador. Dado que el equipo de dextrinización seleccionado fue un secador de lecho fijo, para la secar la dextrina esta debe estar formada antes de la etapa de secado, lo cual puede ser realizado en un equipo pelletizador. Los pellets representan una buena opción para facilitar su secado; por una parte para evitar la generación de polvos y por otra, para aumentar la velocidad de secado. Adicionalmente, una de las ventajas que tiene la formación de pellets, previo al proceso de dextrinización, es que como materia prima se puede partir del almidón que queda decantado después del proceso de extracción de almidón por vía húmeda, el cual tiene una humedad entre 45-50% que es la apropiada para realizar el pelletizado. Finalmente, el presecado y tostación se lleva a cabo en el secador con circulación de aire a través de lecho fijo.

- **Mezcla homogénea del catalizador.** El mezclado uniforme del catalizador en toda la masa de almidón es la etapa crítica en todos los equipos de dextrinización. El tipo de mezclador más adecuado es el utilizado para pastas duras, dado que los contenidos de humedad del material, luego de la adición del catalizador, se encuentran alrededor del 50%. Los equipos típicos para este tipo de materiales son las amasadoras, los mezcladores extrusores, los rodillos mezcladores o las masas trituradoras.
- **Formado adecuado del almidón.** Los equipos de formado más utilizados son los pelletizadores, extrusores o molinos con dado de extrusión y cuchilla externa.
- **Distribución y control uniforme de temperatura en el presecado y tostación del almidón.** El mejor tipo de secador es aquel en el cual la humedad sea removida rápidamente, bajo buenas condiciones de ventilación y sin excesivo sobrecalentamiento del almidón, porque cuando esto ocurre el almidón forma grumos cubiertos con almidón gelatinizado, lo que impide la expulsión total del agua. Se ha encontrado que con la remoción de los vapores de la superficie del material en el tostador, el agua es más rápidamente eliminada y una mejor conversión es obtenida, condición fácilmente alcanzable, mediante secado directo, con el uso de aire como medio calefactor.

### 3.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 3

Para seleccionar el equipo de dextrinización más adecuado en cuanto a costo de equipos, facilidad de proceso, control y mantenimiento y a las características deseadas en el producto final, se realizó un análisis de la información recopilada de ciencia y tecnología de la dextrinización y de los equipos existentes estudiados en el numeral 3.1.1 teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas.

**3.2.1 Equipo de dextrinización seleccionado.** La metodología de selección utilizada se describe a continuación.

- **Establecimiento de prioridades.** En esta etapa se hizo una evaluación de los equipos típicos de dextrinización existentes y se planteó realizar la elección de un equipo viable desde el punto de vista de los aspectos técnicos, operativos, económicos, ambientales y de calidad del producto final.
- **Criterios de evaluación.** Los criterios de evaluación se determinaron por medio de un análisis de las variables más importantes que influyen en los equipos de dextrinización. Según el análisis de la información respecto de los equipos y los productos que se obtienen en ellos, se seleccionaron como criterios de evaluación de los equipos, los presentados en la Tabla 7. A cada uno de los criterios de evaluación se le asignó un valor ponderado de peso relativo, de acuerdo con la importancia atribuida en la selección de los equipos. La evaluación fue realizada por tres personas con experiencia en el tema de la dextrinización por vía seca<sup>9</sup>, la calificación obtenida fue promediada y el resultado es lo que constituye la matriz B.

Tabla 8. Calificación de los criterios de evaluación.

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Peso relativo promediado</b>	<b>Peso Matriz B</b>
<i>A. Capacidad de producción</i>	76,7	0,083
<i>B. Tipo de proceso: Continuo o Lotes</i>	66,7	0,072
<i>C. Número de equipos</i>	63,3	0,069
<i>D. Costo de equipos de proceso</i>	76,7	0,083
<i>E. Costo de equipos auxiliares</i>	80,0	0,087
<i>F. Consumo de energía</i>	83,3	0,090
<i>G. Calidad del producto final</i>	93,3	0,101
<i>H. Facilidad de operación y control.</i>	80,0	0,087
<i>I. Flexibilidad del proceso</i>	83,3	0,090
<i>J. Tiempo de proceso</i>	80,0	0,087
<i>K. Impacto ambiental</i>	63,3	0,069
<i>L. Facilidad de mantenimiento</i>	76,7	0,083

<sup>9</sup> M Sc. Basto, Gustavo. Docente U. Nal Btá, Moreno, Leonardo. Ing. Químico. Bases para el diseño de una unidad de dextrinización de almidón por la vía seca. UNal. Dpto Ing. Química. Bogotá, 2003 y Aristizábal, Johanna. Ejecutora del proyecto.

- **Evaluación de tecnologías.** La calificación del desempeño de cada tecnología frente a los criterios de evaluación seleccionados y calificados en el nivel anterior, se realizó asignando una calificación entre 1-10, de la siguiente manera: Mejor opción: 10; Segunda opción: 8; Tercera opción: 6; Cuarta opción: 4; Quinta opción: 2; Peor opción: 1. Esta calificación también fue realizada por las tres personas con experiencia en el tema. De esta forma se elaboró la matriz C que corresponde a la Tabla 9, donde las columnas representan los criterios de evaluación y las filas los equipos de dextrinización.

Tabla 9. Calificación de las tecnologías.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	4,0	4,0	6,7	6,7	8,0	4,0	3,7	7,3	4,0	1,3	6,0	7,3
2	5,3	4,7	8,7	6,0	7,3	3,3	5,3	6,0	2,7	5,3	6,7	6,0
3	8,7	10,0	6,0	2,7	4,0	6,0	9,3	5,3	6,0	10,0	6,0	4,7
4	5,3	4,7	6,7	4,7	6,0	4,0	6,0	6,0	4,7	5,3	6,0	6,0
5	8,0	9,3	6,7	3,7	4,7	6,0	8,7	5,3	6,7	9,3	5,3	5,3
6	7,3	8,0	6,7	2,3	4,7	3,3	8,0	5,3	5,3	7,3	8,7	4,7
7	6,7	5,3	5,3	8,0	7,3	6,7	8,7	8,0	8,7	8,0	8,7	7,3

Una vez construidas las Matrices A y B, se obtuvo la Matriz C como resultado de la multiplicación de las dos matrices. La matriz C, representada en la Tabla 10, contiene la calificación final de cada uno de los equipos de dextrinización.

Tabla 10. Resultados de la calificación.

Equipos de dextrinización	Calificación
1. Tostador convencional	5,2
2. Equipo Blattman2	5,5
3. Lecho Fluidizado	6,6
4. Horno rotatorio	5,4
5. Turbo-Dryer	6,6
6. Extrusor	5,9
7. Secador lecho fijo	7,5

- **Resultado de la calificación.** De acuerdo con la calificación obtenida el equipo de dextrinización más apropiado con base en los mejores resultados de tipo técnico, operativo, económico, ambiental y de producción, es el secador de lecho fijo, dado que fue el equipo que obtuvo el mayor puntaje en la calificación.

- **Evaluación de desempeño.** Una vez seleccionado el equipo de dextrinización, el secador de lecho fijo, se procedió al diseño y dimensionamiento de la unidad piloto, para luego determinar las condiciones de operación y la línea de proceso y comprobar si el equipo diseñado cumplió con los criterios de evaluación por los cuales fue elegido.

**3.2.2 Dimensiones y parámetros de diseño de la unidad piloto de producción de dextrinas.** Dado que en el equipo de dextrinización seleccionado se llevan a cabo solamente las etapas de presecado y tostación, fue necesario diseñar los equipos auxiliares para las etapas de mezcla del catalizador y formado del almidón. Los tres equipos en conjunto que conforman la unidad piloto para la producción de dextrinas son: el mezclador, el extrusor-formador y el secador de bandejas.

- **Mezclador.** Para la realización de esta etapa se utilizó una mezcladora Marca HOBART, modelo C-100, la cual se muestra en la Figura 18. Las características de la mezcladora son: Voltaje: 115, PH: 1, CY: 60, HP:  $\frac{1}{4}$ , Amp: 5,6, rpm: 1725.

Figura 18. Mezcladora marca HOBART.



- **Extrusor o Formador.** El equipo más conveniente que se encontró en el mercado para realizar el formado del almidón fue un molino de carne tipo industrial No. 32. El material de construcción de este equipo es fundición gris y sus dimensiones son

Carcasa o cilindro horizontal:

L = 20 cm D= 8,7 cm

Tornillo sin fin:

L = 18 cm D = 8 cm L/D = 2,25

Disco de extrusión:

D = 9,9 cm. Número de agujeros: 108. D agujero = 4,7 mm. (Se puede tener la posibilidad de cambiar el diámetro del orificio, con el objetivo de estudiar diferentes tamaños de pellets).

Dado que el sistema de operación de este equipo es manual, se realizó una adaptación para operar el equipo de forma mecánica, por medio de un motor adaptado directamente al extrusor-formador. Para ello fue necesario realizar el cálculo de la potencia del motor a seleccionar, para ello se determinó la potencia de extrusión o potencia de rotación la cual es la potencia absorbida por el tornillo extrusor o el momento de fuerza en rotación que es necesario suministrar al tornillo para que de una vuelta. Este es también llamado torque y puede ser calculado experimentalmente por medio de un aparato de medida llamado torquímetro.

Para la determinación del torque se preparó la mezcla almidón-agua con una humedad del 45 % con el objeto de obtener una mezcla pelletizable, que formara un pellet consistente no desintegrable fácilmente y que permitiera su manipulación. La mezcla se introdujo en el extrusor-formador y se midió el torque por medio del torquímetro acoplado al tornillo extrusor.

El torque es independiente de la velocidad de extrusión. La potencia de extrusión es calculada con el torque experimental y la velocidad de giro del tornillo extrusor, la cual se varió en el rango de 10-60 rpm. Experimentalmente se determinó que el torque de extrusión mínimo fue 100 lbf pie. Sin embargo, generalmente es necesario aplicar un factor de seguridad ( $f$ ) del 25 % para el cálculo del torque real ( $T$ ).

$$T = T_{\text{experimental}} * f$$

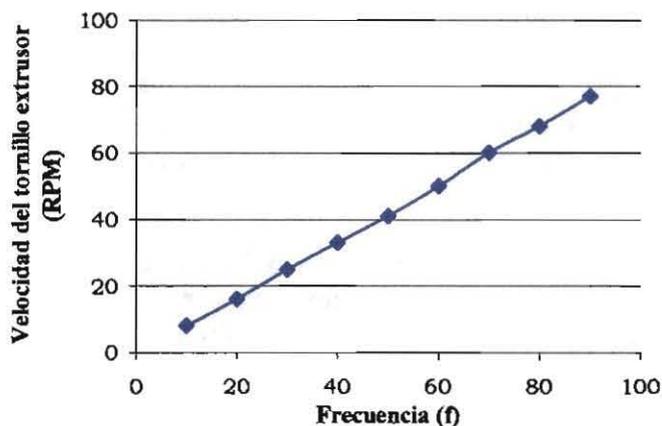
$$T = 100 \text{ lbf} * \text{pie} \frac{4,448 \text{ N}}{\text{lbf}} \frac{m}{3,281 \text{ pie}} = 135,57 \text{ N} \cdot m$$

Multiplicando por el factor de seguridad:

$$T = 135,6 \text{ N} \cdot m * 1.25 = 169,46 \text{ N} \cdot m$$

La velocidad de equipos de extrusión varía entre 20-50 rpm según referencias encontradas para sistemas de pelletización (Lim y Ho Dac, 2001), esta depende de las características del pellet formado y de la productividad requerida. Para efectos prácticos, se utilizó un variador de velocidad para evaluar diferentes velocidades de extrusión. Las características del variador son: Marca Yaskawa, modelo GPD 305/J7, potencia 1,5 HP, corriente de salida 50 Amp., alimentación 220 V, dimensiones 68x128x122 mm. La Figura 19 muestra la relación entre la variación de frecuencia y la velocidad del tornillo extrusor.

Figura 19. Relación entre la variación de frecuencia y la velocidad del tornillo extrusor.



Así, para una frecuencia de 60 se obtiene una velocidad de giro de 50 rpm y la potencia de extrusión es 1,19 HP. La Figura 20 muestra la relación entre la velocidad de extrusión y la potencia del motor.

La velocidad de giro del tornillo extrusor ( $\omega$ ) es:

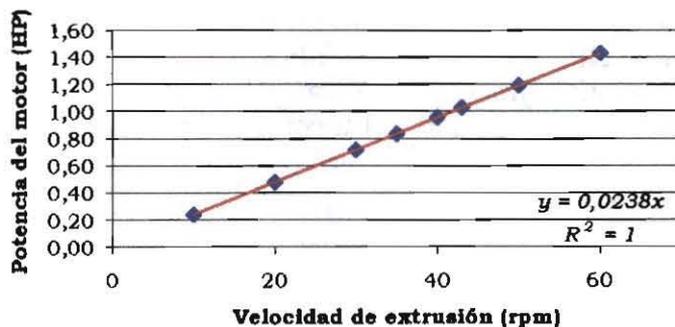
$$\omega = 50 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{ rev}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 5,24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La potencia de extrusión será:

$$\text{Potencia de extrusión} = T * \omega = 169,46 \text{ N} \cdot \text{m} * 5,24 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 887,97 \text{ Watts}$$

$$\text{Potencia de extrusión} = 887,97 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ W}} = 1,19 \text{ HP}$$

Figura 20. Potencia del motor para diferentes velocidades de extrusión.



La ecuación de la curva de la Figura 20 es:  $P = 0,0238 \omega$ ;  $R^2=1$ , la cual relaciona la potencia del motor para el pelletizado en HP, en función de la velocidad de giro del tornillo extrusor.

Las características del motor-reductor seleccionado son: Marca Getriebebau Nord, modelo SK 20-80L/4, potencia 1 HP, trifásico, velocidad de entrada 1720 rpm, torque nominal 143 Nm y factor de servicio de 1,5 (50 %). El reductor tiene una relación 34/1; lo cual da una velocidad máxima de salida del motor de 50 rpm, la cual puede variarse a niveles más bajos con el variador de velocidad.

Una vez calculada la potencia de extrusión, se definieron las características del mezclador-extrusor, estructura de soporte y accesorios; los cuales incluyen motor-reductor, variador de velocidad, tolva de alimentación, guarda-motor y cuchilla cortadora. La construcción se realizó según las siguientes especificaciones:

- El acople del molino al motor-reductor se realizó en forma directa.
- Se dejó una distancia mínima entre el eje del tornillo del molino y la tapa de la estructura de soporte de 13 cm, para permitir colocar la bandeja de recepción del material (la cual tiene un altura de 2.5 cm). El ajuste del molino a esta altura se realizó mediante la implementación sistema de bloques de caucho.
- El variador de velocidad se adquirió para determinar la velocidad de extrusión adecuada para la formación de los pellets. Dado que no existe en la literatura consultada, valores fijos sino rangos de velocidad para el formado de pastas de almidón se hace necesario, por medio de la experimentación, determinar la velocidad adecuada para el formado de los pellets de almidón.
- La tolva de alimentación fue construida en acero inoxidable, calibre 18, con dobles hacia fuera, con acople a la tolva del molino para permitir un fácil desmonte del molino, para su adecuada limpieza. Esta tolva se apoyó en la caja del motor-reductor.
- La caja o guarda-motor para el motor-reductor es cerrada por los costados en lámina cold rolled, con tapa de inspección para montaje y mantenimiento, con dispositivo de accionamiento del motor externo.
- Se acopló la cuchilla al eje del tornillo del molino, la cual es usada para cortar el material que sale del extrusor en pellets de 8-10 mm.

Las dimensiones de la estructura de soporte son las siguientes, se esquematizan en la Figura 21 y su fotografía se muestra en la Figura 22.

- Longitud 120 cm, ancho 60 cm, con base o tapa superior plana en acero inoxidable 304, calibre 18.
- Distancia de la base al piso 90 cm.
- Estructura en cold rolled, cuadrado de 1 ½ pulgadas con base anticorrosiva y acabado en pintura resistente a la humedad.
- Entrepaño, en galvanizado calibre 20, a una distancia de 25 cm al piso

Figura 21. Esquema extrusor-formador, accesorios y estructura de soporte.

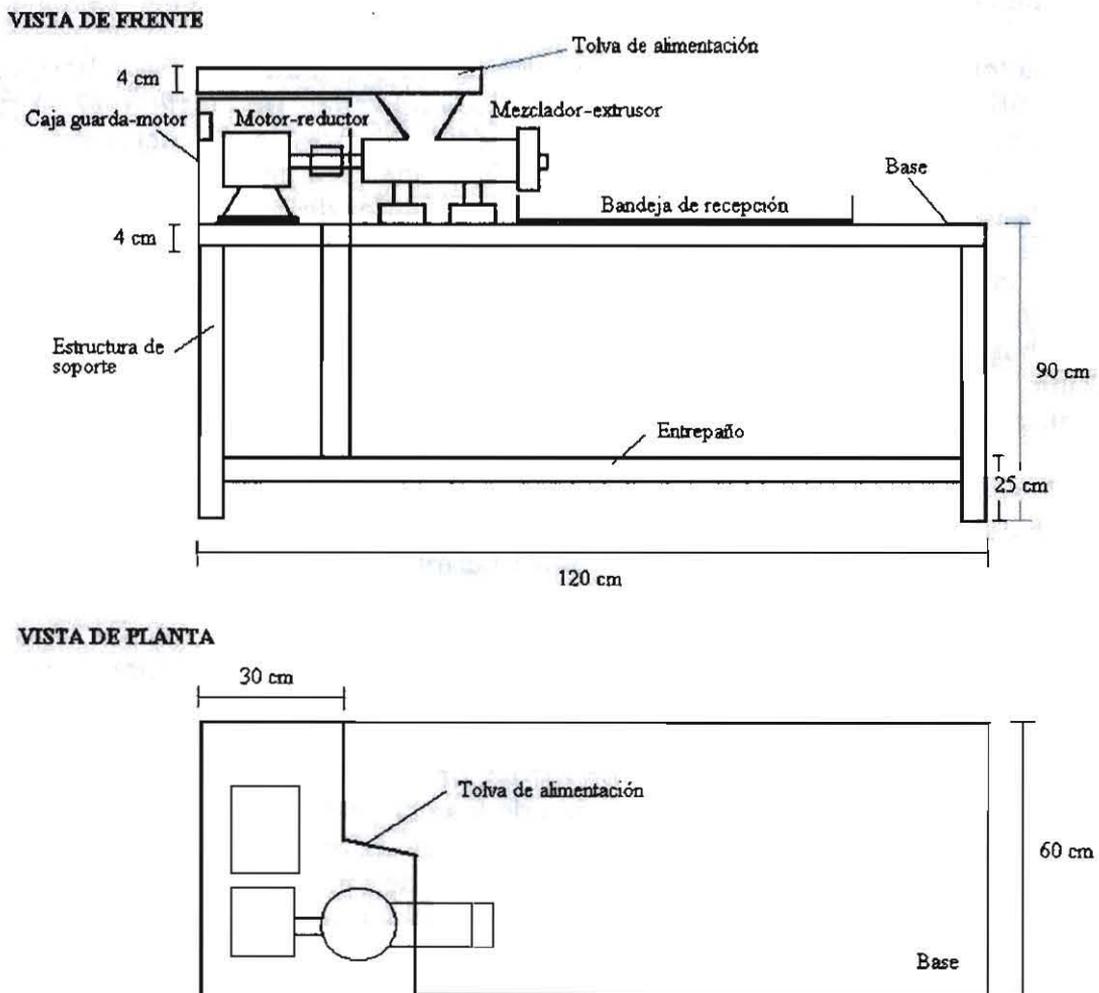


Figura 22. Conjunto extrusor, motor y variador.



- **Secador de bandejas.** Para la construcción de este equipo se adecuó un secador de bandejas ya existente, que se reparó y se dejó funcional.

Los arreglos y adaptación de equipos auxiliares fueron:

- Arreglo del motor y cambio de los brakers del tablero de control.
- Implementación de un controlador tipo on-off de tiempo proporcional, de display digital, con un intervalo de temperatura desde Temp. amb. hasta 300 °C. La precisión del controlador es de 2-2,5 °C.
- Implementación de un termostato de bulbo, que permite bloquear las resistencias cuando la temperatura está por encima de 300 °C, cuando falla el controlador. Este es un sistema de precaución en el equipo.
- Implementación de un termómetro de carátula, para tener una lectura de temperatura de referencia.
- Mantenimiento externo y aplicación de pintura de alta resistencia a temperatura.
- Fabricación de cuatro bandejas de acero inoxidable de dimensiones exteriores:

Largo: 93 cm

Ancho: 49,5 cm

Altura: 2,5 cm

Marco y soporte en acero inoxidable calibre 18 tipo 304, con bordes internos semi redondeados. Base en malla tejida en acero inoxidable No. 10 calibre 0,8 mm.

Las características del secador se describen a continuación, se esquematizan en la Figura 23 y su fotografía se muestra en la figura 24.

- Tipo de secador: Secador de calentamiento eléctrico. Marca DESPATCH. Modelo V-23.
- Rango de temperatura desde Tem. amb. hasta 500 °F (260 °C)
- Capacidad de calentamiento: 5.7 KW
- Potencia : 1 HP
- Amperios: 23,8
- Velocidad del Motor: 1725 rpm
- Dimensiones externas del equipo: Ancho: 172,7 mm - Fondo: 71,1 cm - Alto: 154,9 cm
- Distancia desde el piso hasta la cámara de trabajo: 76,2 cm
- Dimensiones de la cámara de trabajo: Ancho: 94,0 mm - Fondo: 48,3 cm - Alto: 63,5 cm
- Ventanas ajustables: Entrada de aire: 5,1 cm – Salida de aire: 7,6 cm

Figura 23. Esquema secador de bandejas de lecho fijo.

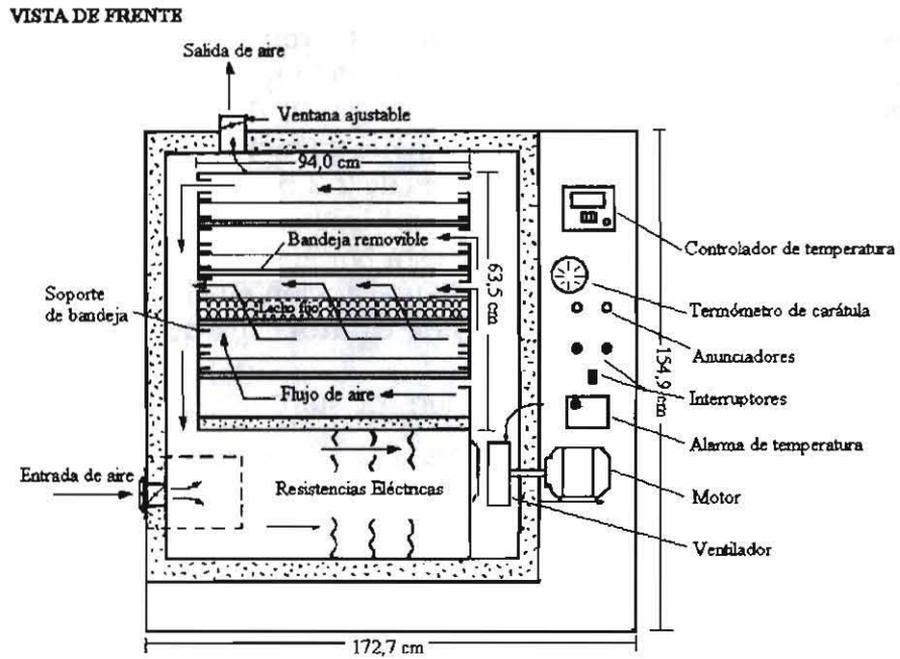


Figura 24. Secador de bandejas de lecho fijo.



### **3.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 3**

La mayoría de las investigaciones en el desarrollo de equipos de dextrinización han buscado la aplicación de técnicas que, no obstante pueden asegurar en la mayoría de los casos una mejor calidad en los productos obtenidos, dan como resultado a nivel industrial procesos con 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.

El secado con aire caliente en bandejas (operación por lotes) o túneles (operación continua) son sistemas que presentan los indicadores más bajos en cuanto a costos para la remoción por kg de agua y de inversión por unidad de superficie para carga de material a deshidratar, ya que las velocidades de secado son más altas en un lecho poroso (almidón pelletizado) que en un lecho compacto (almidón en polvo), dada la lenta difusión de la humedad en este último lecho. Este equipo provee velocidades de secado adecuadas, no tan altas como el lecho fluidizado o el secador dryer, pero no tan bajas como los tostadores convencionales o de secado de tipo indirecto.

### **3.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 3**

- La tecnología seleccionada de producción de dextrinas utilizando un secador de lecho fijo, desde el punto de vista ingenieril, es la opción más aplicable en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales a una agroindustria rural, además de agregar valor al método tradicional de extracción de almidón de yuca empleado en las rallanderías.
- El secado en un lecho fijo de pellets presenta ventajas comparativas frente a las técnicas de dextrinización convencionales de producción de dextrina en forma de polvo, las más destacadas son:
  - La inversión en equipo y costos de mantenimiento son comparativamente bajas.
  - Capacidad de producción pequeña o moderada.
  - La limpieza del equipo es más fácil que en cualquier otro secador.
  - El incremento del área superficial del producto, por medio de los pellets, aumenta la transferencia de calor y por ende disminuye los tiempos de proceso..
  - Posibilidad de producir las dextrinas enseguida del proceso de la extracción de almidón, a partir de la torta sedimentada, evitando su secado y su contaminación.
  - Los pellets de dextrina son de fácil manejo, empaque y eliminan la contaminación por polvos.
  - Para los propósitos del estudio, una ventaja importante es que las operaciones de presecado y tostación se pueden realizar en el mismo equipo, variando solamente la temperatura de operación.

- Las unidades de procesamiento son compatibles con las capacidades del inversionista medio colombiano y con los volúmenes de producción de este tipo de productos. Esta circunstancia hace que esta técnica sea adecuada para el establecimiento de proyectos de desarrollo agroindustrial asequible a diferentes comunidades.

Entre las desventajas de este tipo de secadores están:

- Los costos de operación por unidad de producto, para secadores de bandejas, es relativamente alta en comparación con unidades continuas de tipo túnel. Adicionalmente, los costos energéticos se incrementan si se utiliza electricidad, pero disminuyen con el uso de otras fuentes de energía, tales como el gas propano.
  - En secadores de bandejas uno de los mayores problemas es lograr una distribución uniforme de la velocidad del aire en las distintas zonas del lecho. Cuando esto ocurre, las velocidades de evaporación del agua cambian y dan como resultado un producto no uniforme.
  - Frecuentemente el material localizado en los bordes pierde humedad más rápidamente como consecuencia del cambio en el perfil de velocidades en los bordes, dando como consecuencia el denominado efecto de borde. Para mejorar la distribución del aire es corriente el empleo de pantallas orientadoras o deflectores evitando, en lo posible, los cambios bruscos de la dirección del aire.
- El dimensionamiento, diseño y operación eficiente de una unidad de secado sólo es posible previo al adecuado conocimiento de los fenómenos involucrados en el proceso y mediante la búsqueda de las condiciones más favorables. Aunque existe abundante literatura sobre los aspectos relativos al estudio y tratamiento teórico de las operaciones de secado, el mayor conocimiento y confiabilidad en los resultados obtenidos se logra mediante el estudio experimental del comportamiento del proceso.

#### **4. PRODUCTO 4: CONDICIONES DE OPERACIÓN Y LÍNEA DE PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS DE YUCA**

Una vez diseñado y construido el convertidor piloto para la producción de dextrinas por vía seca, se realizó la fase experimental la cual tuvo como objetivos:

- Confrontar la información de la literatura relacionada con la ciencia y tecnología de las pirodextrinas.
- Evaluar la unidad piloto de dextrinización construida.
- Evaluar el efecto de las variables y parámetros de proceso y definir las condiciones de operación y la línea de proceso para la obtención de dextrinas por vía seca.

##### **4.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 4**

A continuación se describen las actividades desarrolladas para el logro del producto 4.

**4.1.1 Descripción del proceso de dextrinización.** 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. Las fuentes más utilizadas son maíz, papa y yuca. Por muchos años el almidón de yuca fue reconocido como el almidón para obtener dextrinas de alta calidad, *prime quality dextrans* (Acton, 1976). Las dextrinas más económicas son fabricadas a partir de almidón de maíz, en razón de su bajo costo y disponibilidad, potencias como USA y CE han desarrollado procesos eficientes utilizando sus materias primas; maíz y papa respectivamente.

Diferentes catalizadores han sido usados para la conversión de almidón a dextrina como se muestra en el Anexo D, sin embargo el análisis de la información técnica disponible y de los procesos comerciales ha demostrado que únicamente un pequeño número de ellos son comercialmente adecuados.

El ácido clorhídrico es el catalizador más comúnmente usado en las conversiones a dextrinas por su actividad relativamente alta, bajo costo, volatilidad y disponibilidad (Kennedy y Fischer, 1984), ya que los ácidos volátiles son preferidos porque durante el calentamiento ellos se vaporizan y penetran en la masa del almidón, dando una distribución más uniforme y permiten controlar fácilmente el punto final de la conversión.

Sólo trazas de ácido o vapor de ácido pueden ser usadas (0,05 a 0,5%), dado que cantidades mayores, aunque fomentan una dextrinización más rápida aún a bajas temperaturas, producen aumento en la formación de azúcares e intensidad en el color; con lo cual el producto pierde calidad. No obstante, no se puede evitar del todo la formación de azúcar; pero puede reducirse a un mínimo de 2-3% por una acertada dosificación del ácido (Brautlecht, 1953).

Las operaciones comúnmente llevadas a cabo en la manufactura de dextrinas por vía seca son: mezcla del catalizador, maduración, presecado, tostación o conversión, enfriamiento, rehumedecimiento y empaque. Algunas pueden ser omitidas según conveniencia en el proceso.

- **Mezcla del catalizador.** Esta etapa es de particular importancia porque el catalizador debe ser distribuido completamente sobre los gránulos de almidón, logrando una buena penetración, de lo contrario se presentarán problemas de carbonización de las partículas de almidón. El método más satisfactorio ha sido el de atomizar la solución acuosa del catalizador sobre el almidón mientras es mezclado. El ácido debe estar suficientemente diluido, puesto que la capacidad y la resistencia a la penetración decrece con la disminución en el contenido de agua del almidón (Radley, 1954).

- **Maduración.** Esta etapa es opcional. Se refiere al almacenamiento del almidón una vez adicionado el catalizador para permitir que se difunda completamente por toda la masa. Sin embargo, con una eficiente mezcla se puede garantizar una buena difusión del catalizador.

- **Presecado.** La reducción de la humedad antes de la etapa de conversión es necesaria, dado que un alto contenido de humedad en el almidón es indeseable, particularmente a bajos niveles de pH, porque promueve escisión hidrolítica y la consecuente formación de azúcares durante el primer periodo de calentamiento y suprime 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). El presecado se lleva a cabo a temperatura entre 50-60 °C.

- **Tostación o Conversión.** Una de las principales condiciones de esta operación es garantizar un cuidadoso control de la temperatura hasta el final del ciclo de calentamiento, dado que uno de los aspectos esenciales del proceso de conversión es evitar gradientes de temperatura a través de la masa. Adicionalmente, una buena ventilación es necesaria para lograr una rápida remoción de la humedad y de los vapores formados durante la dextrinización. Según estudios realizados, las temperaturas de tostación varían entre 120-150 °C encontrándose esta última como la mejor, dado que la velocidad de reacción es más rápida (Aristizabal y Robles, 2001).

- **Enfriamiento.** Finalizada la conversión al nivel deseado, la acción del catalizador es detenida por medio de un rápido y completo enfriamiento, evitando así la formación de azúcares solubles.

- **Rehumedecimiento.** La dextrina puede ser humidificada hasta un nivel entre 5 a 12% por exposición a aire humidificado o por atomización de agua sobre ella. Generalmente, este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente. Se realiza para evitar la formación de espuma cuando la dextrina es cocinada con agua, y

además la formación de grumos, hecho que se debe a los gases adsorbidos en la etapa de tostación (Acton, 1976).

– **Empaque.** Si es necesario la dextrina es molida o tamizada y finalmente empacada en sacos de papel. Pero dada la tecnología propuesta el objetivo es empacarla en forma de pellets para eliminar la contaminación por polvos y facilitar su manejo y manipulación.

**4.1.2 Definición de variables y niveles para la producción de dextrinas de yuca por vía seca.** Inicialmente se definieron las variables de proceso y sus niveles de trabajo con el propósito de planear los experimentos para el desarrollo de la fase experimental.

**Variables:** Son las condiciones de operación que variaron en los experimentos.

– **Concentración del catalizador.** Se definieron tres niveles de concentración 0,1 - 0,2 y 0,3 %. Se eligió esta variable para determinar la concentración de catalizador mínima requerida para el proceso de dextrinización.

– **Variedad de almidón.** Esta variable fue definida en el primer producto, seleccionando las siguientes nueve variedades: CORP. REINA (CM 6740-7), ICA CATUMARE (CM 523-7), BRASILERA (MCOL 2737), VENEZOLANA (MCOL 2215), MTAI 8, MVEN 25, ICA - P13 (HMC-1), MPER 183 y MBRA 383.

**Parámetros:** Son las condiciones de operación que fueron fijadas en los experimentos:

• **Tipo de catalizador.** Se decidió utilizar como catalizador el ácido clorhídrico ya que es el más usado comercialmente y por las ventajas asociadas que posee (Kennedy y Fischer, 1984).

• **Temperatura de proceso.** Con base en estudios realizados de la ciencia de la dextrinización (Aristizábal y Robles, 2001), se determinó como temperaturas de proceso: presecado 55 °C y de tostación o conversión 150 °C.

• **Concentración de aglutinante.** Según estudios de pelletizado realizados para la formación de pellets (Lin y Ho Dac, 2001) se encontró que el porcentaje de aglutinante más adecuado para la formación de pellets con grado de dureza aceptable es de 1,5 % de almidón pregelatinizado (solución 4% sólidos).

**4.1.2 Realización de experimentos.** Una vez definidas las variables de proceso y sus respectivos niveles y los parámetros, se escogió para la realización de los ensayos un *modelo factorial*, como se propone en el Tabla 11, este modelo ofrece la ventaja de estimar los efectos de una variable con varios niveles con respecto a las variables restantes, produciendo conclusiones que son válidas para un rango de condiciones experimentales.

Tabla 11. Modelo factorial propuesto para la realización de ensayos

<b>Variables de proceso</b>	<b>Niveles</b>
<i>Concentración de Catalizador</i>	3
<i>Variedad del almidón</i>	9
Modelo Factorial	3 x 9
Número de ensayos	27

La fase experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Calidad de yuca del Programa de Mejoramiento de yuca de CIAT. Los ensayos se realizaron por duplicado para garantizar confiabilidad en los resultados obtenidos.

Existen diferentes propiedades para caracterizar una dextrina las cuales son usadas para hacer el seguimiento de la conversión, la descripción de cada una de estas propiedades se presenta en el Anexo E. La Figura 25 muestra una representación de los cambios que ocurren en las propiedades de las dextrinas durante el proceso de dextrinización.

Por ser la *viscosidad* y la *solubilidad en agua fría* las propiedades funcionales más importantes, ya que son las que presentan el cambio más notorio durante la conversión, se seleccionaron estas propiedades como variables de respuesta para cada ensayo realizado. Así, a medida que la conversión avanza, el poder viscosante disminuye rápidamente y la solubilidad en agua fría aumenta.

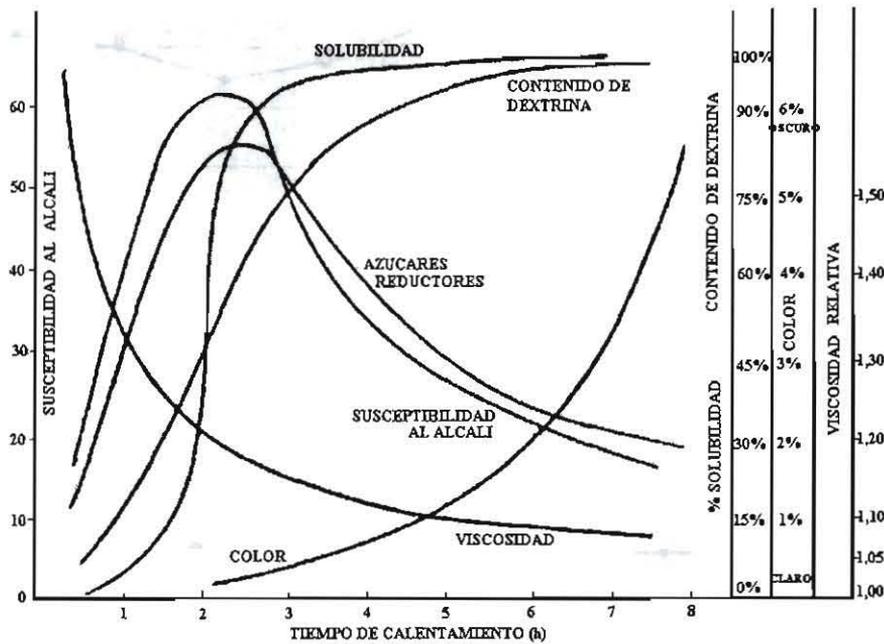
El poder viscosante es un indicativo del grado de modificación del almidón, el cual disminuye rápidamente a medida que avanza la conversión. Se determina por viscosimetría y para almidones el método más usado es el *ensayo Scott de la consistencia de la pasta*, cuya descripción se presenta en el Anexo F. Para los propósitos, se utilizó un viscosímetro de capilar, de vidrio enchaquetado, el cual fue patronado convenientemente para su uso, la descripción del patronamiento del viscosímetro se presenta en el Anexo G.

La solubilidad en agua fría aumenta hasta el 100 % de solubilidad, para una total conversión de almidón a dextrina. Su método de determinación referenciado en la literatura es un método analítico y no de proceso (Lachamann, 1991; Internacional Starch Institute, 2001) ya que es un método gravimétrico en el cual es necesario filtrar la solución de dextrina, secar por evaporación el filtrado y finalmente pesar el material seco. Para los propósitos, se utilizó una técnica instrumental para la determinación del porcentaje de sólidos por medio de un refractómetro. Este es un método de evaluación rápida, que mide directamente el porcentaje de solubles y su procedimiento se describe en el Anexo H.

Adicional a las pruebas de evaluación de las variables de respuestas seleccionadas, se utilizó la prueba de coloración con solución de yodo ( $I_2/KI$ ). Esta prueba, de tipo cualitativo, permite determinar el nivel de conversión de la dextrina en el proceso de dextrinización. Así, las soluciones de dextrina

parcialmente convertida dan coloraciones azul profundo, característico de la presencia de almidón. A medida que avanza la conversión, el color va pasando por el rojo, café, violeta hasta la solución incolora. Las dextrinas altamente convertidas se caracterizan por dar una coloración rojo-violeta, que se decolora finalmente (Radley, 1954). Esta prueba se realizó a las muestras, luego de determinar su solubilidad en agua fría, adicionando a esta una gota de solución de yodo y observando la coloración dada.

Figura 25. Cambios en las propiedades de las dextrinas durante el proceso de dextrinización.



Fuente: Evans y Wurzburg, 1967

## 4.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 4

Una vez realizados los ensayos y caracterizadas las dextrinas, se determinó el efecto de la variedad de yuca sobre las propiedades de las dextrinas y se definieron las condiciones de operación y la línea de proceso para la producción de dextrinas por vía seca.

### 4.2 1 Efecto de la variedad de yuca sobre las propiedades de las dextrinas.

Dado que uno de los criterios de selección de las variedades de yuca seleccionadas fue el contenido de amilosa, se determinó su efecto sobre las propiedades de las dextrinas o variables de respuesta evaluadas. Los resultados de las pruebas de poder viscosante y solubilidad en agua fría se presentan en las Figuras 26 y 27 respectivamente.

En la prueba de coloración con solución de  $I_2/KI$ , todas las dextrinas en solución dieron una coloración roja-violeta, que al final se desvaneció rápidamente; lo que es un indicativo de una alta conversión de la dextrina.

Figura 26. Curvas de poder viscosante (20% sólidos b.s) para los almidones utilizados a tres niveles de concentración de catalizador.

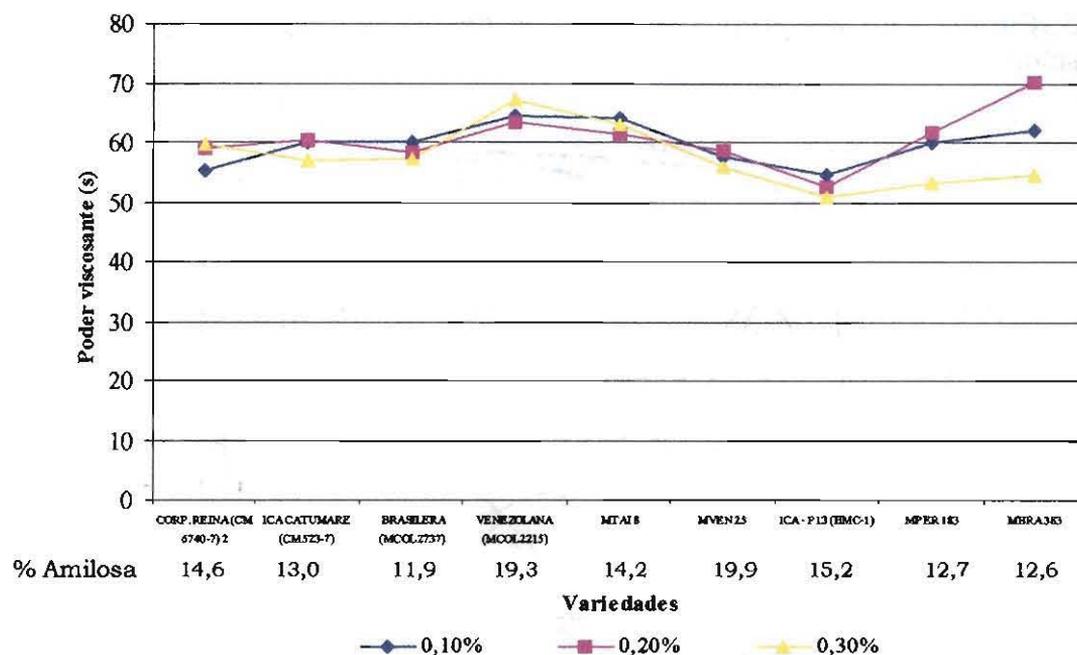
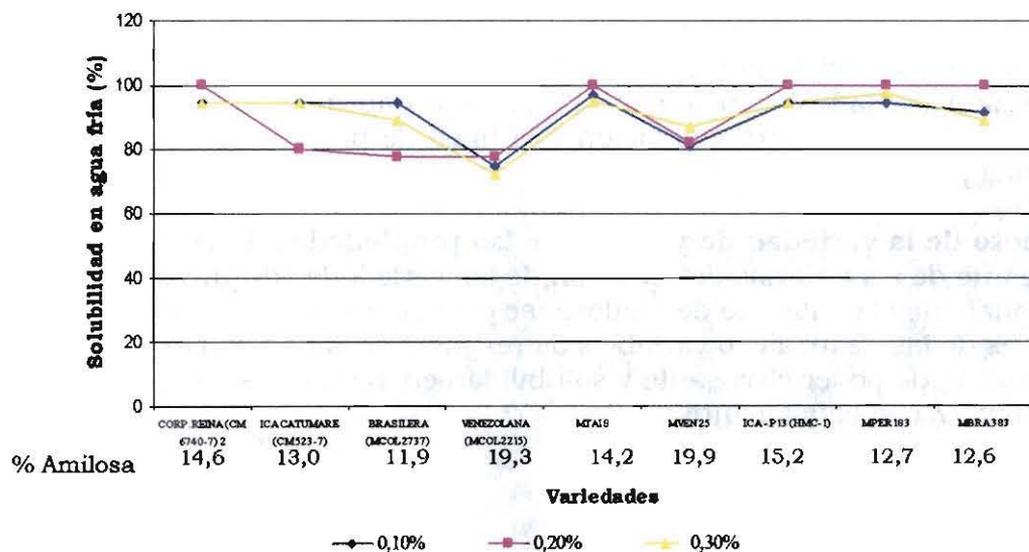


Figura 27. Curvas de solubilidad en agua fría para los almidones utilizados a tres niveles de concentración de catalizador.



**4.2.2 Condiciones de operación para la producción de dextrinas de yuca por vía seca.** Para la realización de las pruebas experimentales se evaluó inicialmente la unidad piloto de producción de dextrinas, en cada uno de sus equipos de proceso: mezclador, extrusor-formador y secador de lecho fijo.

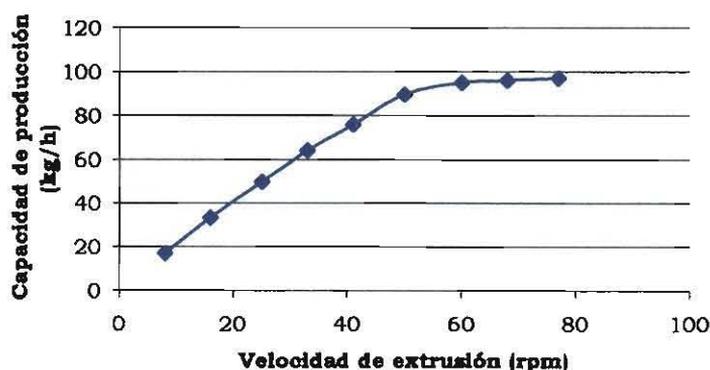
– **Condiciones de operación en el mezclador.** El mezclado del catalizador y el almidón se realizó en la mezcladora marca *HOBART*, que permite procesar en un batch 3 kilogramos de almidón con una concentración de 45% de humedad. La etapa de mezclado es de vital importancia para garantizar una completa penetración de los componentes y evitar problemas de carbonización de las partículas de almidón por acumulación de catalizador en las mismas.

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. En este estudio se utilizó una prueba de rápida de secado en lámpara infrarroja, la técnica utilizada tanto para determinación del tiempo adecuado de mezcla como del contenido de humedad en muestras de almidón, se describe en el Anexo I. Si se observa carbonización local, el tiempo de mezclado no es suficiente, pero si la muestra no presenta partículas negras ni grises, el almidón está listo para el presecado y su posterior tostación (Acton, 1976).

Se determinó que para el batch procesado, el tiempo suficiente para garantizar una completa mezcla del catalizador, agua y aglutinante es de 15 minutos.

– **Condiciones de operación en el extrusor-formador.** En el equipo extrusor diseñado y construido para la formación de pellets se realizaron pruebas para determinar la capacidad de producción con base en el número de revoluciones (rpm) del tornillo de extrusión, que fue posible variar por medio del variador de velocidad instalado al equipo. La relación existente entre la velocidad de extrusión y la capacidad de producción de pellets del extrusor-formador se muestra en la Figura 28.

Figura 28. Capacidad de producción del equipo extrusor para la formación de pellets.



Los pellets obtenidos tienen una longitud promedio de 10,6 cm y un diámetro promedio de 4,7 mm, que es el diámetro de los agujeros del disco de extrusión.

Dado que era necesario que una vez conformados los pellets de dextrina estos no se desbarataran luego de su manipulación el nivel fijado como parámetro de la concentración de aglutinante fue de 1,5 %, en relación al peso de almidón, de almidón pregelatinizado (solución 4% sólidos). Para determinar la dureza de los pellets así obtenidos se utilizó un medidor de dureza marca KAHL, el cual ha sido diseñado para evitar establecer la dureza de los pellets por tacto, como se realizaba anteriormente. La descripción del proceso para la determinación de la dureza se presenta en el Anexo J. La dureza de los pellets obtenida fue de 2 Kg-f, a esta dureza los pellets son consistentes y no se desbaratan con facilidad.

Con base en los ensayos de formado del almidón, en la Tabla 12 se resumen los parámetros de operación para el equipo extrusor-formador.

Tabla 12. Parámetros del equipo extrusor-formador de almidón.

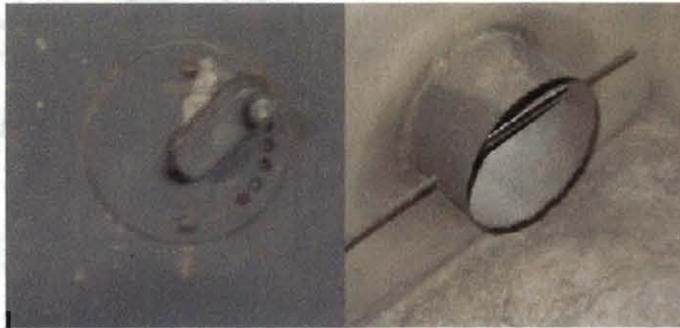
Parámetro	Valor
Humedad inicial de pelletización	45 % b.h.
Temperatura de pelletización	Ambiente
Aglutinante	Pasta de almidón (4 % sólidos)
Porcentaje de aglutinante	1,5 %
Velocidad máxima de extrusión	50 rpm
Potencia del equipo	1 HP

– **Condiciones de operación en el secador de bandejas de lecho fijo.** En el secador de bandejas de lecho fijo se realizaron pruebas para determinar dos parámetros:

- El flujo de aire para garantizar un secado rápido y, a la vez, el **mínimo** tiempo para alcanzar la temperatura de tostación, una vez finalizada la etapa de presecado.
- El perfil de temperaturas dentro del secador.

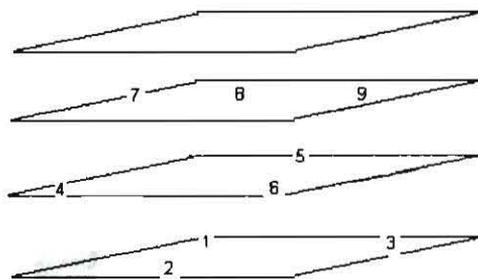
Según las pruebas realizadas a diferentes caudales de aire, los cuales fueron variados por medio de un sistema de regulación de aire que posee el secador, el cual se muestra en la Figura 29. De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que el caudal más adecuado es de 515 pies/min, el cual corresponde a la condición de entrada mínima de aire.

Figura 29. Regulador de entrada de aire en el secador de lecho fijo.



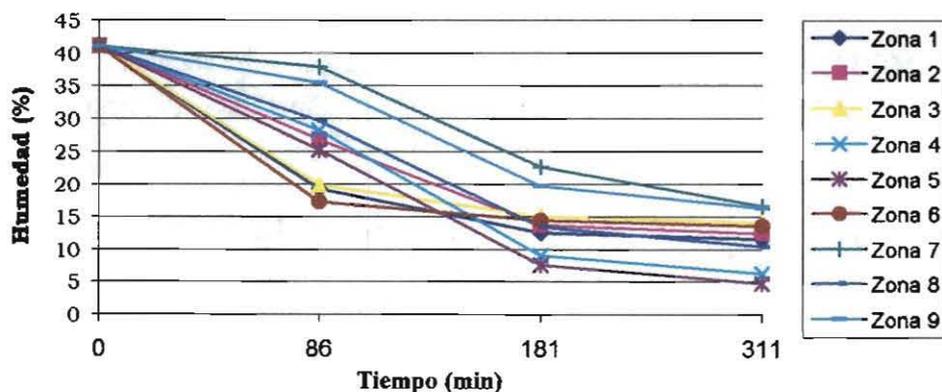
El otro parámetro evaluado en el secador de lecho fijo fue la homogeneidad del proceso de secado. Para ello se definieron nueve zonas dentro del secador como se muestra en la Figura 30.

Figura 30. Zonas seleccionadas dentro del secador de bandejas para determinar la homogeneidad de secado.



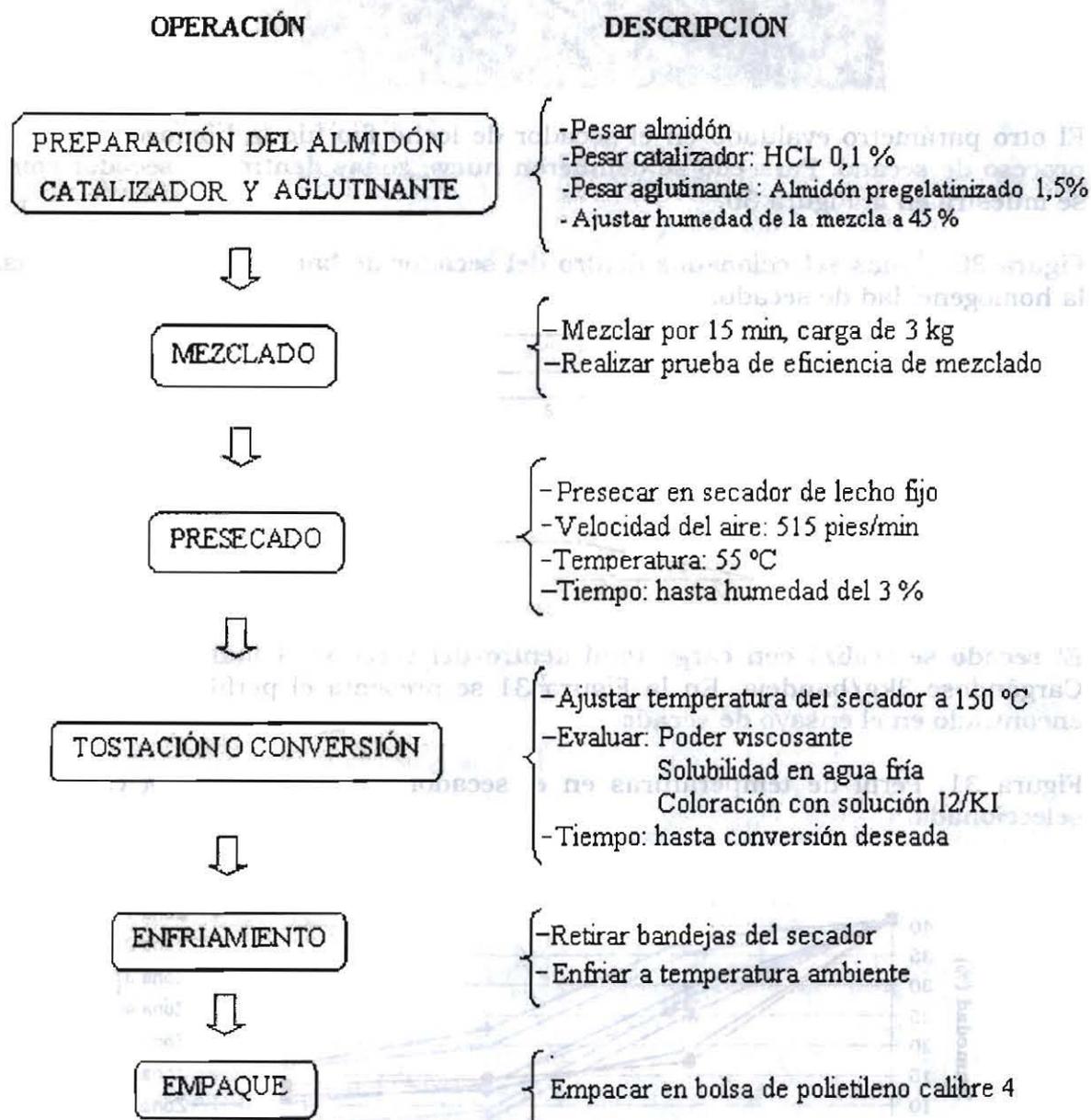
El secado se realizó con carga total dentro del secador, 4 bandejas, de 12 kg, Cargándose 3kg/bandeja. En la Figura 31 se presenta el perfil de temperatura encontrado en el ensayo de secado.

Figura 31. Perfil de temperaturas en el secador de lecho fijo para cada zona seleccionada.



**4.2.3 Línea de proceso para la producción de dextrinas de yuca por vía seca.**  
 Evaluadas las condiciones de operación en cada etapa de la unidad de proceso de dextrinización, se propuso la línea de proceso para la producción de pellets de dextrina de yuca por vía seca como la mostrada en la Figura 32.

Figura 32. Línea de proceso para la producción de pellets de dextrinas de yuca por vía seca.



### **4.3 DISCUSIÓN DE PRODUCTO 4**

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de las variables de respuestas: poder viscosante y solubilidad en agua fría, Figuras 26 y 27, se puede afirmar que las nueve variedades de almidón utilizados tienen un comportamiento similar en el proceso de dextrinización para los tres niveles de catalizador utilizados. Cabe destacar, que para los tres niveles de concentración de catalizador evaluados, las variedades VENEZOLANA (MCO 2215) y MVEN 25, las cuales tuvieron los más altos niveles de amilosa, presentaron solubilidad en agua fría de 80%; valor que está por debajo del valor de solubilidad en agua fría para las demás variedades las cuales presentaron valores entre 80-100 %. Ese hecho, confirma lo reportado en la literatura de que las variedades con alto contenido de amilopectina presentan una más rápida conversión a dextrina.

Todas las dextrinas obtenidas tuvieron una caída drástica de la viscosidad en el rango 50-70 segundos, es decir entre 2,5-3,8 cP. Las dextrinas que tuvieron alta solubilidad en agua fría, presentaron una coloración roja-violeta; lo cual significa que las dextrinas tuvieron un alto grado de conversión.

Las dextrinas obtenidas para los tres niveles de catalizador evaluados no presentan gran variación, en sus características de poder viscosante y solubilidad en agua fría, por lo cual se define 0,1 % como la concentración de catalizador adecuada para el proceso de dextrinización con las variedades de yuca seleccionadas, ya que valores mayores constituirían un exceso de catalizador.

Dados los resultados obtenidos de la homogeneidad de secado en el secador de bandejas, se comprobó que existe un amplio gradiente de temperaturas dentro del secador, tanto dentro de una misma bandeja como en el nivel de la bandeja dentro del secador. Esto conlleva a un aumento de los tiempos de secado. Este efecto se debe en parte a la disposición del ventilador en el secador, el cual está en posición lateral, y por otra parte al diseño de los deflectores; por lo general el material localizado en los bordes pierde humedad más rápido como consecuencia del cambio en el perfil de velocidades en los bordes, dando como consecuencia el denominado efecto de borde, para mejorar la distribución del aire es necesario orientar de la mejor manera el flujo de aire evitando cambios bruscos de velocidad.

### **4.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 4**

Con base en estos resultados obtenidos podemos concluir:

- Cualquier variedad de yuca puede ser utilizada para la producción de dextrinas; sin embargo, la conversión se favorece para variedades con bajo contenido de amilosa.
- La capacidad máxima de producción del equipo extrusor-fomador a 50 rpm, es de 90 Kg/h, por encima de esta velocidad de extrusión la producción no

aumenta en gran valor, llegando hasta un máximo de 97 Kg /h siendo este valor la máxima producción que el equipo, dada su tamaño, puede producir.

- Para obtener pellets de dextrina, según la tecnología propuesta es necesario garantizar tres procedimientos:
  - Mezcla homogénea del almidón, catalizador y aglutinante.
  - Ajuste exacto de la humedad final de la mezcla, para un formado compacto de los pellets.
  - Secado uniforme de los pellets.

## **5. PRODUCTO 5: POTENCIALIDAD DEL MERCADO DE LAS DEXTRINAS DE YUCA**

Para el desarrollo de este producto se realizó un estudio del mercado de las dextrinas a nivel global y nacional, se analizó la información de los registros de importación de la partida arancelaria y de los registros de la encuesta nacional manufacturera correspondiente a las dextrinas. Posteriormente, se realizaron encuestas a industrias consumidoras de dextrinas o derivados y finalmente se definieron los sectores de aplicación en los cuales las dextrinas son usadas y sus principales usos en estos sectores. Este estudio se realizó en el marco de un proyecto de grado<sup>10</sup>, adelantado por dos estudiantes de ingeniería industrial, el cual fue apoyado por CLAYUCA.

### **5.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 5**

A continuación se describen las actividades para el logro de producto 5.

**5.1.1 Estudio del mercado global de las dextrinas.** La información existente sobre dextrinas en el ámbito mundial es escasa, dado que la gran mayoría de documentos hacen referencia a yuca y almidones modificados en general, encontrándose poca información discriminada por tipo de almidón modificado. De acuerdo con los últimos datos publicados en la página web del International Starch Institute, registrados solamente hasta 1997, existen países que ofrecen dextrinas pero no se especifica su fuente, lo cual no permite cuantificar la oferta de dextrinas de yuca. Sin embargo, es de resaltar que los países que producen en mayor cantidad dextrinas son India, China y Tailandia. La demanda registrada de dextrinas es baja en el mercado global, sólo aparecen registradas 5 empresas compradoras, este fenómeno podría ser explicado debido a que muchas compañías compran almidón nativo para luego modificarlo, convirtiéndolo en dextrina. Los países de la Unión Europea exportan dextrinas en bajas cantidades. En el caso de Estados Unidos, sólo se encontraron datos para las transacciones de dextrinas de maíz, sin embargo estos datos pueden servir como referencia para las dextrinas de yuca. Este país reportó en 1997 haber exportado alrededor de 2.641.000 toneladas de dextrina y otros almidones modificados de maíz. Así mismo, registró importaciones de dextrina de papa por 8.362.000 toneladas en el año 1997. Estas se compraban a precios alrededor de \$US 1 /kg, véase la Figura 33.

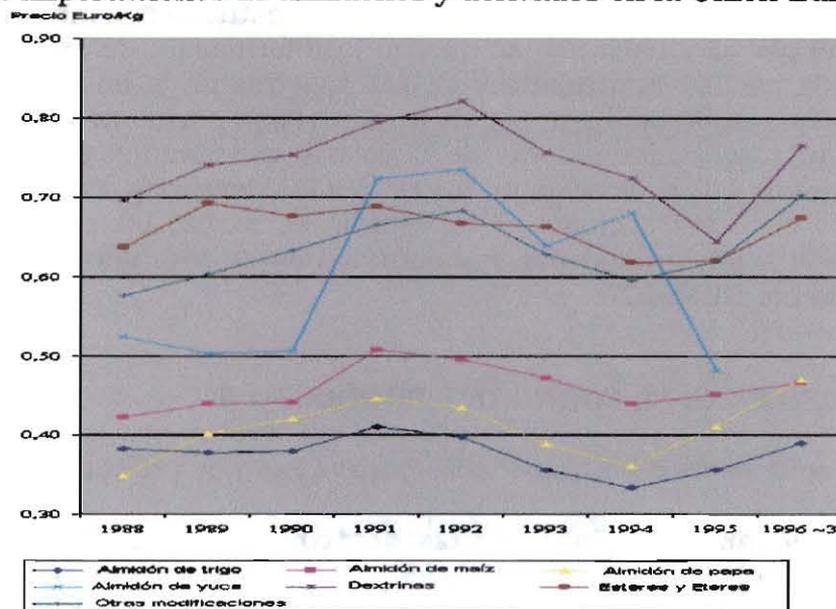
De toda la gama de productos derivados del almidón, las dextrinas son las que se transan a mayor precio y poseen un valor agregado mayor que el almidón nativo. Sin embargo, los volúmenes transados de las mismas están entre los más bajos

---

<sup>10</sup> ACOSTA, M. y SALCEDO, M. Estudio de las aplicaciones industriales, potencial de mercado en Colombia y diseño de un producto a partir de pirodextrinas de yuca. Cali, 2003. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial.

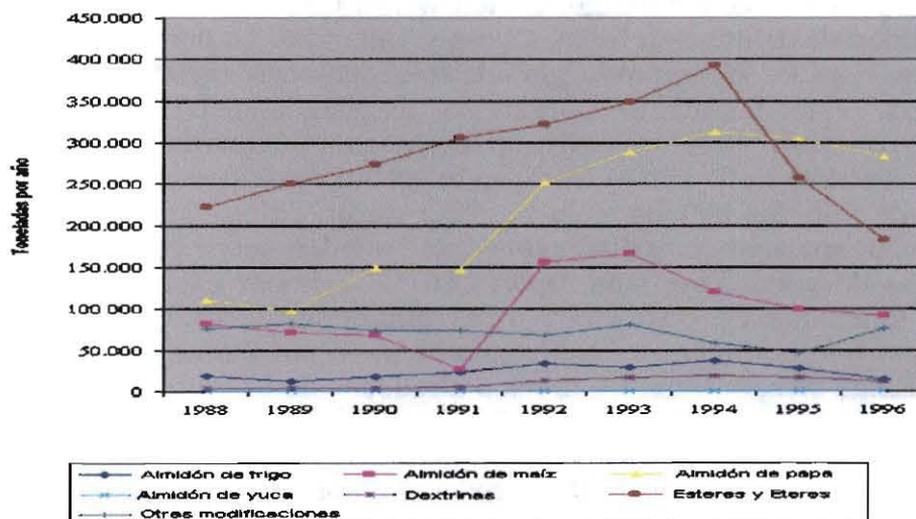
(siendo el más bajo el almidón de yuca). Según los datos encontrados se transan alrededor de 20.000 t/año de dextrinas a precios alrededor de \$US 0,5 /kg<sup>11</sup>, véase la Figuras 34.

Figura 33. Importaciones de almidones y derivados en la Unión Europea.



Fuente: International Starch Institute, 2002

Figura 34. Exportaciones de almidones y derivados realizadas por la Unión Europea.



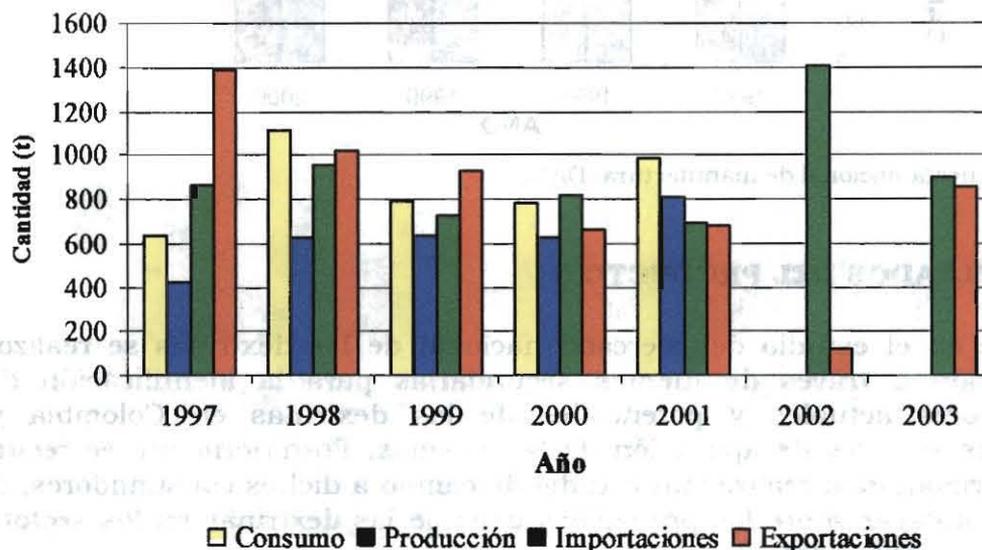
Fuente: International Starch Institute

<sup>11</sup> Se considera que un ECU equivale aproximadamente a 1 USD.

**5.1.2 Estudio del mercado nacional de las dextrinas.** Para llevar cabo el estudio de mercado en Colombia, se consultaron dos tipos de fuentes secundarias: el registro de importaciones y exportaciones encontrada en el Ministerio de Comercio Exterior (MINCOMEX) a través de la base de datos Bacex y la Encuesta Nacional Manufacturera realizada por el Departamento Administrativo de Estadística Nacional (DANE) donde se obtuvieron datos relativos al consumo, producción, compras y ventas de este insumo.

El estudio de las importaciones y exportaciones de dextrinas se realizó a través de los datos registrados en el Mincomex de la partida arancelaria 3505100000, denominada *Dextrinas y demás almidones y féculas modificados (por ejemplo: almidones y féculas pregelatinizados o esterificados)*. La Figura 35 muestra el consolidado de las importaciones, exportaciones, producción y consumo de las dextrinas en el periodo de 1997-2003.

Figura 35. Mercado nacional de dextrinas.

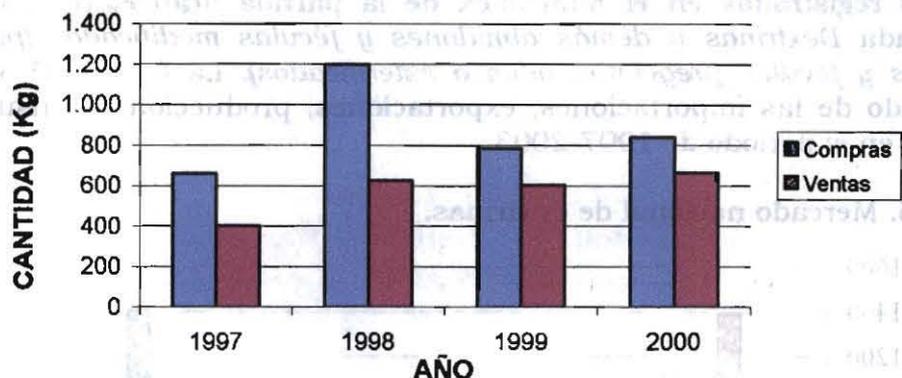


Fuente: Acosta y Salcedo, 2003

La tendencia general de las exportaciones de dextrinas señala un decrecimiento a lo largo del periodo, a partir del año 2001 caen drásticamente; la cantidad exportada fue tan solo el 12% de lo que se venía exportando los años anteriores. El precio promedio de exportación se registró alrededor de 0,44 US\$FOB/kg. Las importaciones por su parte mostraron un comportamiento estable durante el periodo 1997-2001 y en el año 2002 señalan un aumento importante. El precio promedio de importación se registró alrededor de 1,14 US\$/kg. Durante el periodo 1997-2000 la cantidad de dextrina consumida mantuvo un comportamiento estable, aunque el rubro más representativo de consumo se presentó en el año 1998 y alcanzó el valor del 52% del volumen total de dextrina consumida durante los demás años. El promedio de la producción de dextrina en el periodo de estudio fue de 580 t/año, que se considera bajo comparándolo con otros países.

La Figura 36 muestra el comportamiento de la compra y venta de las dextrinas durante el periodo 1997-2000. Las compras sobrepasaron las ventas en todos los años. En el año 1998 se presentó la compra mayor del periodo 1.200 toneladas y sobrepaso en un 47% a las ventas realizadas en este mismo año. El precio de compra promedio de la dextrina fue de \$1.511/kg y las ventas se realizaron a un precio promedio de \$942/kg.

Figura 36. Compra y venta de dextrinas en Colombia en el periodo 1997-2000.



Fuente: Encuesta nacional de manufactura. DANE.

## 5.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 5

Con base en el estudio del mercado nacional de las dextrinas se realizó una investigación a través de fuentes secundarias para la identificación de los consumidores actuales y potenciales de las dextrinas en Colombia y los principales sectores de aplicación de las mismas. Posteriormente se recurrió a fuentes primarias al realizar un estudio de campo a dichos consumidores, con el objeto de indagar sobre los principales usos de las dextrinas en los sectores de aplicación identificados.

**5.2.1 Principales sectores de aplicación de las dextrinas.** Con el fin de indagar sobre los sectores de aplicación de las dextrinas se identificaron las principales empresas consumidoras mediante un estudio detallado de la razón social de importación de las dextrinas, registrado por MINCOMEX, el cual permitió realizar un rastreo de las principales empresas usuarias. Es importante resaltar que dentro de la partida arancelaria hay una gran gama de productos comprendidos, los cuales no están clasificados ni por fuente de la cual proviene el almidón, ni por tipo de modificación del mismo; razón por lo cual fue necesario recurrir posteriormente a las fuentes primarias.

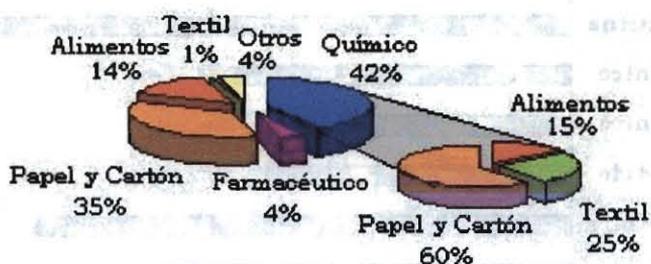
Una vez identificadas las principales empresas importadoras, se definió como criterio de selección de las empresas objeto de estudio la cantidad importada. La herramienta implementada para la selección fue el análisis de Pareto, la cual consistió en determinar cuales empresas tuvieron la mayor participación en las importaciones totales durante el período comprendido 1997-2002, eligiendo

aquellas cuya importación fuera igual o superior a 1 tonelada/año. Esta técnica permitió separar las empresas “pocas vitales<sup>12</sup>” de las “muchas triviales<sup>13</sup>”. De acuerdo al análisis de Pareto se seleccionaron 140 empresas, con una cantidad de importada de 5.478 toneladas en el periodo de estudio. De estas, 49 constituyeron las pocas vitales las cuales importaron el 83% de la cantidad total y hacia esas empresas, cuyo consumo es significativo, se consideró estratégico enfocar la investigación de mercados.

Las 49 empresas seleccionadas, como pocas vitales, fueron clasificadas según el sector de aplicación con el fin de facilitar la identificación las principales aplicaciones industriales de las dextrinas. Teniendo la mayor participación en el mercado los sectores Químico, papel y cartón y alimentos; como lo muestra la gráfica circular de la izquierda de la Figura 37. Sin embargo dado que el sector químico cubre una amplia gama de sectores, se realizó un sondeo telefónico con el objeto de indagar sobre el uso de las dextrinas en este sector, como resultado se obtuvo que el sector químico no constituyen un sector de aplicación como tal, puesto que las empresas de este sector distribuyen los insumos a consumidores finales de otros sectores, principalmente a empresas del sector papel y cartón (60%), alimentos (25%) y textil (15%).

Consolidando los porcentajes de participación de los sectores de aplicación en el mercado los principales sectores de aplicación de las dextrinas fueron el sector papel y cartón (38%); el sector Químico (32%) y el sector de alimentos (19%) tal como se observa en la Figura 37.

Figura 37. Principales sectores de aplicación de las dextrinas en Colombia.



Fuente : La autora

Encontrándose que en las empresas del *sector alimenticio* los almidones más usados son los entrecruzados, fosforilados, nativo o sin modificar, maltodextrinas y almidón agrio; en las empresas del *sector de papel y cartón*, los almidones más usados son los modificados de tipo catiónico, oxidado, aniónico, dextrina y almidón nativo. Dados estos resultados, se encontró que el sector de mayor aplicación de las dextrinas es el sector papel y cartón.

<sup>12</sup> En el análisis de Pareto se denomina “pocas vitales” a los pocos agentes que realizan cierto evento; estos representan cerca del 20% de una población.

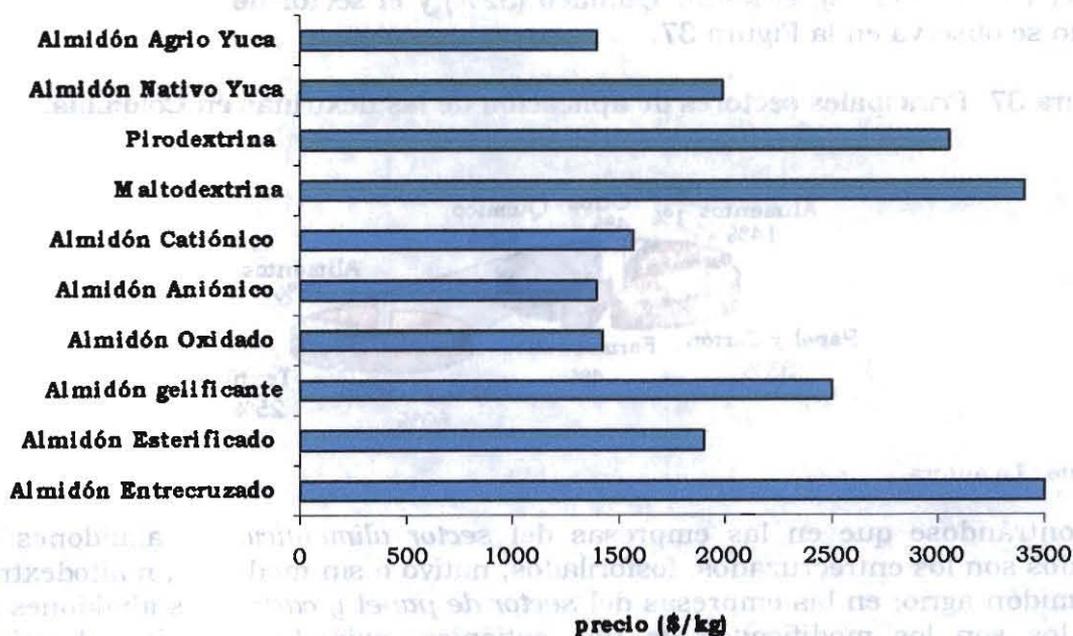
<sup>13</sup> En el análisis de Pareto, se denomina “muchos triviales” a los muchos agentes que realizan cierto evento: estos representan cerca del 80% de una población.

### 5.2.2 Principales usos de las dextrinas en los sectores seleccionados.

Definido el sector papel y cartón como el de mayor aplicación de las dextrinas, se recurrió a la obtención de información más precisa y detallada acerca de las aplicaciones industriales. Para ello se realizó una encuesta dirigida a las empresas seleccionadas. La encuesta se aplicó en el marco de una entrevista a profundidad dirigida principalmente a jefes de producción o áreas relacionadas. Adicionalmente, se realizaron charlas con expertos para conocer las tendencias de los almidones modificados en el país.

Como resultados de las encuestas se encontró que el 60% de los insumos que incluyen todos los almidones y almidones modificados usados en este sector, son proveídos por industria nacional (Industrias del maíz) y el 40% es importado (por razones particularmente de precio, calidad y asistencia técnica). En cuanto a los precios de los almidones modificados se encontró que varían entre \$1200-3500/kg. Los almidones con mayor precio corresponden a las modificaciones maltodextrina, pirodextrina y entrecruzado. Adicionalmente, el 89% de las empresas encuestadas consideró que los precios de los almidones modificados en general no son estables con una tendencia muy marcada al incremento. La Figura 38 muestra los precios (año 2003) de algunos almidones modificados, los cuales provienen de tres fuentes amiláceas maíz, papa y yuca, en mayor proporción de maíz y papa.

Figura 38. Precio promedio de almidones modificados en Colombia.



Fuente: La autora.

Según el estudio de mercado, el principal uso de las dextrinas en el sector papel y cartón es la fabricación de adhesivos principalmente para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio

Aunque el principal sector de aplicación de las pirodextrinas en Colombia se destina a la fabricación de adhesivos industriales, estas pueden ser utilizadas en otros sectores industriales, en particular en el sector de alimentos y farmacéutico, en reemplazo de las maltodextrinas y almidones modificados especializados. Esto puede lograrse con un manejo adecuado del proceso de producción y el uso de catalizadores y condiciones de proceso permitidos en este tipo de industrias, para obtener una pirodextrina con propiedades funcionales y requisitos de calidad exigibles en estos mercados. Entre los usos potenciales más destacados se encuentran:

- ✓ 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

### **5.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 5**

El 98 % de las empresas visitadas manifestó haber realizado alguna vez ensayos con almidón nativo y/o modificado de yuca obteniendo buenos resultados. Sin embargo, la sustitución del almidón de maíz por el de yuca, suministrado a nivel nacional, no fue posible por aspectos referentes principalmente a la baja calidad, altos costos y falta de suministro constante. Por otra parte, existen ciertas restricciones a la importación de almidones modificados debido a los altos aranceles de importación.

Con base en las encuestas realizadas, se encontró que en la fabricación de papel y cartón, estos es: papel blanco, papel tissue, papel kraft y cartón corrugado, los almidones más usados son almidón nativo, catiónico, aniónico y oxidado y en la fabricación de adhesivos para papel y cartón, son particularmente usados almidón nativo y dextrinas. En las entrevistas se logró identificar que ciertas empresas compran el almidón nativo y posteriormente lo dextrinizan vía enzimática y lo mezclan con aditivos para producir directamente el adhesivo; es decir, el verdadero insumo que consumen para su actividad productiva es la almidón. Por esta razón, a pesar de ser alto el número de empresas que declararon consumir almidones nativos, se concluye que la dextrina es el insumo de más alto consumo para las principales aplicaciones consideradas.

### **5.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 5**

- El estudio de mercado realizado determinó que el principal sector de aplicación de las pirodextrinas es el sector de papel y cartón particularmente en la elaboración de adhesivos industriales para las aplicaciones: cerrado de

cajas corrugadas, fabricación de cores o tubos de cartón, fabricación de bolsas de papel y sacos multipliegos y etiquetado de botellas de vidrio.

- Aunque el estudio de mercado reveló que el principal uso de las pirodextrinas es para la fabricación de adhesivos industriales, se identificó un mercado potencial en el cual las pirodextrinas pueden reemplazar productos sustitutos, los cuales tienen alto consumo y precio en el mercado.

## **PRODUCTO 6: ADHESIVOS A PARTIR DE DEXTRINAS DE YUCA**

Según los resultados del producto 5 se encontró que la principal aplicación de las dextrinas obtenidas por vía seca, esta en el campo de los adhesivos. En este capítulo se presentan los aspectos generales de los adhesivos basados en dextrinas, las formulaciones para las aplicaciones seleccionadas y finalmente, la caracterización y evaluación de los adhesivos realizados.

### **6.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 6**

A continuación se describen las actividades para el logro de producto 6.

**6.1.1 Descripción de los adhesivos de dextrina.** La utilización del almidón como adhesivo data de por lo menos 3500-4000 años A.C. cuando fue usado por los egipcios para unir los papiros. Durante la revolución industrial y con la aparición de estampillas postales y sobres engomados, seguido de la fotografía y los fósforos, los adhesivos de almidón se volvieron más populares incrementando su demanda. La disponibilidad y las propiedades de varios almidones determinan su uso en diferentes áreas. En Australia predomina el almidón de trigo, mientras que en Europa lo hace el almidón de papa. El almidón de maíz se utiliza mayormente en Norteamérica, mientras que el almidón de yuca es el principal almidón en América Latina (Balagopalan y Padmaja, 1988).

Los polisacáridos, como los almidones, tienen como principal grupo funcional el grupo hidroxilo. La presencia de este grupo los hace tener naturaleza hidrofílica y, por lo tanto, pueden combinarse con el agua para formar pastas de varias viscosidades. La adhesividad de estas moléculas se debe, casi exclusivamente, a los enlaces de hidrógeno y su resistencia, a la unión que provee el gran número de uniones de hidrógeno formadas cuando se unen dos superficies (Houwink y Salomón, 1978). Diversos estudios revelan que los adhesivos de raíces y tubérculos son más fluidos y tienen menor tendencia a la retrogradación. Así, los almidones ricos en amilopectina, permiten obtener adhesivos elásticos, brillantes y transparentes, entre los más usados se encuentran la papa y la yuca, sin embargo, la yuca tiene algunas ventajas sobre la papa, ya que los adhesivos provenientes de almidón de yuca son más viscosos, suaves para trabajar, estables, neutros en olor y sabor y pueden ser combinados fácilmente con emulsiones sintéticas. Además, las uniones realizadas con adhesivos de yuca presentan mayor resistencia a la tracción que los realizados a partir de almidón de papa. Sin embargo, para que se presenten estas propiedades el almidón de donde proviene el adhesivo debe ser de buena calidad.

Los adhesivos vegetales se consumen en la industria de papel y cartón en grandes cantidades principalmente por su bajo costo y su naturaleza hidrofílica. Sin embargo, sus velocidades de pegado son muy bajas comparadas con los hot-melts y las emulsiones de PVA. Otra de las desventajas es su baja resistencia a la

humedad. Las anteriores deficiencias han sido manejadas a través de la modificación del almidón, generando derivados con propiedades adhesivas y estabilidad que superan las del almidón nativo y dentro de las principales modificaciones se encuentran las dextrinas.

Generalmente, las dextrinas son mucho más solubles en agua y presentan una viscosidad más baja que el almidón de partida, debido a que tienen un peso molecular medio menor y a que los reagrupamientos de moléculas se han realizado por medio de uniones secundarias y de hidrógeno para hacer posible la solubilidad y su mayor adhesividad.

Las pirodextrinas pueden formar soluciones, no porque hayan sido convertidas hasta peso molecular bajo, sino debido a su estructura muy ramificada formada durante el calentamiento en la etapa de transglucosidación. La viscosidad de una dextrina refleja la concentración viable y la propiedad adhesiva que conviene a una aplicación determinada. Esta es afectada por el almidón de partida, el proceso de conversión y el pH.

- **Características de los adhesivos de dextrina.** Las principales características de los adhesivos de dextrina se presentan a continuación (Wurzburg, 1986).

- **Viscosidad.** Los adhesivos de dextrina cubren un amplio rango de viscosidades dependiendo de la dextrina usada y de la aplicación. Para el uso de dextrinas blancas pueden ser normalmente cocinadas con un contenido de sólidos de 25-55%. Las British gums pueden cubrir rangos similares. Las dextrinas amarillas, que tienen una más baja viscosidad, pueden ser dispersadas usando alrededor de 70% de sólidos. Las altas concentraciones a las cuales las dextrinas pueden ser cocinadas, en especial estas últimas, las hace particularmente convenientes para usar en aplicaciones adhesivas donde un rápido tack y altas velocidades de setting son deseadas. La viscosidad o el espesor del adhesivo de dextrina es muy importante y debe mantenerse en un rango específico para permitir la optimización del proceso de fabricación. Esto se debe a que la viscosidad controla el agarre y la transferencia del adhesivo e influye en la velocidad con la que el adhesivo migra hacia el interior del sustrato. El punto de gel es una medida de la temperatura requerida para activar el proceso de pegado del adhesivo.

• **Estabilidad.** La estabilidad de soluciones acuosas de dextrinas varía ampliamente dependiendo del grado de conversión, el tipo de dextrina (blanca, amarilla o British gum), la naturaleza del almidón tal como su origen y la presencia de aditivos. En relación a la dextrina, las estructuras ramificadas dan soluciones más estables que las lineales. En consecuencia, las conversiones en las cuales los componentes lineales son degradados y a través de la transglucosidación o repolimerización son convertidos en estructuras ramificadas dan soluciones más estables que las conversiones en la cual el componente lineal es simplemente degradado por sólo escisión molecular.

Las dextrinas blancas tienen grados de ramificación bajos, por lo que en general, tienen estabilidad limitada y forman pastas opacas en frío y con el tiempo. Las British gums son convertidas con mínimas cantidades de ácido, por lo que las reacciones hidrolíticas son minimizadas. Soluciones de British gums son consideradas más estables que las dextrinas blancas. En las dextrinas amarillas, las reacciones hidrolíticas predominan inicialmente, pero las altas temperaturas de conversión favorecen extensamente la transglucosidación y repolimerización, desde luego ellas son más convertidas. Por lo tanto, soluciones de dextrinas amarillas son más estables que las de British gums y mucho más estables que las de dextrinas blancas.

Los almidones que son esencialmente libres de amilosa o tienen baja proporción tales como maíz céreo, yuca y papa son convertidos a dextrinas más estables que los otros almidones. Esto es particularmente cierto en el caso de dextrinas blancas, en British gums es menos significativo. Para las dextrinas amarillas este factor juega un papel importante. Algunas dextrinas forman soluciones tixotrópicas<sup>14</sup>, argumentándose a la formación de complejos con ácidos grasos, que las hace menos estables. Las dextrinas amarillas hechas a partir de maíz céreo son marcadamente superiores a las hechas de maíz a causa de su libertad de tixotropía, al igual que lo son las hechas a partir de almidón de yuca y papa las cuales no contienen ácidos grasos.

- **Formación de película.** Las características de las películas formadas son un factor importante que gobierna su utilización como aglutinantes y adhesivos. Generalmente, la apariencia de las películas a partir de soluciones de almidones no convertidos tienen una resistencia alta a la tracción. Para una conversión dada, hay un decrecimiento progresivo en la resistencia a la tracción de sus películas, a medida que la conversión incrementa o la viscosidad disminuye. Sin embargo, las dextrinas forman películas que tiene propiedades muy importantes en las aplicaciones de uniones adhesivas. Las películas formadas con altos sólidos secan más rápidamente y poseen un mayor tack y habilidad para pegar superficies poco después de la aplicación. Además, su baja viscosidad les permite dar suspensiones estables en agua, lo cual favorece el tack. Otra ventaja de las propiedades de película de los adhesivos de dextrina es su rango de acción o el tiempo durante el cual las películas retienen su pegajosidad.

Las películas de dextrinas altamente convertidas, muestran una reducida tendencia a causar deformado del sustrato. Cuando películas de bajos sólidos son aplicadas a papel, estas tienden a contraerse cuando secan, haciendo que el sustrato se enrosque o deforme. Usando adhesivos de dextrinas de altos sólidos y baja viscosidad, a partir de dextrinas amarillas, es posible minimizar la tendencia de la película a causar deformación.

Para un tipo dado de piroconversión, la viscosidad más baja o conversión más alta, dará una película más soluble en agua. Las películas a partir de dextrinas

---

<sup>14</sup> Fenómeno por el cual ciertas mezclas son capaces de aumentar su rigidez con el reposo, pasando del estado gel al estado sol.

blancas tienen una resistencia mínima. Las formadas a partir de British gums son más resistentes que éstas para una viscosidad comparable. Las películas más resistentes son las producidas a partir de dextrinas amarillas. Las películas de dextrina tienen la tendencia a quebrarse o desprenderse. Esta cristalización de la película se relaciona con el grado de conversión. Este no es un serio problema en aplicaciones que involucran adhesión papel a papel. Estos defectos pueden ser corregido por la formulación con plastificantes y humectantes. Esta es una de las razones por las cuales ha disminuido el uso de adhesivos de dextrina en etiquetado de botellas.

- **Clases de adhesivos de dextrina.** Los adhesivos de dextrina son clasificados como pegamentos si son fluidos y como gomas si son pastas (Booth, 1990). Los tipos más comunes son la goma de dextrina (madurada), adhesivo de dextrina y adhesivo de dextrina boratada. Aunque también se usan los adhesivos de dextrinas de silicato.

- **Goma de dextrina (madurada).** Esta clase de dextrina tiene la tendencia a revertir a una pasta parecida a la de almidón, es mantenida en un rango desde geles suaves hasta espesas pastas plásticas. Su nombre deriva del proceso de fabricación en el cual la dextrina en polvo es disuelta en agua y luego almacenada a baja temperatura o "se madura" hasta alcanzar la estructura deseada. Una aplicación típica de la dextrina blanca madurada es en las *solapas de sobres*, donde se requiere un secado extraordinariamente rápido y un color claro. Las dextrinas amarillas con alto contenido de sólidos se utilizan en el *etiquetado de botellas*, presentan alto tack y bajo contenido de agua. Estas gomas tienen la desventaja de tener poca adhesión sobre vidrio revestido.

- **Adhesivo de dextrina.** Son adhesivos con alto contenido de sólidos y fluidez. Son usualmente dextrinas amarillas. Algunas veces con la adición de materiales higroscópicos descienden lentamente la velocidad del setting y plastifican la película algo quebradiza. La combinación de alto wet tack, alto contenido de sólidos, buena adhesión a papel y largo tiempo de setting es ideal para la *laminación de papel y cartón*. Estos adhesivos son usados para aplicaciones rehumedecibles tales como tapas engomadas, solapas de sobres, estampillas. Las películas tienen buen brillo, no son tóxicas, muestran ligera tendencia a obstruir las máquinas y son rehumedecibles rápidamente. Sin embargo, su uso está disminuyendo debido a la mayor velocidad de las máquinas o al reemplazo por productos sensibles a la presión. En el caso de solapas para sobres las dextrinas pueden ser combinadas con emulsiones de acetato de polivinilo para incrementar la velocidad de secado mientras se mantiene las propiedades atractivas de las dextrinas.

- **Adhesivo de dextrina boratada.** En esta clase de dextrinas la tendencia a revertir la pasta es casi o totalmente eliminada por el método y tiempo de tostación del almidón. Las dextrinas boratadas son preparadas con bórax, sodio de metaborato, y ácido bórico, con el fin de obtener viscosidades estables en concentraciones moderadas y buena adhesividad. Los productos pueden estar basados en dextrinas blancas o amarillas a partir de maíz y en especial de yuca

los cuales son más solubles que las dextrinas de maíz y por lo tanto tienden a dar un mayor wet tack. Este tipo de adhesivos se usa en el sellado de cajas, en la formación de tubos y en el laminado.

Estos adhesivos tienen variadas aplicaciones pero las más importantes son *sellado y enrollamiento de tubos*. Debido al incremento de la velocidad en líneas de producción su uso a disminuido porque su tiempo de setting es largo, por lo que su uso se mantendría en máquinas lentas. En el enrollamiento de tubos, cantidades considerables de dextrina son usadas a causa de su excelente adhesión a papel, buen wet tack y formación de películas firmes. Esta última propiedad contribuye a la resistencia al aplastamiento del final del tubo permitiendo el uso de papel de menor gramaje. Adicionalmente, las máquinas permiten una fácil limpieza y los tubos pueden ser reciclados. En algunos enrollamientos de tubos, su limitada adhesión ha causado su reemplazo por adhesivos de acetato de polivinilo.

- **Adhesivo de dextrina de silicato.** Este tipo de adhesivos tiene mayor velocidad de secado, baja viscosidad, forma películas rígidas, y tienen buena adhesión. Se usa para sellado de cajas en maquinas de alta velocidad y en la formación de tubos de cartón. La Tabla 13 muestra una comparación de las propiedades de los tipos de los adhesivos de dextrina.

Tabla 13. Comparación de las propiedades de los tipos de adhesivos de dextrina.

<b>Adhesivo de dextrina</b>		<b>Goma de dextrina</b>	<b>Pegamento de dextrina</b>	<b>Dextrina Boratada</b>
<b>Propiedad</b>				
Forma		Pasta blanca, amarilla o café	Jarabe acuoso café	Fluido acuoso blanco o café
Contenido de solidos		30-70%	60-70%	30-50%
Viscosidad		Depende de la velocidad de esfuerzo cortante	Varía entre 1500-4000 mPas	Varía entre 1.000-6.000 mPas
Wet tack		Moderadamente alto	Alta	Alta
Velocidad de setting		Bajo	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

Fuente. Booth, 1990.

- **Aplicaciones de los adhesivos de dextrina.** Según el estudio de mercado realizado en Colombia, la dextrina es la principal materia prima para la elaboración de adhesivos principalmente para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio, como se muestra en la Figura 39.

- **Cerrado de cajas de cartón.** Este adhesivo se usa para encolar las aletas superiores y/o inferiores de las cajas de cartón corrugado a mano o en máquina. El factor principal en la selección del adhesivo adecuado está en el largo de la unidad de compresión que controla el tiempo. Generalmente, se usan adhesivos con alto contenido de soda cáustica. Los adhesivos tienen un contenido de sólidos de 30-40 % y 1.000-3.000 cP (25 °C).
- **Fabricación de cores o tubos en espiral.** En la formación de un tubo en espiral, formado por varias capas de cartón enrolladas unidas entre sí, se usan dos tipos de adhesivos. Para las capas más externas se usan emulsiones de PVA y para las más internas se usan adhesivos con base de dextrina. El adhesivo constituye la base para la formación de un buen core, ya que este está sujeto a altas velocidades en su uso final y además del propio peso del material del cual está formado. El consumo de adhesivo en esta aplicación depende del ancho de la pared, que varía de acuerdo a la necesidad de resistencia se requiera. Estos adhesivos usualmente contienen 40-50.% de sólidos con viscosidades entre 80.000 – 150.000 cP.
- **Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel.** Para la fabricación de sacos multipliegos se requieren principalmente dos clases de adhesivos, uno para pegado de los laterales, otro para la base. Se usan adhesivos solubles en agua fría, cuya principal característica es que deben ser razonablemente pegajosos y de secado rápido. Generalmente son usadas dextrinas blancas poco solubles, especialmente en máquinas de alta velocidad. Su principal sustituto son las emulsiones de PVA o mezclas de adhesivos dextrina-PVA. El adhesivo para pegar los laterales puede ser de secado lento, altamente diluido, siempre y cuando posea buen poder adhesivo. El usado para la base debe poseer buena penetración ya que si se dispersa demasiado los sacos pueden pegarse unos con otros sacos al momento de ser almacenados, hecho que es indeseable. Actualmente los adhesivos para costura tienen unos márgenes normales de 20-33% de sólidos y viscosidades entre 2.000-3.000 cP.
- **Etiquetado de botellas de vidrio.** Generalmente para esta aplicación se usan adhesivos a partir de dextrinas y solubles en agua fría. Son adhesivos extremadamente pegajosos. Estos adhesivos pueden ser usados en máquinas de alta velocidad, son fáciles de manejar, y fáciles de limpiar. Su principal sustituto son los adhesivos con base de caseína y los Jelly Gum (en el caso en el cual los envases deban ser refrigerados), siendo esta la principal desventaja de las dextrinas en este tipo de aplicación, su baja resistencia al frío. Se pueden usar también dextrina boratadas en el caso de sustratos porosos. La característica más importante de los adhesivos para esta aplicación tenga resistencia al frío y que sea estable al cambio de temperatura.

Figura 39. Principales aplicaciones de los adhesivos de dextrina.



- Adhesivos sustitutos de los adhesivos de dextrina.** Aunque en el mercado existen varios tipos de adhesivos sustitutos de los adhesivos de dextrina, principalmente por su menor tiempo de secado en comparación con los adhesivos de dextrina y adicionalmente porque evita el excesivo humedecimiento del sustrato, los adhesivos de dextrina son preferidos en muchos casos por su bajo costo, su mayor adhesividad y estabilidad, unido a que su uso en sustratos de papel o cartón facilita los procesos de reciclado del mismo. La Tabla 14 resume los principales adhesivos sustitutos del adhesivo de dextrina para las principales aplicaciones en las cuales este es usado.

Tabla 14. Sustitutos de los adhesivos a base dextrina en sus principales aplicaciones.

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

Fuente: La autora

- Polivinil acetato (PVA).** Esta clase de adhesivo fue el primero en ser desarrollado en la búsqueda de adhesivos sintéticos. Es el tipo de ester de vinilo mas usado en la actualidad. Su comercialización inicio en 1930 y desde entonces su consumo ha aumentado notablemente, debido a su costo relativamente bajo, facilidad de aplicación y compatibilidad con diversos sustratos. Está disponible en el mercado en forma de emulsión (resina sólida dispersa en agua), resina y solución, siendo la emulsión la forma mas común. Este adhesivo tiene múltiples aplicaciones entre las que se destacan la construcción, los textiles, la industria de empaques y la de muebles. En la

industria de empaques particularmente, es muy usado debido a su resistencia, alta velocidad de pegado y versatilidad. Las principales ventajas del adhesivo de PVA son (Kruger y Lacourse, 1990):

- Fácil adhesión a gran variedad de sustratos.
  - Alto peso molecular, lo que le permite ser rígido y tener buena adhesividad conservando su baja viscosidad, por lo que pueden ser aplicado por medio de spray, extrusores o roll-on.
  - Alto contenido de sólido, pueden llegar a contener alrededor de 65 % de sólidos conservando su baja viscosidad.
  - Alta velocidad de pegado, dado su bajo contenido de agua, lo que disminuye el tiempo de evaporación y por ende el tiempo de secado.
  - Alta facilidad de aplicación, puede aplicarse en diversas formas conservando su alta velocidad de secado.
  - Facilidad recombinarse con otros componentes, tales como rellenos minerales, plastificadores, solventes.
  - Resistencia a los microorganismos, lo que les permite tener una mayor vida útil comparada con los adhesivos base dextrinas.
- **Etilen-vinil acetato, Hot-melts.** Los adhesivos tipo Hot-melt, son aquellos que alcanzan el estado sólido al enfriarse. Estos son principalmente usados en la industria de empaques y de encuadernación. También se usan para pegar muebles, zapatos, textiles, entre otros. Aunque su principal desventaja es su alto costo, estos adhesivos han tenido un gran crecimiento en los últimos años, debido a las ventajas que poseen:
    - Alta velocidad de pegado, la que constituye su principal ventaja permitiendo altas velocidades de producción aumentando la productividad en las líneas de empaque.
    - Pegado no tóxico, dado que no posee aditivos que se evaporen en el proceso de curado.
    - Alto contenido de sólidos, o que le permite tener una mayor adhesividad.
  - **Caseína.** Esta proviene de la acidificación de la leche. Durante décadas se usó como adhesivo para pegar madera; aunque ha sido reemplazada por adhesivos sintéticos, aún tiene una participación en este mercado. Adicionalmente, la caseína se usa como encapsulante de pigmentos, en etiquetado, como formador de películas para recubrir. Dado su origen natural, esta se usa en la industria de empaque alimenticios y en envolturas de cigarrillos. Sus principales propiedades son:
    - Resistencia a altas y bajas temperaturas.
    - Uniones de elevada durabilidad.
    - Presenta buena resistencia al agua.
  - **Jelly gum.** Este tipo de adhesivo pertenece al grupo de adhesivos vegetales a base de almidón. Estos se usan exclusivamente en el etiquetado de botellas. Se obtiene tratando el almidón de maíz waxy con soda cáustica y agregándoles úrea, ácido nítrico y nitrato de sodio. Al final se obtiene un adhesivo con

aproximadamente 39 % de almidón y 56 % de agua. Las etiquetas pegadas con este tipo de adhesivos son resistentes al agua fría.

### **6.1.2 Recopilación de aditivos para la fabricación de adhesivos de dextrina.**

Los aditivos son adicionados a las soluciones de dextrinas para proveer propiedades específicas. Además de los dos aditivos básicos utilizados bórax e hidróxido de sodio, se utilizan otros para mejorar la estabilidad de las soluciones y por ende del producto final (Kruger y Lacourse, 1990; Wurzburg, 1986; Houwink y Salomo, 1978). Si se consideran el número de variables disponibles en términos de tipo de dextrina, existe una gama de opciones de aditivos químicos para adhesivos de dextrinas, que pueden ser usados para alcanzar las propiedades deseadas para una aplicación específica. Los aditivos más usados son en la fabricación de adhesivos de dextrina son:

- **Borax (tetraborato de sodio).** Es la sustancia más importante usada para modificar almidones o dextrinas en la producción de adhesivos. Es un acomplejante fuerte y un estabilizante. Las cadenas de bórax ayudan al almidón a mejorar la capacidad de retención de agua. Esto evita que el agua en la línea de pegamento penetre en el papel antes de que el almidón haya gelatinizado. El bórax también, reacciona con el almidón durante la gelatinización, lo que genera un incremento en la viscosidad. Quizás las propiedades más importantes son el marcado incremento en la viscosidad, mayor estabilidad y el adhesivo se hace gomoso, cohesivo y con un tack muy alto. Además, afecta el punto de gel.

Este incremento varía con el peso molecular del almidón y las concentraciones relativas de amilosa y amilopectina presentes. Además, es adicionado para aumentar la velocidad de pegado y para minimizar el humedecimiento y arrugado del sustrato. En una película de dextrina baja la concentración a la cual ésta pierde agua libre y forma un hidrogel. Incrementa la claridad de las soluciones y oscurece su color. Es posible tener una dextrina soluble capaz de formar una pasta manejable únicamente con alto contenido de sólidos (50 % o más), al adicionar bórax se puede hacer que el adhesivo con cerca de 20 % de sólidos produzca una adecuada viscosidad y tack.

Los adhesivos boratados tiene un más rápido tack, forman la unión más rápidamente y permiten una mayor velocidad de operación. Estos efectos pueden deberse a interacciones del bórax con los hidroxilos de la dextrina y/o asociación con moléculas libres de agua. Los efectos del bórax son más pronunciados en adiciones bajas (menos de 20 % en sólidos) y pueden ser fomentados por una adición progresiva de soda cáustica hasta que todo el tetraborato de sodio sea convertido a metaborato de sodio. Adiciones más allá de este punto causan reducción de la viscosidad.

- **Hidroxido de sodio.** Tiene la capacidad de causar la gelatinización del almidón a una temperatura más baja de la normal, reduciéndola de 10-15 °C. En presencia sólo de hidróxido de sodio las soluciones de almidón o dextrina presentarán algunas de las propiedades mostradas con bórax. En general a pH 8-11 se produce un oscurecimiento de color, incremento en la claridad y en la

cohesión, la textura cohesiva se uniforma si originalmente fuera quebradiza y pastosa. Adicionalmente, se provee un ligero aumento en la viscosidad y en el tack, pero estas dos propiedades tienen cambios menos leves que las observadas por la adición de bórax. El NaOH incrementa el índice de humedad de la fibra celulósica y facilita la reducción de la temperatura de gelatinización del almidón.

- **Modificadores de viscosidad.** La viscosidad puede modificarse por la adición de productos tales como fosfato trisódico, carbonato sódico, nitrato sódico y otros productos químicos que pueden añadirse para influir sobre el pH, velocidad de secado o adherencia de una película de dextrina. La adición de álcalis puede aumentar la viscosidad de una solución de dextrina; sin embargo, un exceso puede producir el efecto contrario. Debe controlarse el pH cuando se desea evitar una posterior hidrólisis de una dextrina.
- **Fluidizantes.** Para aumentar la fluidez de las dextrinas, reduciendo su viscosidad, se adicionan formaldehído, cloruro de magnesio o calcio, nitrato de sodio ioduros, dicianidamida, acetamida, sales de guanidina, sales de tiocianato o tiosulfato ácido salicílico, tiocianatos, tiourea o urea que es la más empleada. Son usualmente adicionados en proporciones de 5-20 %. También se utilizan como humectantes para controlar el tiempo y velocidad de secado de la película.
- **Lubricantes.** En forma de película incluyen materiales grasos tales como aceite de ricino sulfonado y los jabones solubles. Cantidades excesivas pueden reducir la adhesividad de una película.
- **Plastificantes.** Las películas de dextrina se plastifican frecuentemente para controlar la humedad con humectantes. Estos ayudan a retener la humedad en la película seca evitando que se vuelva quebradiza. Su principal efecto es disminuir su velocidad de secado y absorber humedad del aire para hacer la película más plástica. Se utilizan poliglicoles tales como sorbitol, glucosa, azúcar, glicerina o etilenglicol. Siendo los dos últimos los más efectivos.
- **Rellenos.** Son frecuentemente empleados como una forma barata de incrementar los sólidos. Se usan rellenos minerales inertes tales como arcilla caolín, carbonato de calcio y dióxido de titanio adicionados en cantidades de 5-50% o más para controlar la penetración asociada con sustratos porosos. También son usados para controlar el setting del adhesivo y reducir la cantidad de encogimiento o contracción que ocurre en el secado de la película.
- **Impermeabilizantes al agua.** Para ayudar a la formación de películas de dextrina resistentes al agua se emplea 5-15 % de resina de urea formaldehído en ausencia de bórax a causa de su incompatibilidad. También son usados alcohol polivinílico a baja concentración y ciertos tipos de emulsiones de acetato de polivinílico.
- **Preservativos.** Adhesivos acuosos con alto contenido de sólidos o los que contienen altas concentraciones de bórax, nitrato de sodio o usualmente altos

pHs usualmente no promueven la actividad microbiana. Por esto, los adhesivos para sobres con contenido de sólidos de 65% usualmente no requieren ningún preservativo. Sin embargo, tan pronto sea infectado, el adhesivo se descompondrá muy rápidamente. El desarrollo de cepas resistentes puede evitarse limpiando regularmente el equipo con un compuesto bactericida tal como hipoclorito de sodio. Las demás formulaciones de adhesivos deben ser preferiblemente preservadas. Formaldehído (35% de sólidos) en proporciones de 0.2-1.0%, sulfato de cobre en 0.2%, sulfato de zinc, benzoatos, fluoruros y fenoles son usados.

- **Otros.** Las dextrinas pueden usarse en formulaciones con muchas sustancias diferentes. Son compatibles con la cola animal, goma arábica y goma de tragacanto, emulsiones de látex de caucho natural y sintético, carboximetilcelulosa, alcohol polivinílico, resinas de urea formaldehído y emulsiones de acetato de polivinilo de ciertos tipos.

**6.1.3 Recopilación de formulaciones típicas de los adhesivos de dextrina.** Existen diferentes formulaciones para los adhesivos de dextrinas, sin embargo los aditivos básicos son los mismos para todos.

- **Formulación cerrado de cajas de cartón.** Una de las formulaciones típicas para esta aplicación se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Formulación típica de un adhesivo para cerrado de cajas de cartón.

Componente	Porcentaje en peso (%)
Dextrina blanca	37,5
Metaborato de sodio	5,0
Bórax (10 mol)	1,3
Agua	56,2

Fuente: Kennedy, 1989.

- **Fabricación de cores o tubos en espiral.** Una de las formulaciones típicas para esta aplicación se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Formulación típica de un adhesivo para fabricación de cores o tubos en espiral.

Componente	Porcentaje en peso (%)
Dextrina amarilla	40
Nitrato de sodio	3
Urea	3
Agua	54

Fuente: Kennedy, 1989.

- **Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel.** Para la fabricación de sacos multipliegos se requieren principalmente dos clases de adhesivos uno para las costuras laterales, cuya formulación típica se presenta en la Tabla 17 y para el fondo o base se presenta en la Tabla 18.

### **Adhesivo para la costura lateral:**

Tabla 17. Formulación típica de un adhesivo para costura lateral de bolsas de papel.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso (%)</b>
Dextrina amarilla	28
Bórax	3,2
Biocida	0,3
Agua	68,5

Fuente: Kruger y Lacourse, 1990.

### **Adhesivo para el cerrado de fondo:**

Tabla 18. Formulación típica de un adhesivo para cerrado de fondo de bolsas de papel.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso (%)</b>
Dextrina amarilla	22,4
Bórax	3
Jabón	0,2
Biocida	0,3
Agua	74,1

Fuente: Kruger y Lacourse, 1990.

- **Etiquetado de botellas de vidrio.** Una de las formulaciones típicas para esta aplicación es se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Formulación típica de un adhesivo para etiquetado de botellas de vidrio.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje en peso (%)</b>
Dextrina amarilla	38
Nitrato de sodio	3
Urea	3
Agua	56

Fuente: Kennedy, 1989.

## **6.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 6**

Con base en las formulaciones típicas encontradas se seleccionaron los aditivos que se encontraron más adecuados según las propiedades de los mismos y sus porcentajes en la formulación de los adhesivos. Se realizaron dos tipos de adhesivos para dos aplicaciones seleccionadas, cerrado de cajas de cartón y formado de sacos de papel. Finalmente, se caracterizaron y se compararon con un producto comercial; esto es adhesivo de dextrina de maíz.

### 6.2.1 Formulaciones seleccionadas para los adhesivos de dextrina de yuca.

Las formulaciones seleccionadas para la fabricación de los adhesivos para cerrado de cajas de cartón y formado de sacos multipliegos y bolsas de papel se presentan en las Tablas 20, 21 y 22 respectivamente.

- **Formulación cerrado de cajas de cartón.**

Tabla 20. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para cerrado de cajas de cartón.

Componente	Porcentaje en peso (%)
Dextrina amarilla	30
Bórax	2,7
NaOH	0,3
Antiespumante	0,3
Biocida	0,1
Agua	66,6

- **Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel.**

**Adhesivo para la costura lateral:**

Tabla 21. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para costura lateral de bolsas de papel.

Componente	Porcentaje en peso (%)
Dextrina amarilla	20
Bórax	2,7
Antiespumante	0,3
Biocida	0,1
Agua	76,9

**Adhesivo para cerrado de fondo:**

Tabla 22. Formulación seleccionada para la fabricación de un adhesivo para cerrado de fondo de bolsas de papel.

Componente	Porcentaje en peso (%)
Dextrina amarilla	30
Bórax	2,7
Antiespumante	0,3
Biocida	0,1
Agua	66,9

**6.2.2 Muestras de adhesivos de dextrina de yuca.** Una vez definidas las formulaciones de los adhesivos, se procedió a pesar las cantidades determinadas de los componentes. Los adhesivos se elaboraron a nivel de laboratorio, utilizando un baño termostataado como se muestra en la Figura 40.

Figura 40. Baño termostataado y agitador usados en la fabricación de un adhesivo de dextrina.



El baño se calentó a una temperatura de 85°C, luego en el vaso de precipitado en baño maría se adicionó el agua y se dejó calentar a la temperatura del baño caliente, posteriormente se adicionó la dextrina y se agitó, mediante un agitador mecánico, a una velocidad de 120 rpm. Luego se adicionaron el antiespumante y el bórax y finalmente la solución de NaOH. Finalmente se adicionó el biocida luego de que la mezcla obtuvo la viscosidad deseada. El adhesivo se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, 25 C y posteriormente se le realizaron las pruebas típicas de caracterización para determinar su calidad. Muestras de los adhesivos obtenidos se presentan en la Figura 41.

Figura 41. Muestra de adhesivos de dextrina de yuca obtenidos.



**6.2.3 Características de los adhesivos de dextrina de yuca obtenidos y comparación con un producto comercial.** Las pruebas para determinar la calidad de un adhesivo pueden ser físico-químicas; como viscosidad, porcentaje de sólidos, pH, color y olor, apariencia de la película, o de desempeño; es decir las que determinan su comportamiento en el momento de una unión adhesiva; como fuerza adhesiva, tiempo de secado, tack y estabilidad. Estos indicadores de calidad se describen en el Anexo K.

La caracterización de los adhesivos fabricados para el formado de bolsas de papel y para el cerrado de cajas de cartón se registra en la Tablas 23 y 24 respectivamente.

Tabla 23. Caracterización de adhesivos de dextrina de yuca para el formado de bolsas de papel.

<b>Análisis</b>	<b>Adhesivo para costura lateral de bolsas de papel</b>	<b>Adhesivo para cerrado de fondo de bolsas de papel</b>
% Sólidos	22,0	32,5
PH	9,3	9,5
Viscosidad cP S28/10 25 °C	5.000	35.300
Color	Marrón claro	Marrón claro
Olor en Húmedo	No perceptible	No perceptible
Apariencia de la película	Transparente y brillante	Transparente y brillante
Fuerza Adhesiva	Mayor	Mayor
Pegajosidad (Tack)	Excelente	Excelente
Estabilidad	Más estable	Más estable

Para evaluar el comportamiento del adhesivo de dextrina de yuca, frente a sus productos sustitutos como el adhesivo de dextrina de maíz, se realizó una comparación de las propiedades evaluadas de los dos adhesivos, la cual se presenta en la Tabla 24 y una fotografía de los adhesivos se muestra en la Figura 42.

Tabla 24. Caracterización comparativa de adhesivos de dextrina de yuca y maíz para el cerrado de cajas de cartón.

<b>Análisis</b>	<b>Adhesivo para cerrado de cajas de cartón (de dextrina de yuca)</b>	<b>Adhesivo para cerrado de cajas de cartón (de dextrina de maíz)</b>
% 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	Opaca
Fuerza Adhesiva	Mayor	Menor
Pegajosidad (Tack)	Excelente	Buena
Estabilidad	Más estable	Menos estable

Figura 42. Muestra de adhesivos de dextrina de maíz y de dextrina de yuca.



### 6.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 6

Los adhesivos de dextrina son susceptibles a la aparición de hongos y bacterias, disminuyendo su vida útil. Sin embargo, aún preferidos en varias aplicaciones, por su bajo costo, su mayor adhesividad y estabilidad, unido a que su uso en sustratos de papel o cartón facilita los procesos de reciclado del mismo.

El principal producto sustituto de este tipo de adhesivos es el acetato de polivinilo (PVA), particularmente para las tres primeras aplicaciones, dado su menor tiempo de secado en comparación con las dextrinas y adicionalmente porque evita el excesivo humedecimiento del sustrato.

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, su principal competidor; cuyas películas son opacas, con un brillo imperfecto y no son estables en almacenamiento.

### 6.4 CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 6

- La validación de los adhesivos de pirodextrinas de yuca, a nivel experimental, permitió comprobar que es posible la obtención de adhesivos a partir de pirodextrinas de yuca con características muy favorables que le permite competir con su principal sustituto, las pirodextrinas 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 tóxicos para empaque de productos alimenticios.

## **PRODUCTO 7: INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE DEXTRINAS DE YUCA POR VÍA SECA**

En este capítulo se presentan los indicadores técnico económicos de la producción de dextrinas de yuca por vía seca. Se tuvieron en cuenta los aspectos técnicos relevantes del proceso y los índices de costos de inversión.

### **7.1 ACTIVIDADES PARA EL LOGRO DEL PRODUCTO 7**

A continuación se describen las actividades para el logro de producto 7.

**7.1.1 Evaluación de los aspectos técnicos de la producción de dextrinas de yuca por vía seca.** El proceso de producción de dextrinas por vía seca utilizando la tecnología propuesta, tiene las mismas etapas de proceso utilizadas en las rallanderías hasta la producción de la torta de almidón; las cuales son las operaciones de *lavado, rallado, colado y recolado y sedimentación*. Posterior a esta última etapa, se realiza la *recolección de la torta de almidón* y se siguen las etapas para la producción de dextrina que comprende las operaciones de *mezclado del catalizador, pelletización, presecado y tostación, enfriamiento y empaque*.

- **Lavado.** En esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a la cascarilla de 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 43. Lavadora de raíces de yuca.



- **Rallado.** En esta etapa se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de las raíces 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 logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso es 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 sería más lenta ya que el gránulo fino pierde densidad.

Figura 44. Rallador de raíces de yuca.



- **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; por esto posterior al colado, se recomienda realizar un recolado de esta 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.

Figura 45. Coladora y Tamiz vibratorio.



– **Sedimentación.** La sedimentación de la lechada de almidón se realiza en canales o en tanques de sedimentación. La sedimentación puede durar 3 h en los canales y de 6-8h en los tanques diseñados para ello. Al final de esta etapa, se obtienen tres capas en los canales: 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 el lavado con agua.

Figura 46. Tanques y canales de sedimentación de almidón.



– **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 17 y 25 %, dependiendo de la eficiencia de extracción

Figura 47. Torta de almidón en tanques de sedimentación.



Es en esta etapa del proceso se elimina el secado de los bloques de almidón en patios de secado, ya que es una limitante del proceso de extracción de almidón en las rallanderías, porque se requiere de grandes espacios y días soleados. Este es

el aporte que hace la tecnología propuesta a la tecnología tradicional de extracción de almidón.

Figura 48. Eliminación del secado del almidón.



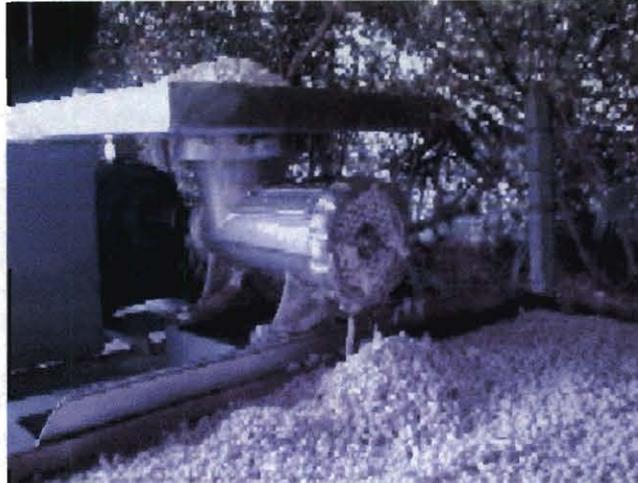
- **Mezclado.** La torta de almidón es mezclada con el catalizador y la masa es ajustada a una humedad de 45% (es la humedad óptima para realizar el pelletizado del almidón). Esta etapa es de vital importancia para garantizar una completa penetración del catalizador en la torta de almidón y evitar problemas 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, si se observa carbonización local el mezclado es insuficiente.

Figura 49. Mezcladora de la torta de almidón, catalizador y aglutinante.



- **Pelletizado.** En esta etapa el almidón acidulado es transformado en pelletizador, con el objeto de aumentar el área superficial de las partículas y facilitar así su secado.

Figura 50. Extrusor-formador para la producción de pellets de dextrina.



- **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 51. Secador de bandejas para pellets de dextrina.



– **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 humidificado 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.** Los pellets de dextrina son empacados en bolsas de poletileno y si es necesario estos pueden ser molidos y tamizados; sin embargo, estas operaciones son indeseables ya que lo que se busca con la tecnología propuesta es evitar la formación de polvos que se presenta cuando se obtiene la dextrina en forma de polvo.

### 7.1.2 Evaluación de los aspectos económicos de la producción de dextrinas de yuca por vía seca.

La producción de dextrinas de yuca a partir de almidón utilizando tecnología de vía seca, puede ser llevada a cabo en una rallandería típica en lo posible tipo 3, es decir con las etapas de proceso mecanizadas. Generalmente una rallandería de este tipo produce de 30 toneladas por mes. A continuación se describen los indicadores económicos relacionados con la construcción e instalación de la planta de proceso para producir el almidón y las dextrinas de yuca, los costos de operación y la relación de costos del producto final en una agroindustria rural. Se tomó como base un estudio de costos realizado en el año 1998, de una rallandería tradicional de la zona del Cauca en Colombia (Alarcón y Dominique, 1998) el cual fue actualizado al año en curso y ajustado para los propósitos del proyecto.

La descripción de los costos de equipos, construcción e instalación de la planta de producción de dextrinas de yuca por vía seca se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Descripción de costos de equipos, construcción e instalación de la planta de producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón de yuca.

<b>Maquinaria y Equipos</b>	<b>Costo (miles de pesos \$)</b>
Lavadora / peladora de yuca (2 t de raíces de yuca)	2.078
Ralladora de yuca (2 t de raíces de yuca)	1.700
Coladora de yuca (800 kg de masa rallada / hora)	12.000
Tamiz vibratorio	3.000
Mezclador	1.500
Formadora	1.500
Banda transportadora	3.000
Lecho fluidizado	10.000
<b>Subtotal 1</b>	<b>34.700</b>

<b>Laboratorio de calidad</b>	
Secador de aire	2.000
Balanza analítica	4.000
Balanza de reloj	300
pH metro	900
Refractómetro	500
Viscosímetro de capilar	100
Termómetros (2)	70
Báscula	700
<b>Subtotal 2</b>	<b>8.570</b>
<b>Infraestructura de la planta</b>	
Canales de sedimentación (largo 200 *ancho 60 * alto 40)	9.000
Tanques de sedimentación (2 m3 cada uno)	10.000
Cubierta o techado de la planta	6.000
Obra civil general (400 m2)	20.000
Bodega para almacenar almidón (30 m2)	10.000
Bodega para almacenar dextrina (30 m2)	10.000
Tanque para depositar la mancha (150 m3)	6.000
Tanque para depositar el afrecho (30 cm3)	4.000
Transmisión de potencia	2.000
Palas metálicas (5)	100
Estibas de madera	100
Cosedora de empaques	1.200
Laboratorio y vigilancia	15.000
Enseres de Oficina	5.000
Transformador de energía (protección, permiso)	4.000
Acueducto (Bocatoma, conducción, filtro y almacenamiento)	7.000
Tratamiento de aguas residuales	5.000
<b>Subtotal 3</b>	<b>114.400</b>
<b>TOTAL *</b>	<b>157.670</b>

\*Este valor no incluye el precio del terreno.

– **Costos de operación.** Una rallandería tipo tres como la descrita anteriormente, tiene una capacidad máxima de producir 300 toneladas por año. Si se opera los doce meses del año, mensualmente se producen 25 toneladas, produciendo 1 tonelada por día y trabajando 8 horas diarias. Los costos de producción, tanto fijos como variables, de una tonelada de dextrina se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Descripción de costos fijos y variables del proceso de producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón de yuca.

<b>Costos Fijos</b>	<b>Costo (miles de pesos \$)</b>
Administración	55
Secretaría	32

Gastos de oficina	12
Mantenimiento de la planta	2
Depreciación (por tonelada producida)	10
<b>Subtotal</b>	<b>111</b>
<b>Costos Variables</b>	
Materia prima . Yuca relación 6:1 (\$150/kg)	900
Costo catalizador (\$ 70.000/L) Para producir 1 t de dextrina se gastan 3 L de HCl	210
Mano de obra (3 jornales) (\$ 25.000/jornal)	75
Agua (corrientes naturales, sin costo)	0
Empaques (40 cada uno de 25kg)	10
Energía eléctrica ( 3 kw/h)	40
Gas propano	15
Gastos varios	29
Fletes	36
Imprevistos	60
<b>Subtotal 2</b>	<b>1.375</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.487</b>

- **Depreciación por año:**

Vida útil de equipo y maquinaria: 10 años

Valor de salvamento (chatarra): \$ 6.940.000

Depreciación por tonelada: \$10.000

Producción en vida útil: 300 t / año \*12 años: (t): 3.600

Periodo contable: 1 año

- **Indicadores de costo y precio.** En la Tabla 27 se presentan los precios en el mercado de almidón nativo y agrio y de los subproductos en las rallanderías del Cauca, a Enero de 2004).

Tabla 27. Precios almidón nativo, almidón agrio y sus subproductos (Enero 2004).

Producto	Precio de venta ( \$ / kg) (Enero, 2004)
Almidón agrio \$ 17.360 / arroba-	1400
\$ 20.000 / arroba	1200
Almidón dulce ( \$2.000 más barato que el agrio)	240
Afrecho seco	25
1Volqueta de 6 m3 de afrecho húmedo (\$150.000)	400
Mancha seca	106
Balde de 5 galones de mancha líquida (\$ 2.000)	

## 7.2 RESULTADOS DEL PRODUCTO 7

Realizada la evaluación de los aspectos técnicos y económicos de la producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón de yuca, para el montaje de una planta de producción en la zona del Cauca, los indicadores económicos del proceso se pueden resumir en la Tabla 28.

Tabla 28. Indicadores económicos de la producción de dextrinas por vía seca a partir de almidón.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Capacidad de producción (t/año)	300
Precio de venta de la dextrina (\$)	2.000
Costo Unitario de la dextrina (\$)	1.487
% Costo Fijo	7
% Costo Variable	93
Inversión (miles de pesos \$)	157.670

Para un periodo de estudio de cinco años, se terminó que el valor del presente neto del proyecto es \$ 266.035 miles de pesos. Haciendo de este proyecto un negocio atractivo.

Según el análisis económico los costos de producir un kilogramo de dextrina de yuca son de \$1.487. Con una ganancia del 34 %, del valor de producción, la dextrina puede ser vendida a \$2.000. Además pueden ser vendidos los subproductos del proceso de extracción del almidón, se consideró para el precio de venta el precio de los subproductos en el actual (abril de 2004) en el mercado, cuyos precios se presentan en la Tabla 29. A esta misma fecha, el costo de la dextrina de maíz comercial es de \$3.036/kg, la cual es suministrada en forma de polvo, por lo que la dextrina de yuca tendría un precio competitivo frente a su sustituto la dextrina de maíz.

Tabla 29. Precios de venta de dextrina y subproductos para el proceso de producción propuesto.

<b>Producto</b>	<b>Precio de venta ( \$ / kg) (Enero, 2004)</b>
Dextrina	2.000
Afrecho seco	240
Mancha seca	400
<b>COSTO TOTAL PRODUCTOS</b>	<b>2.640</b>

Finalmente, el indicador de valor agregado del proceso y el retorno por venta de la dextrina y de los subproductos es:

**Valor agregado del proceso:**

$$1 - (\text{costo materia prima} / \text{precio dextrina}) = 0,6$$

**Retorno por venta de dextrina a los factores de producción:**

$$1 - (\text{costos variables totales} / \text{precio dextrina}) = 0,3$$

**Retorno por venta de (dextrina y subproductos) a los factores de producción:**

$$1 - (\text{costos variables totales} / \text{precio dextrina} + \text{subproductos}) = 0,5$$

### 7.3 DISCUSIÓN DEL PRODUCTO 7

El mayor aporte de este estudio es que la tecnología propuesta, producción de dextrinas de yuca por vía seca utilizando secado con aire a través de un lecho de pellets es una tecnología que agrega valor al método tradicional de extracción de almidón de yuca empleado por pequeños procesadores o rallanderías en Colombia, presentando ventajas frente a las tecnologías actuales de producción de dextrinas en forma de polvo. El proceso propuesto es limpio ya que elimina la generación de polvos, permite utilizar la torta de almidón evitando su secado y contaminación y la dextrina obtenida es de fácil manejo y empaque.

Los costos de inversión de la producción de pellets de dextrina en una rallandería se reducen ya que estas cuentan con los equipos de extracción de almidón y los equipos que se requeriría comprar serían el equipo mezclador, el pelletizador y el secador. Con esta infraestructura no solamente pueden ser obtenidas dextrinas, sino dependiendo de las condiciones de operación y catalizador utilizador pueden obtenerse diferentes tipos de almidones modificados por vía seca.

La conversión de almidón a *dextrina* es 1:1, la de *afrecho seco* es 0,45 toneladas / tonelada de almidón y de *mancha seca* es de 0,10 toneladas / tonelada almidón.

### 7.4 CONCLUSION DEL PRODUCTO 7

- La evaluación de los indicadores técnicos y económicos de la producción de dextrinas de yuca por vía seca, dadas las especificaciones planteadas, determinó que el proceso es viable no solo económica sino socialmente.
- La producción de pellets de dextrina genera un valor agregado al cultivo de la yuca de 0,6. Adicionalmente, el inversionista no sólo recibe un retorno por venta del producto final que es la dextrina sino de los productos sustitutos tales como el *afrecho* y la *mancha*. Por la venta de la dextrina el índice de retorno es de 0,3 y de la venta tanto de la dextrina como de los productos sustitutos es de 0,5.

## **8. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN Y CAPACITACIÓN**

Para la divulgación de los resultados del estudio, se realizó en CIAT un seminario público el día 22 de abril de 2004.

Posteriormente se realizaron actividades de capacitación y difusión, entre los más destacados se mencionan:

- ♦ Curso Internacional sobre Sistemas Modernos de Producción, Procesamiento y Utilización de Yuca. Mayo 31- Junio 11 de 2004
- ♦ Taller Tecnologías Modernas de Apoyo a los Proyectos Agroindustriales de yuca. Octubre 11-15 de 2004
- ♦ Visitas técnicas de estudiantes de diferentes Universidades:
  - Universidad de Nariño (Ing. Agroindustrial). Mayo 3 de 2004
  - Universidad Nacional, Bogotá (Ing. Química). Mayo 7 de 2004
  - Universidad del Cauca (Ing. Agroindustrial y Zootecnia). Agosto 24 de 2004
  - Universidad Pontificia Bolivariana, Montería (Ing. Agroindustrial). Septiembre 23 de 2004
  - Universidad Nacional, Palmira (Ing. Agroindustrial y Zootecnia. Octubre 28 de 2004
- ♦ Asociación Municipal de Usuarios Campesinos, AMUC. Santander de Quilichao. Noviembre 8-10 de 2004

## 9. RECOMENDACIONES

Con miras para orientar estudios futuros en el tema se recomienda:

- Validar los resultados obtenidos a nivel industrial. Para las dextrinas realizar una fase piloto en una rallandería evaluando diferentes condiciones de proceso; haciendo partícipes a los productores del proceso de utilización de su producto en un mercado de mayor valor agregado y para la producción de adhesivos de dextrina, evaluar diferentes niveles de los componentes, haciendo a la industria de adhesivos partícipe del proceso de investigación y desarrollo y contribuir con su experiencia en la determinación de la formulación que satisfaga sus necesidades, evaluando aspectos como desempeño del adhesivo frente al tipo de sustrato, condiciones de operación, maquinaria, métodos de aplicación entre otros.
- Evaluar sistemas continuos de secado de los pellets que garanticen un flujo homogéneo del aire en el proceso de secado y tostación de las dextrinas.
- Para el diseño de equipos industriales para la aplicación de la tecnología propuesta es necesario realizar un buen diseño de la ubicación del ventilador dentro de secador para permitir una velocidad uniforme dentro del lecho y de los deflectores, para orientar la dirección de flujo de aire; con el objeto de garantizar un secado uniforme de los pellets dentro del secador.
- Para proyectos futuros de dextrinización con el uso de harinas refinadas sería interesante evaluar diferentes condiciones de operación utilizando otros catalizadores o compuestos que permitan el encapsulamiento de los materiales diferentes al almidón presentes en estas o utilizar mezclas de almidón y harina refinada con el objeto de obtener una mejor conversión a dextrina.
- Evaluar el uso de las pirodextrinas de yuca en nuevos mercados en particular en el sector alimenticio y farmacéutico. Con un manejo cuidadoso del proceso de producción y el uso de catalizadores y condiciones de proceso que permitan obtener una pirodextrina de calidad comparable a los productos usados para este fin y a la vez aprovechar las ventajas comparativas que tiene la ruta seca en la producción de almidones modificados.
- Buscar mecanismos para vincular a los pequeños productores y procesadores de yuca, en especial de almidón dulce, dentro del desarrollo del producto, para que sean ellos quienes provean la torta de almidón para la producción de la pirodextrina de yuca, la cual sea vendida a la industria de adhesivos, garantizando un abastecimiento constante, precio estable y altos estándares de calidad. Esto con el objeto de fortalecer la cadena agroindustrial de la yuca, lo que permite dar sostenibilidad comercial a este tipo de productos.

- Fomentar tanto en las universidades como en los centros de investigación proyectos sobre los diversos almidones modificados, encontrados en el estudio como las opciones tecnológicas que aportan mayor valor agregado en la cadena agroindustrial de la yuca. Estos insumos en su mayoría provienen de otras fuentes y están siendo importados generando una fuga de divisas importante. De esta manera se contribuye al aprovechamiento de un cultivo local y de grandes ventajas comparativas frente a sus productos sustitutos.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M. y Salcedo, M. Estudio de las aplicaciones industriales, potencial de mercado en Colombia y diseño de un producto a partir de pirodextrinas de yuca. Cali, 2004. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial.

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

Alarcón, F. y Dufour, D. Almidón agro de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones. Tomo I. Cali: CIAT-CIRAD, 1998

Aristizabal, J. y Robles, S. Estudio de la dextrinización del almidón de yuca por vía seca. Bogotá, 2001. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química.

Balagopalan, C.; Padmaja, G. Cassava in Food, Feed and Industry. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1988. p.138.

Barona, S e Isaza, L. Estudios para el desarrollo de un proceso de extracción de almidón a partir de trozos secos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con mínima utilización de agua. Cali, 2003. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Agrícola.

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

Brautlecht, Charles A. Starch: Its Sources, Production and Uses. New York: Reinhold Publishing, 1953. p. 308-317.

Brimhall, B. Structure of pyrodextrins. En: Industrial and Engineering Chemistry. Vol 36, No. 1 (January, 1944); p.72-75.

Caesar, G.V y Cushing, M. L. Classification of starch derivatives. En: Industry and Engineering Chemistry. Vol. 31, No. 7 (july, 1939); p. 921-924.

Evans, R. B. and Wurzburg, O. B. Production and Use of Starch Dextrins. En: Whistler, Roy L. and Paschall, Eugene F. Starch: Chemistry and Technology. New York: Academic Press, 1967. v. 2, p. 254-278.

Houwink, R.; Salomon, G. Adherencia y adhesivos. Enciclopedia de Química Industrial. Vol.3. España: Ulmo S.A.. 1978 p.201-208.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Almidón de maíz sin modificar. Bogotá: ICONTEC, 1974. 24 p. il. (NTC 926).

Jaramillo, G. Factores a tener en cuenta en la selección de la variedad de yuca que se quiere sembrar. Proyecto Mejoramiento de yuca CIAT-MADR. Palmira: CIAT, 2002.

Kennedy, H. M. and Fischer, A.C Jr. Starch and Dextrins in prepared Adhesives. En: Whistler, Roy L., Bemiller, James N. and Paschall, Eugene F. Starch: Chemistry and Technology. 2 ed. Orlando (Florida): Academic Press, 1984. p. 593-610.

Kennedy, H. Starch and Dextrin based Adhesives. En: Hemingway, R and Conner, A. Adhesives from renewable resources (Developed from a symposium sponsored by the cellulose, paper and textile division). Washington D.C.: American Chemical Society, 1989. p. 331-335.

Kinloch, A. J. Adhesion and Adhesives. Science and Technology. Chapman and Hall: London, 1987. p 18-24, 57, 96

Kruger, Leo; Lacourse, Norman. Starch based adhesives. En: SKEIST, Irving. Handbook of adhesivos. 3 ed. Van Nostrand Reinhold Company: New York, 1990 p.153-166.

Laboratory Methods. [on line]. Denmark: Science Park Aarhus. International Starch Institute. [cited oct 2001]. Disponible en Internet: <  
<http://home3.inet.tele.dk/starch/isi/methods/04dm.htm>>

Lachmann, Alfred. Starches and Corn Syrups. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1970. p. 70-91.

Lange, Norbert Adolph and DEAN, John A. Lange's Handbook of Chemistry. 12 ed. New York : Mc GrawHill Book, 1979. p.10-97.

Lim, Bee Gim and Ho Dac, Thang. Pelletization process. Singapore. US Patente 6.309.680. October 30, 2001

Linden, G. and Lorient, D. Bioquímica agroindustrial. Zaragoza: Acribia, 1994. p. 283-307.

Mccabe, Warren L., Smith, Julian C y Harriott, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. 4 ed. Madrid: McGraw-Hill, Inc, 1991 p.968-986

Perry, R., Green, D. and Maloney, J. Perry Manual del Ingeniero Químico. 6 ed. México: McGraw-Hill, Inc., 1992. Tomo II. p. 8-12, 8-56.

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

Skeist, Irving. Handbook of Adhesives. 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1977. p.192-211.

Wolfgang, G. Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry. Fifth Edition Vol A1. New York: Advisory Board, 1993. p. 222-227.

Wolfrom, M. L., Thompson, A. and Ward, R. B. Composition of pyrodextrins. En: Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 53, No. 3 (March, 1961); p. 217-218.

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

**Anexo A. Ficha técnica de germoplasma industrial y doble propósito disponible para diferentes zonas de adaptación en Colombia.**

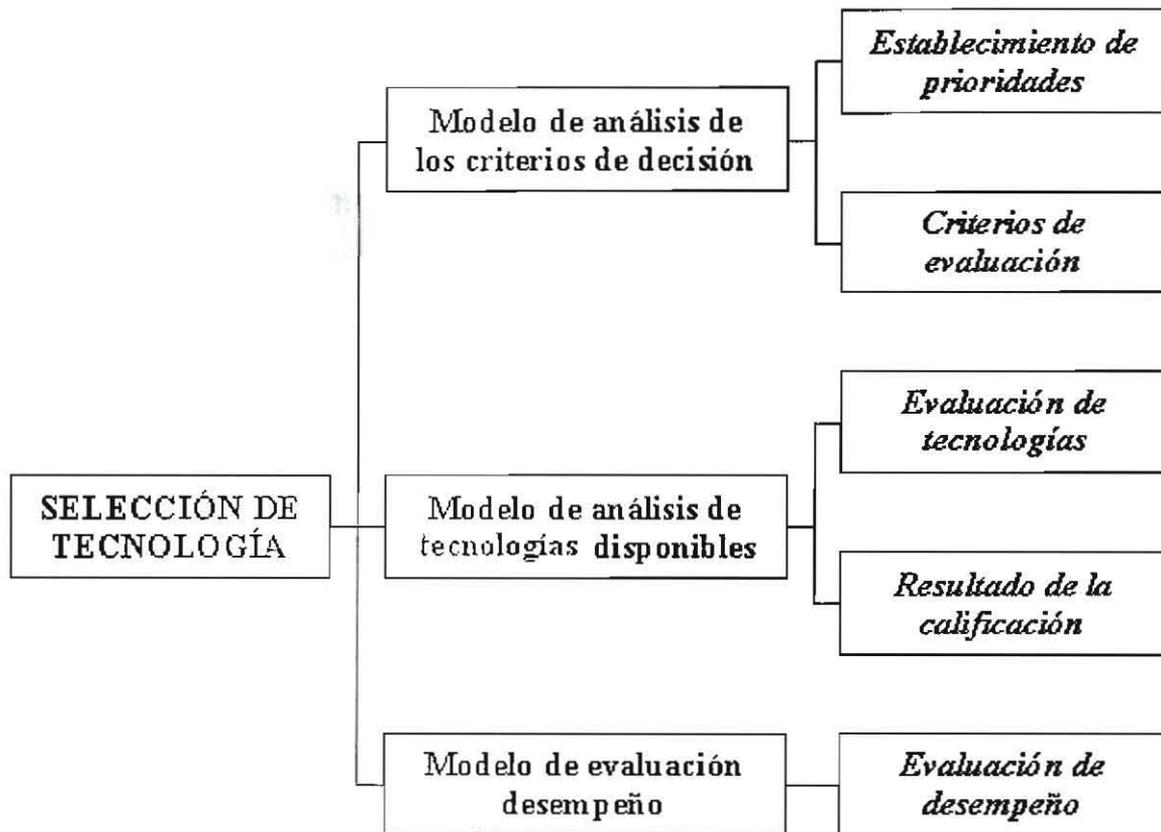
<b>Clon o genotipo CIAT</b>	<b>Zona de adaptación</b>	<b>Rendimiento prom. Raíces frescas (t / ha)*</b>	<b>Materia seca % prom.</b>	<b>Rendimiento prom. m. seca (t / ha)</b>	<b>Contenido cianogénico</b>	<b>Tipo de uso de la raíz</b>
CM 523-7	Llanos - Valle - Tolima	25,0	38,0	9,5	Bajo	Doble Propósito
CM 2177-2	Llanos	18,0	37,5	6,8	Bajo	Doble Propósito
MCOL 2737	Llanos - Tolima	22,0	35,0	7,7	Intermedio	Doble Propósito
CM 6740-7	Llanos - Norte del Cauca	25,0	35,5	8,9	Intermedio	Industrial
SM1557-17	Llanos - Valle-Norte del Cauca	28,7	36,0	10,3	Bajo	Industrial
SM 1741-1	Llanos - Valle-Norte del Cauca	33,0	37,9	12,5	Intermedio	Industrial
MCOL 1505	Costa Atlántica - Valle - Tolima	23,0	37,0	10,2	Bajo	Doble Propósito
CM 3306-4	Costa Atlántica - Valle - Tolima	21,0	36,5	7,7	Bajo	Doble Propósito
CM 3306-9	Costa Atlántica - Valle - Tolima	21,0	36,0	7,6	Intermedio	Industrial
MCOL 2215	Costa Atlántica	9,5	37,0	3,5	Bajo	Doble Propósito
CG 1141-1	Costa Atlántica - Tolima	20,0	33,6	6,7	Intermedio	Doble propósito
MTAI 8	Costa Atlántica	34,2	33,1	11,3	Alto	Industrial
CM 3306-19	Costa Atlántica	21,4	33,0	7,1	Intermedio	Industrial
CM 3555-6	Costa Atlántica	22,7	36,5	8,3	Intermedio	Industrial
MVEN 25	Costa Atlántica - Tolima	21,6	33,5	7,2	Alto	Industrial
CM 4919-1	Costa Atlántica	24,3	34,0	8,3	Alto	Industrial
CM 4843-1	Costa Atlántica	23,0	34,0	7,8	Alto	Industrial
HMC-1	Valle - Tolima - Zona Cafet.	25,0	33,0	8,3	Bajo	Doble Propósito
MPER 183	Valle - Tolima - Zona Cafet.	32,9	32,0	10,5	Bajo	Doble Propósito
MBRA 12	Valle - N. del Cauca - Tolima	25,0	35,0	8,8	Alto	Industrial
MCOL 2066	Zona Cafetera	25,0	37,0	9,3	Bajo	Mesa
MCOL 1522	Zona Cafetera	9,0	35,0	3,2	Bajo	Doble Propósito
MCOL 1468	Valle - Norte del Cauca	22,0	34,5	7,6	Bajo	Doble Propósito
CM 7514-7	Valle - Norte del Cauca	33,6	41,5	13,9	Bajo	Industrial
SM 909-25	Valle - Norte del Cauca	39,2	37,5	14,7	Bajo	Industrial
SM 653-14	Valle - Norte del Cauca - Tolima	34,9	40,5	14,1	Bajo	Industrial
MBRA 383	Norte del Cauca	36,7	38,1	14,0	Bajo	Industrial
CM 7951-5	Norte del Cauca	38,0	34,1	13,0	Intermedio	Industrial
CM 1219-9	Norte del Cauca	36,5	32,3	11,8	Bajo	Industrial
MCOL 2758	Norte del Cauca	35,0	37,0	13,0	Bajo	Doble Propósito

\* Rendimiento experimental en ensayos regionales.

### Anexo B. Patentes de la producción de dextrinas por vía seca.

Número de patente	Fecha	Título	Autores	Estado
US 2.287.599	Jun. 23, 1942	Production of dextrine from starch	August J. Bulfer and Clark C. Gapen, assignors to Corn Products Refinig Company	New York
US 2.332.345	Oct. 19, 1943	Dextrine Cooker	William J. Rowe and Carl Hagen, assignors to Corn Products Refining Company.	New York
US 2.503.053	Apr. 4, 1950	Modification of starch	Ralph Waldo Kerr, assignor to Corn Products Refining company,	New York
US 2.698.818	Jan. 4, 1955	Production of starch conversión products	Max A. Staerkle and Emil Meier, assignors to Blattman & Co.	Waedenswil, Switzerland
US 2.845.368	Jul. 29, 1958	Dextrinization process	Ralph E. C. Fredrickson, assignor to A. E. Staley manufacturing Company	Decatur
US 3.200.012	Aug. 10, 1965	Continuos process for dextrinization of particulate starch	Julian A. Hay, assignor to American Maize- Products Company	Maine
US 3.224.903	Dec. 21, 1965	Dextrins and method of making same	John D. Commerford, Barrett L. Scallet and Grant T. Van Duzee, assignors to Anheuser-Bush Corporation	Missouri
US 3.425.868	Feb. 4, 1969	Manufacture of dextrin	Robert E. Lanphere, assignor to Standard Brands Incorporated	New York
US 3.527.606	Sep. 8, 1970	Method of Modifying starch	Gerwin G. Taylor and Julian A. Hay, assignor to American Maize-Products Company	Maine
US 4.761.185	Aug. 2, 1988	Rapid starch depolymerization via spray reactors	Esteban Chornet, Paulo G. Koeberle and Ralph Overend	Sherbrooke (Canada)
US 5.336.328	Aug. 9, 1994	White waxy starch dextrins for use in adhesives	David Mauro, Ronald Kozlowski, Larry Benko, assignor to American Maize Technology	Dimmitt, Tex
EP 710.670	May 8, 1996	A method of modifying starch	Vezzani, Corrado, assignor to Vomm Impianti e Processi S.r.L	Milano (IT)
US 6.001.408	Dec. 14, 1999	Starch products having hot or cold water dispersibility and hot or cold swelling viscosity	Wayne Dudacek, Joyce A. Engels, J.E. Todd Giesfeldt and Gregory Vital, assignor to Corn Products International	Bedford Park
US 6.191.116	Feb. 20, 2001	Highly soluble, hydratable, viscous, solution stable pyrodextrins, process of making and use thereof	James J. Kasica, Vicent Choe, Erick Kouba and Elizabeth Styer assignor to National starch and Chemical Investment Holding Corporation	Wilmington, DE (US)

**Anexo C. Metodología de selección de tecnología.**



**Anexo D. Catalizadores usados en el proceso de dextrinización.**

<b>Clase de Catalizador</b>	<b>Tipo</b>
Ácidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clorhídrico, nítrico, sulfúrico, fórmico, sulfuroso, fosfórico, fluosilícico, cianhídrico</li> <li>- Mezclas de: clorhídrico y fosfórico, clorhídrico y sulfúrico, nítrico y fosfórico, nítrico y clorhídrico</li> <li>- Dióxido de carbono, dióxido de azufre</li> <li>- Formaldehído, cloruro de hidrógeno gaseoso</li> <li>- Gases ácidos: anhídrido sulfuroso, anhídrido carbónico</li> </ul>
Ácidos Carboxílicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Láctico y oxálico</li> </ul>
Básicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidróxido de sodio y sales hidrolizables de ácidos débiles tales como: carbonatos o bicarbonatos (de sodio o amonio), hidrocarbonatos, fosfato de sodio</li> <li>- Amoníaco, hidróxido de amonio, trietanolamina y urea.</li> </ul>
Oxidantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Halógenos, óxidos de nitrógeno, hipocloritos, percloratos y ozono diluido con aire</li> <li>- Ácido monocloroacético, cloro gaseoso</li> </ul>
Sales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cloruro de Manganeso II en presencia de ácido nítrico</li> <li>- Sales de aluminio alcalinizado o acidificado</li> <li>- Cloruro de aluminio, cloruro de calcio, sulfitos, nitratos metálicos, sales de sodio y potasio</li> </ul>

Fuente: Aristizábal y Robles, 2001.

## **Anexo E. Descripción de las principales propiedades de las dextrinas.**

**Apariencia superficial.** Muy pequeños cambios ocurren en la apariencia superficial del gránulo del almidón durante la dextrinización. Cuando los gránulos son examinados en una mezcla de agua/glicerol, las pirodextrinas más ampliamente convertidas muestran evidencia de un rompimiento y exfoliación de las capas externas de su estructura.

**Color.** El color de una dextrina es influenciado por la acidez y la temperatura durante la conversión. El color es un indicativo de la temperatura a la cual el almidón es expuesto durante la dextrinización y es también un indicativo de la acidez a la cual se dio la conversión. A mayor ácido, a una temperatura dada, el color es más oscuro. Las dextrinas convertidas a bajas temperaturas son sustancialmente blancas. Las dextrinas amarillas son más oscuras en color, tienden a un color pardo. Las gomas británicas, convertidas a temperaturas altas, se oscurecen y llegan a ser de color marrón.

**Humedad.** El contenido de humedad del almidón es gradualmente reducido en las etapas de presecado y tostación o conversión. El rango del contenido de humedad final, si no se humidifica la dextrina, es de 3 a 5 % para las dextrinas blancas y usualmente menor de 2 % para las dextrinas amarillas y gomas británicas. Sin embargo, dado que las dextrinas son bastante higroscópicas, en contacto con la humedad normal de la atmósfera puede absorber humedad y equilibrarla hasta un contenido final de 8 a 10 %.

**Viscosidad.** La pirodextrinas típicamente dan soluciones mucho más bajas que los almidones de partida y la viscosidad decrece con el incremento del grado de conversión. Hay, sin embargo, un límite más allá del cual la viscosidad no disminuye más. Este punto aparentemente es el resultado de un equilibrio entre dos reacciones simultáneas: hidrólisis y repolimerización. Las dextrinas blancas cubren un amplio rango de viscosidades dependiendo del grado de conversión. Éstas normalmente pueden ser cocinadas en agua caliente a un contenido de sólidos desde 25 hasta 50-55 %. Las gomas británicas pueden cubrir un rango similar. Sin embargo, las dextrinas amarillas, que tienen la más baja viscosidad, exhiben un flujo característico de fluidos newtonianos, pueden ser dispersadas a un contenido de sólidos de 70 %. Las altas concentraciones a las cuales las dextrinas pueden ser cocinadas las hace particularmente convenientes para usar en la aplicación de adhesivos, donde un alto tack y rápida velocidad de agarre al sustrato son deseados.

**Solubilidad.** En las primeras etapas de dextrinización ocurren pequeños cambios en la solubilidad del almidón en agua fría. A medida que la temperatura aumenta, bajo condiciones ácidas, la solubilidad rápidamente se incrementa. El aumento en solubilidad se debe principalmente al acortamiento de las cadenas largas del almidón con un correspondiente rompimiento de los enlaces de hidrógeno que mantienen unida la estructura del gránulo. Un bajo contenido de

humedad permite que se logre total solubilidad mucho más rápido que en el caso de almidones húmedos. La excesiva humedad en el almidón causa una hidrólisis menos selectiva de los enlaces glucosídicos, generando más pocos oligosacáridos. Los cambios de solubilidad también dependen del ácido utilizado. Ácidos de mayor  $pK_a$  aceleran la solubilidad, pero a la vez producen dextrinas más oscuras. Adicionalmente, el incremento de la concentración del catalizador ácido es paralelo al incremento de solubilidad de las dextrinas. Las dextrinas blancas dependiendo del grado de conversión tienen un rango de solubilidad en agua fría desde 60-95 %, pero la mayoría poseen una solubilidad parcial. Para el mismo grado de conversión, las gomas británicas serán más solubles que las dextrinas blancas, y tendrán un rango desde mínima solubilidad hasta 100 %. Todas las dextrinas canarias son prácticamente 100 % solubles.

**Contenido de dextrina.** Este se refiere a la porción de dextrina que es soluble en un medio saturado de solución de hidróxido de bario. Esta prueba empírica (Caesar y Cushing, 1939) demostró que el contenido de dextrina varía con el grado de conversión. El estudio puso de relieve la relación entre la solubilidad, la susceptibilidad al álcali y el contenido de dextrina. Se planteó que, excepto a bajas temperaturas y tiempos de conversión, el método de hidróxido de bario concuerda razonablemente con los valores de solubilidad para tipos de productos de almidón convertidos con ácidos. Así, la determinación del contenido de dextrina es arbitraria, ya que tiende a ser paralela a la medida de solubilidad.

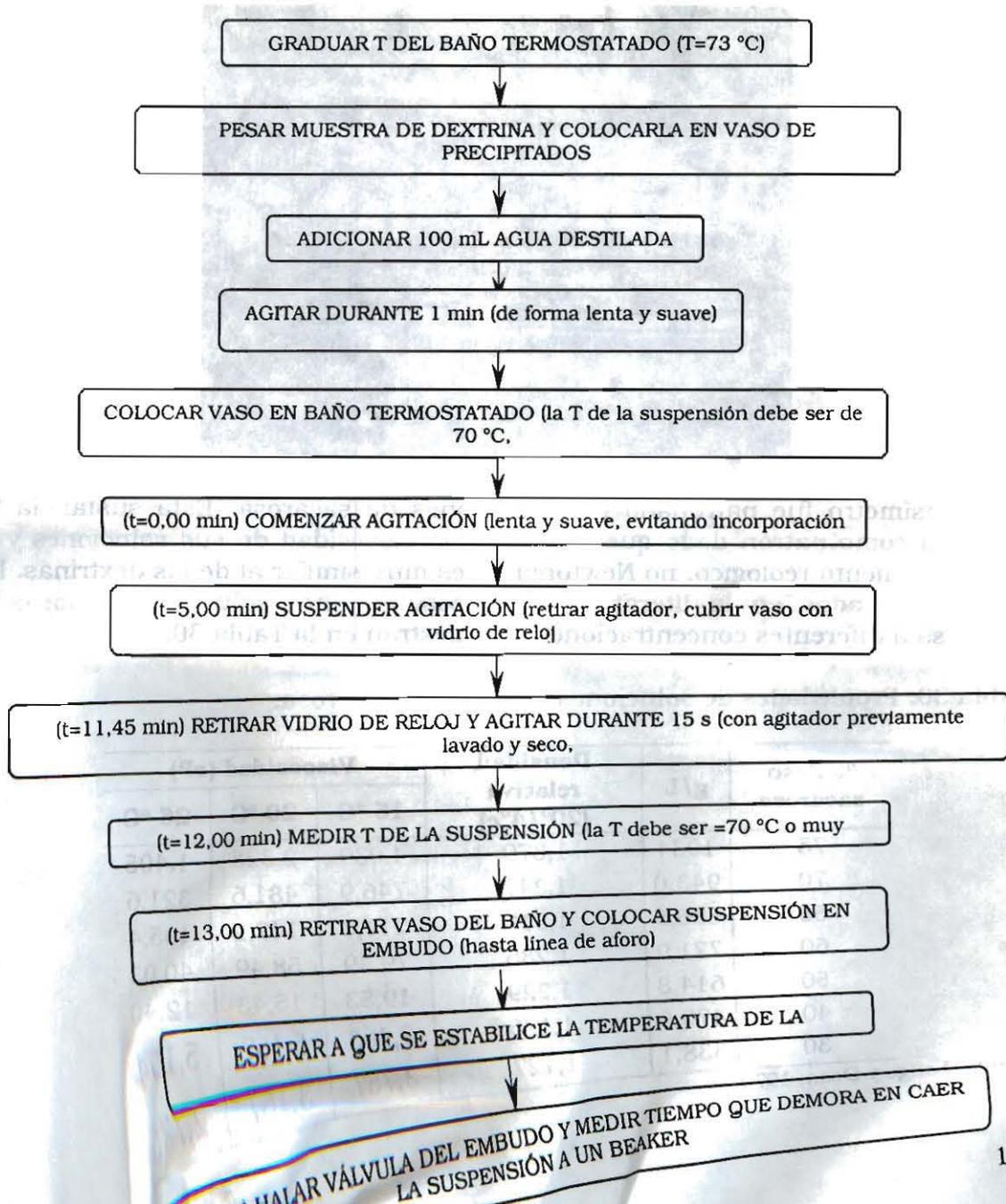
**Azúcares reductores o equivalente de dextrosa (d.e.).** El contenido de azúcares reductores es una función del cambio de viscosidad y alcanza un máximo casi al mismo tiempo que la viscosidad alcanza un valor mínimo. Durante este periodo se forman sacáridos incluyendo glucosa, maltosa y oligosacáridos que dan a las dextrinas blancas un valor reductor excepcionalmente alto. La repolimerización de estos compuestos de bajo peso molecular a altas temperaturas origina la disminución en el contenido de azúcares reductores de la dextrina. Dependiendo del grado de conversión, los azúcares reductores en las dextrinas blancas pueden estar en el rango de 10-12%, para las dextrinas amarillas de 1-4 % y para las gomas británicas puede aún ser menor.

**Susceptibilidad al álcali.** Esta es una propiedad que da valiosa información sobre la estructura de las pirodextrinas, principalmente sobre el contenido de grupos terminales reductores. Este indicador aumenta con la concentración del catalizador ácido utilizado. Los azúcares reductores o el equivalente de dextrosa son una indicación de los grupos aldehídos formados durante la conversión. Cuando las cadenas se vuelven más cortas se producen más grupos aldehídicos y la susceptibilidad al álcali incrementa hasta un máximo. La máxima cifra está cerca de 60-70 mL/g, luego de un calentamiento continuo este valor comienza a decaer por la formación de estructuras ramificadas debidas a la transglucosidación y posible repolimerización y el número de álcali de las dextrinas canarias es reducido gradualmente a valores de 15-20 mL/g.

## Anexo F. Determinación del poder viscosante de las dextrinas.

**Aparatos.** Embudo termostatado (con válvula), baño de agua termostatado, balanza analítica, vaso de precipitados de 200 mL, cronómetro, vidrio de reloj, agitador.

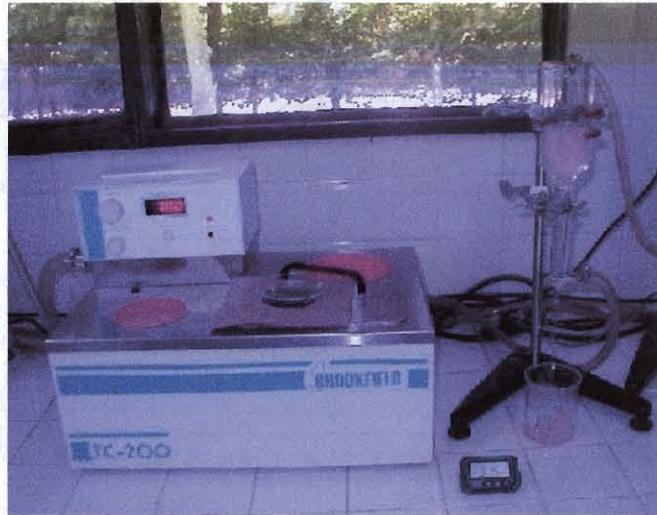
**Procedimiento.** Este ensayo es una adaptación hecha con base en la determinación de viscosidad en el Viscosímetro Scott (ICONTEC, 1974).



### Anexo G. Descripción del patronamiento del viscosímetro de capilar.

El viscosímetro de capilar, de vidrio enchaquetado posee las siguientes dimensiones: diámetro interno: 40 mm, diámetro interno del vástago: 4 mm, longitud del vástago: 140 mm. La Figura 52 muestra el viscosímetro de capilar y el baño termostataado.

Figura 52. Viscosímetro de capilar y baño termostataado.



El viscosímetro fue patronado con soluciones de sacarosa. Esta sustancia fue escogida como patrón dado que se conoce la viscosidad de sus soluciones y su comportamiento reológico, no Newtoniano, es muy similar al de las dextrinas. Los datos reportados en la literatura de viscosidad para soluciones acuosas de sacarosa a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Propiedades de soluciones acuosas de sacarosa.

% Peso sacarosa	g/L	Densidad relativa (20°/4°c)	Viscosidad (cP)		
			15 °C	20 °C	25 °C
75	1034	1,379	4.039	2.328	1.405
70	943,0	1,347	746,9	481,6	321,6
65	855,6	1,316	211,3	147,2	105,4
60	771,9	1,286	79,49	58,49	40,03
50	614,8	1,229	19,53	15,43	12,40
40	470,6	1,176	7,463	6,167	5,164
30	338,1	1,127	3,757	3,187	2,731

Fuente: Lange y Dean, 1979.

### Anexo G. Descripción del patronamiento del viscosímetro de capilar.

El viscosímetro de capilar, de vidrio enchaquetado posee las siguientes dimensiones: diámetro interno: 40 mm, diámetro interno del vástago: 4 mm, longitud del vástago: 140 mm. La Figura 52 muestra el viscosímetro de capilar y el baño termostataado.

Figura 52. Viscosímetro de capilar y baño termostataado.



El viscosímetro fue patronado con soluciones de sacarosa. Esta sustancia fue escogida como patrón dado que se conoce la viscosidad de sus soluciones y su comportamiento reológico, no Newtoniano, es muy similar al de las dextrinas. Los datos reportados en la literatura de viscosidad para soluciones acuosas de sacarosa a diferentes concentraciones se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Propiedades de soluciones acuosas de sacarosa.

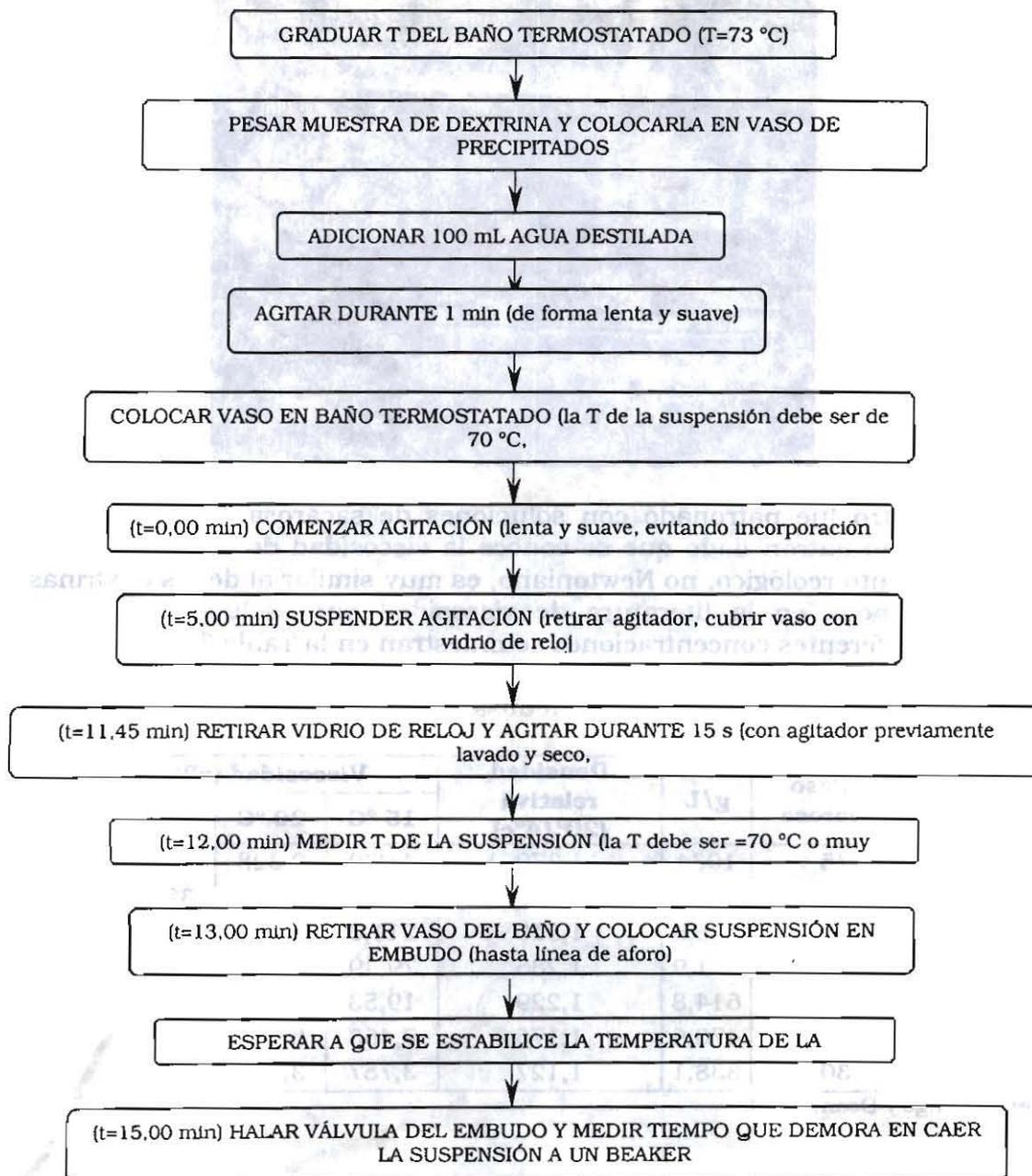
% Peso sacarosa	g/L	Densidad relativa (20°/4°c)	Viscosidad (cP)		
			15 °C	20 °C	25 °C
75	1034	1,379	4.039	2.328	1.405
70	943,0	1,347	746,9	481,6	321,6
65	855,6	1,316	211,3	147,2	105,4
60	771,9	1,286	79,49	58,49	40,03
50	614,8	1,229	19,53	15,43	12,40
40	470,6	1,176	7,463	6,167	5,164
30	338,1	1,127	3,757	3,187	2,735

Fuente: Lange y Dean, 1979.

## Anexo F. Determinación del poder viscosante de las dextrinas.

**Aparatos.** Embudo termostatado (con válvula), baño de agua termostatado, balanza analítica, vaso de precipitados de 200 mL, cronómetro, vidrio de reloj, agitador.

**Procedimiento.** Este ensayo es una adaptación hecha con base en la determinación de viscosidad en el Viscosímetro Scott (ICONTEC, 1974).



**Anexo H. Determinación de la solubilidad en agua fría de las dextrinas.**

**Aparatos.** Balanza analítica, tubos de ensayo, espátula y Refractómetro (Vease Figura 55)

**Procedimiento.**

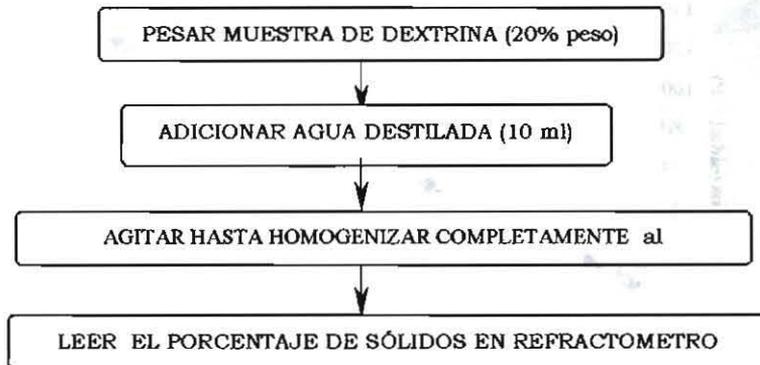
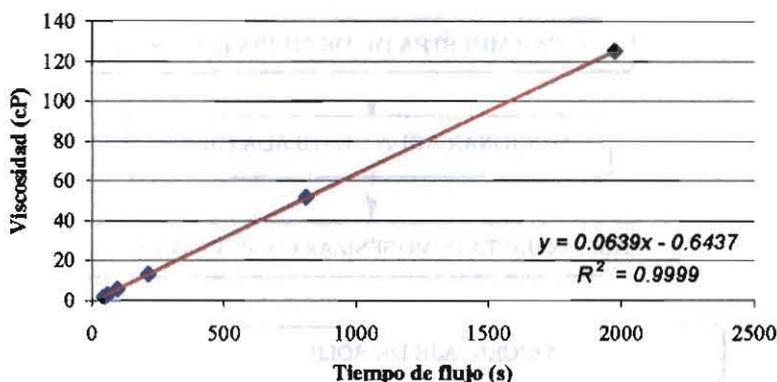


Figura 55. Refractómetro para la determinación de sólidos solubles en la dextrina.



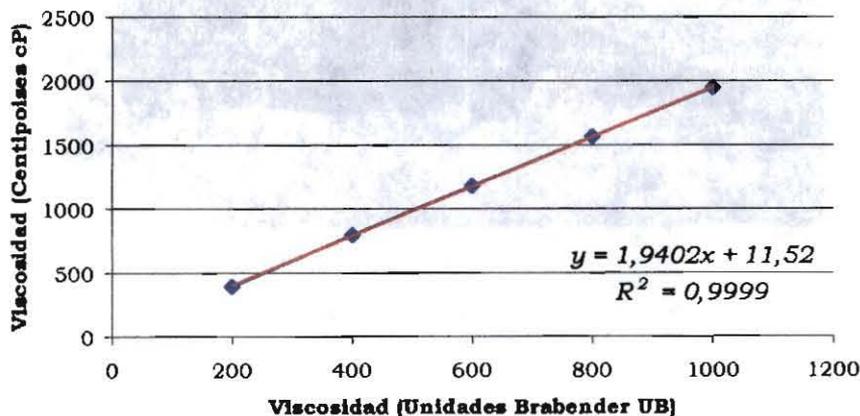
Con base en los datos teóricos se generó una ecuación para relacionar la viscosidad en cP de las soluciones de sacarosa, a diferentes % peso de sólidos, determinada en el viscosímetro rotacional Brookfield y la viscosidad en segundos determinada en el viscosímetro de capilar. La curva obtenida se muestra en la Figura 53, donde es posible interpolar la viscosidad en cP para cualquier tiempo de flujo entre 0 y 2500 s. La regresión lineal obtenida, con un alto nivel de correlación, es un indicativo de la confiabilidad de los datos que se obtienen en el viscosímetro de capilar para determinar el poder viscosante de las dextrinas.

Figura 53. Relación entre el tiempo de flujo (s) y la viscosidad (cP) para el viscosímetro de capilar.



Adicionalmente, se determinó una correlación para relacionar la viscosidad en cP, determinada en el viscosímetro Brookfield y la viscosidad en UB (Unidades Brabender) determinada por el Viscoamilograma Brabender, la cual se muestra en la Figura 54.

Figura 54. Relación entre la viscosidad en unidades Brabender y Centipoises.



## **Anexo I. Determinación del contenido de humedad por medio del método rápido de secado en lámpara infrarroja.**

**Aparatos.** Lámpara infrarroja, balanza analítica, caja petri. (Veáse Figura 56).

### **Procedimiento.**

- Colocar sobre el centro de la caja petri una muestra de almidón no mayor a 1 g, asegurando que la capa quede completamente distribuida en el centro.
- Ajustar la altura de la lámpara a 10 cm desde la base de la caja petri.
- Llevar el dial del control variable a la posición de la potencia de 1,5 Amp o 60 V.
- Encender la lámpara y verificar que el haz de luz esté completamente sobre la muestra.
- Registra la disminución de peso hasta peso constante.

Figura 56. Lámpara infrarroja para pruebas rápidas de secado.



**Nota.** Cuando este procedimiento se utiliza para determinar el tiempo óptimo de mezclado del almidón y el catalizador, se debe verificar si luego del secado el almidón presenta carbonización local; si es así el tiempo de mezclado no es suficiente. Si la muestra no presenta partículas negras ni grises, el almidón está listo para el presecado y su posterior.

## **Anexo J. Determinación de la dureza de los pellets de dextrina.**

**Aparato.** Medidor de dureza para comprimidos marca KAHL, resorte de 2,5 mm.

### **Procedimiento.**

- Antes de comenzar el ensayo es necesario verificar con cuál de los resortes se realizará la determinación, para efectuar la lectura en la escala correspondiente. Así el resorte de 2,5 mm mide entre 0-25 Kg-f y el resorte de 3,5 mm mide entre 0-100 Kg-f.
- El aparato deberá tomarse tal como se muestra en la Figura 57 con la mano izquierda y aflojar la tuerca hasta que pueda desplazarse el pistón, que se encuentra debajo del cilindro, hacia arriba con el dedo índice de la mano derecha hasta que el indicador, sin que se presione el resorte, se encuentre sobre la masa de la escala graduada en 0.
- Seguidamente se coloca el pellet sobre la superficie del soporte y debajo del pistón, y se sujeta por medio de la tuerca de fijación hasta que el pellet no pueda desplazarse.
- Inmediatamente se comienza a apretar lentamente la tuerca de presión hasta que el pellet se deshaga. El indicador de lectura permitirá establecer en la escala graduada, según el resorte que se haya utilizado, cuál ha sido la presión efectuada en Kg-f.
- Para efectuar ensayos es necesario comprobar previamente la limpieza del aparato en especial que no existan cuerpos extraños entre el pistón y el cilindro lo cual daría lugar a lecturas incorrectas.
- Una vez terminados los ensayos es necesario aflojar la tuerca de presión hasta que el resorte quede completamente libre.

Figura 57. Medidor de dureza para comprimidos.



## **Anexo K. Pruebas para determinar la calidad de un adhesivo de dextrina.**

- **Viscosidad.** Es la medida de fricción interna de un fluido o su resistencia a fluir a una temperatura determinada. Esta prueba se lleva a cabo con un viscosímetro Brookfield y el resultado se expresa en centipoises (cP).
- **Porcentaje de sólidos.** Mide el contenido de sólidos que posee el adhesivo luego de su preparación. Se determina por lo general con un refractómetro.
- **pH.** Esta prueba mide la basicidad del adhesivo. Dado que aditivos como el bórax o el NaOH son bases, el adhesivo es de naturaleza básica. Se determina por medio de un pHmetro.
- **Color y Olor.** Esta prueba se determina por apreciación organoléptica de la persona encargada de realizar la evaluación.
- **Apariencia de la película.** Esta propiedad se determina por esparcimiento de una película delgada del adhesivo sobre una lámina de vidrio. Una vez esparcida la película, se deja secar y luego se levantar la película del vidrio, probando así la facilidad de la película para mantenerse firme o hacerse quebradiza. Además la prueba permite evaluar si la película es brillante, opaca o transparente.
- **Fuerza adhesiva.** Esta prueba determina la fuerza que tiene el adhesivo para unir los dos sustratos<sup>15</sup>. Esta prueba se determina por el área que logra desgarrar el papel en el momento de separar una junta de papel kraft en un tiempo determinado % de área rasgada. Adhesivos con buena fuerza adhesiva presentan un mejor rendimiento en procesos de pegado de alta velocidad.
- **Tiempo de secado.** Esta prueba mide el tiempo que demora el adhesivo en secar y por ende en unir los sustratos. También es llamado tiempo abierto. Se realiza por esparcimiento de una película del adhesivo sobre una lámina de vidrio y una vez esparcida se determina el tiempo en minutos en la cual la película seca completamente.
- **Tack.** Es la propiedad que tiene un adhesivo para mantenerse unido al sustrato inmediatamente después de la aplicación con una suave presión de contacto. éste es el llamado tack húmedo. Una prueba cualitativa utilizada para determinar la pegajosidad que tiene el adhesivo y su capacidad para formación de hilo, es aplicar una muestra del adhesivo entre los dedos pulgar e índice y se evalúa la capacidad de formar hilos y la resistencia que opone el adhesivo a la separación de los dedos. Cuando el adhesivo forma hilos tiene un buen tack.
- **Estabilidad.** Esta prueba determina la tendencia del adhesivo a cambiar de viscosidad luego de su almacenamiento. Puede evaluarse dejando en reposo el adhesivo a temperatura ambiente o en ambientes estresantes de calor o frío por tiempo de 24 horas y luego determinando su viscosidad y comparándola con la medida inicial luego de su preparación.

---

<sup>15</sup> Superficie sobre la cual se aplica el adhesivo.

