

VARIACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FERMENTACIÓN DE ALMIDÓN AGRIO Y DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL TORNILLO DE UN EXTRUSOR DE USO SENCILLO EN LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO

VARIATION OF BITTER STARCH FERMENTATION TIMES AND SPEED ROTATION OF THE SCREW OF SIMPLE USE EXTRUSOR IN THERMOPLASTIC STARCH OBTAINING.

MÓNICA LUCÍA BERNAL², SOFIA NATALIA DÍAZ¹, HAROLD ACOSTA², HÉCTOR SAMUEL VILLADA³, ANDRES TORRES⁴, AURA ELVIRA NARVÁEZ⁵, JUAN MANUEL ESCANDON⁵, BERNARDO OSPINA³

PALABRAS CLAVE:

Almidón termoplástico, extrusión, esfuerzo, elongación.

KEY WORDS:

Thermoplastic starch, extrusion, yield stress, elongation.

RESUMEN

Se extruyeron mezclas de almidón, un polialcohol y una base nitrogenada a temperatura constante y a tres velocidades de tornillo, para determinar el efecto del tiempo de fermentación de almidón agrio y de la velocidad del tornillo, en la manufactura de almidón agrio termoplástico de dos variedades de yuca. Algunas propiedades físico-químicas y mecánicas de los extruidos fueron evaluadas. Los mayores esfuerzos fueron observados a tiempos de fermentación de 5 y 15 días (2.68 y 2.67 MPa respectivamente). La influencia de la velocidad del tornillo en el esfuerzo y en la elongación fue significativa; a la más baja velocidad de tornillo (130 rpm), se obtuvieron valores menores de esfuerzo y de porcentajes de elongación, 2.37 MPa y 19.73% respectivamente. A 135 rpm, se obtuvieron esfuerzos y porcentajes de elongación mayores (2.63 MPa y 22.03%, respectivamente). Estos resultados establecen las bases para determinar las condiciones de procesamiento para la manufactura de almidón termoplástico de almidón agrio, materia prima de empaques biodegradables.

ABSTRACT

Mixtures of starch, a polialcohol and a nitrogen source were extruded at constant temperature and three screw speeds, to determine the effect of

Recibido para evaluación: Diciembre 9 de 2004. Aprobado para publicación: Febrero 8 de 2005.

1 Escuela de Ingeniería Química.

2 Profesor Depto. Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali.

3 Estudiante de doctorado en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle y Profesor de la Universidad del Cauca, Popayán.

4 Profesor de la Universidad del Cauca, Popayán.

5 Directora e Instructor CDT ASTIN-SENA, Cali.

6 Director Ejecutivo Clayuca-CIAT, Cali.

Correspondencia: Harold Acosta. e_mail: hacostaz@yahoo.com

starch fermentation times and screw speed onto two cassava varieties used to manufacture sour cassava thermoplastic starch. Some physico-chemical and mechanical properties were evaluated. Larger stress was obtained for 5 and 15 days of fermentation (2.68 and 2.67 Mpa, respectively). Influence of screw speed on stress and elongation was significant; at lower screw speeds (130 rpm), lower stress and elongation values were obtained, 2.37 MPa and 19.73%, respectively. At 135 rpm, stress and elongation values were higher (2.63 MPa and 22.03% respectively). These results set up the basis to determine processing conditions to manufacture sour cassava starch thermoplastics, an intended raw material for biodegradable packaging.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha crecido la necesidad de encontrar alternativas para los productos derivados del petróleo debido a consideraciones ambientales. Una de estas, es la utilización del almidón por ser un material renovable, biodegradable, de bajo costo y de un potencial alto en aplicaciones alimenticias y no alimenticias. (1-4)

La tecnología de extrusión es ideal para producir precursores de empaques biodegradables por desarrollar varias operaciones unitarias en una pasada, por ejemplo, destrucción de microorganismos, desnaturalización de proteínas y/o enzimas, gelatinización de almidón, polimerización o gelatinización de almidón, polimerización o depolimerización de proteínas y por último, texturización y conformación del producto final en una forma deseable.

Gracias al control de las variables importantes del proceso (velocidad y tipo de tornillo, perfil de temperatura, humedad, velocidad de alimentación y forma o tamaño del dado), es posible una amplia gama de tratamientos termomecánicos, como es la producción de almidones termoplásticos. (1)

El almidón termoplástico (TPS) es un producto que puede ser utilizado en lugar de los termoplásticos sintéticos, que son difíciles de recoger y reciclar. (4) El TPS es ambientalmente amigable, ya que se compone de materia prima que se regenera y que al quemarse o degradarse tiene un ciclo cerrado que produce dióxido de carbono y agua. Además, en este tipo de productos se utilizan aditivos naturales o sintéticos no-tóxicos de acuerdo con las normas de la FDA (Food and Drug Administration). (5)

Este trabajo forma parte de un esfuerzo investigativo conjunto entre la Universidad del Valle, Centro ASTIN del Sena y Clayuca-CIAT. El esfuerzo se centra en el estudio de la modificación bioquímica y físico-química

de almidones de yuca, que luego son extruidos para producir almidones termoplásticos, precursores de bioempaques.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se usaron almidones de yuca de las variedades MBra 383 e ICA Catumare 1578-3, los cuales fueron fermentados a tiempos de 0 a 30 días. La fermentación se hizo en la rallandería Yarumal, corregimiento de La Agustina, Cauca y se tomaron muestras cada 5 días incluyendo el día cero.

Se hicieron mezclas de proporciones definidas de estos almidones con un polialcohol y una base nitrogenada, las cuales fueron luego extruidas.

Análisis Proximal

Se caracterizó el almidón por análisis proximal, determinando humedad (norma GTC 1), cenizas (norma ISO 2171), proteína (norma ISO 1871), extracto etéreo y fibra cruda (NTC 668).

Extrusión

Se utilizó un extrusor de husillo simple (tipo torpedo, cónico, sin segmentación, longitud 81 cm, diámetro 1.5 cm, boquilla 8 mm de diámetro y de sección de reposo interna de la boquilla de 1.5 cm; entrada cónica a la boquilla; longitud del barril de 83 cm). La variable de operación estudiada fue velocidad de tornillo (a tres valores), el perfil de temperatura promedio fue constante a 130°C.

Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas se evaluaron en una máquina Universal de ensayos, Instron (GoodBrand, USA), según la norma técnica ASTM método D638M. Las

muestras se cortaron con bisturí y se equilibraron durante tres días en una cámara ambiental hasta alcanzar una humedad relativa constante de 68% a una temperatura de 23°C. Se evaluaron los resultados de esfuerzo y la elongación máxima, utilizando un programa de recorrido de 150 mm, una velocidad en el cabezal de 40 mm/min, una celda de carga de 2000 Kg y una rata de recolección de datos de 20 puntos/seg). La unidad experimental fue de tres cintas de TPS extruido de 170 mm para cada uno de los tratamientos.

Análisis de Datos

Se usó un diseño experimental factorial de parcelas con doble subdivisión completamente aleatorizado con tres factores. La velocidad de tornillo se varió a tres niveles, 130, 135 y 140 rpm; dos niveles de variedad de yuca, MBra 383 e ICA Catumare 1578-3 y el tiempo de fermentación a siete niveles, 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días, para un total de 42 muestras, con 3 réplicas. Todas las pruebas se probaron a un nivel de confianza del 95%. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS usando el procedimiento general de modelos lineales, utilizando una prueba de comparación múltiple LSD protegida de Fisher para determinar la diferencia de las medias.

Microscopía Óptica

El almidón y las mezclas fueron observadas con un microscopio óptico (de Alta Resolución; NIKON MICRAPHOT adaptado a un software Leica Qwin). Las muestras fueron analizadas siempre a 20x. El almidón se colocó directamente en un portaobjetos utilizando dos técnicas, Campo Claro y Contraste Diferencial de Interferencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Proximal

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis proximal para almidones de las dos variedades de yuca analizadas. Se observa que el contenido de humedad oscila en un rango entre $11 \pm 2\%$ para las dos variedades, lo cual concuerda con el reporte en la literatura para almidón de yuca, entre 11-13% [5] El tiempo de fermentación aparentemente no influye este parámetro.

El contenido de ceniza se encontró en el rango $0.15 \pm 0.1\%$. Los valores reportados varían entre $0.22 \pm 0.04\%$ para almidón nativo y $0.19 \pm 0.04\%$ para almidón fermentado (6). Las cenizas se atribuyen al contenido natural de minerales y a la posible presencia de materiales extraños debida a los tanques de fermentación y al proceso de secado.

Los microorganismos presentes en el almidón producen residuos metabólicos, que aumentan el contenido de proteína en el material fermentado. (4) Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos.

Efecto de las variables en las propiedades de mecánicas del extruido

En la Tabla 2 se reportan los valores medios obtenidos para cada una de las variables analizadas; lo mismo que resultados de las pruebas Anova y Post Anova.

Esfuerzo

En la Tabla 2 se observa que a velocidades de tornillo de

Tabla 1. Análisis Proximal para almidón de yuca de dos variedades

Variedad	t fermentación (días)	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Proteína (%)
MBra -383	0	11.7	0.04	0.4	0.15	N.D.
	10	11.5	0.04	0.2	0.15	N.D.
	20	11.6	0.06	0.2	0.17	N.D.
	30	12.3	0.08	0.4	0.13	0.7
ICA Catumare 1578-3	0	11.9	0.04	0.04	0.14	N.D.
	10	12.4	0.06	0.02	0.14	0.7
	20	11.8	0.10	0.4	0.16	2.0
	30	9.8	0.26	1.0	0.17	1.6

Nota: N.D.: No Detectable por el método empleado.

135 y 140 rpm, el efecto que ejerce esta variable sobre el esfuerzo es estadísticamente igual.

Los valores de esfuerzo para 130 y 140 rpm son 2.37 y 2.57 MPa respectivamente, lo cual se refuerza en la prueba Post Anova. De aquí se observa, que para una velocidad de tornillo baja el esfuerzo es menor y que este tiende a aumentar a medida que la velocidad de cizalla aumenta. Esto se explica ya que durante el proceso de extrusión se aplica energía térmica y mecánica al almidón dando como resultado la fragmentación de los gránulos, una ruptura de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas, que conlleva a la pérdida de la semi-cristalinidad y una depolimerización parcial del almidón. (7) Por lo tanto, al ejercer un mayor esfuerzo cortante sobre la mezcla a extruir, bajo las mismas condiciones de perfil de temperatura, hay una mayor ruptura de los enlaces de amilosa y amilopectina permitiendo así una mayor fusión con el plastificante y la base nitrogenada.

Para el factor Variedad de yuca, se observa una diferencia significativa entre los efectos medios que ejerce la variedad sobre la variable esfuerzo. La variedad MBra-383 mostró un mayor valor de esfuerzo a 15 días de fermentación (2.67 MPa).

Se obtuvieron tres grupos para el factor tiempo de fermentación. El grupo A está compuesto por almidones agrios de 5, 10 y 15 días, con mayores valores de esfuerzo; el grupo B corresponde a 0 y 20 días y al grupo C pertenecen los de 25 y 30 días que presentan los menores valores para el esfuerzo. Estos valores medios de esfuerzo muestran una tendencia a disminuir a medida que aumenta el tiempo de fermentación. Sin em-

bargo, el almidón nativo (0 días) muestra un valor de esfuerzo, que se encuentra a un nivel medio. Esto se puede deber a que los gránulos de almidón no han sido degradados, por lo cual conserva su estructura semicristalina y al someterlo a extrusión, el esfuerzo cortante no alcanza una buena disrupción de los enlaces de amilosa y amilopectina, provocando que la fusión con el plastificante y la base nitrogenada sea menor que para un almidón fermentado. Así se confiere fragilidad al almidón termoplástico, dando un menor esfuerzo.

Para el caso del almidón fermentado hay una degradación que aumenta con el tiempo, facilitando la fusión entre los componentes de la mezcla en extrusión propiciada por la velocidad de tornillo y la temperatura. El termoplástico producido con almidones de 25 y 30 días de fermentación, presenta los menores valores para el esfuerzo, debido a que presenta mayor degradación en

Elongación

En la Tabla 2, se observa que las variables velocidad de tornillo y variedad de yuca tienen un efecto significativo sobre la elongación. Estudios han demostrado que la pérdida de semi-cristalinidad de los gránulos de almidón es causada por los intensos esfuerzos cortantes a los cuales son sometidos durante el proceso de extrusión. Las condiciones de operación del extrusor tales como el perfil de temperatura, la velocidad del tornillo y la geometría del dado tienen efectos significativos en las disrupciones mecánicas y en las transformaciones físicas y químicas del almidón. (5)

En Tabla 2, se observa que velocidades de tornillo de 135 y 140 rpm ejercen el mismo efecto sobre la varia-

TABLA 2. Comportamiento del esfuerzo cortante y de la elongación de almidones termoplásticos derivados de almidones agrios fermentados

Variables	Velocidad (rpm)			Variedad		Tiempo de fermentación (días)						
	130	135	140	MBra	ICA	0	5	10	15	20	25	30
Esfuerzo (MPa)	2.37 ^b	2.63 ^a	2.57 ^a	2.67 ^a	2.36 ^b	2.54 ^b	2.68 ^a	2.59 ^a	2.67 ^a	2.52 ^b	2.40 ^c	2.30 ^c
Elongación (%)	19.73 ^b	22.03 ^a	21.44 ^a	18.56 ^b	23.55 ^a	21.00 ^N	22.79 ^N	20.96 ^N	22.05 ^N	20.04 ^N	20.64 ^N	20.01 ^N

Valores con la misma letra corresponden a un mismo grupo observado con la prueba Post Anova de separación de medias LSD. a: Significativo con $P < 0.05$ grupo A. b: significativo con $P < 0.05$ grupo B. c: Significativo con $P < 0.05$ grupo C. N: No significativo con $P < 0.05$. Variedades de yuca: MBra-383 e ICA Catumare 1578-3. Almidones fermentados por el método tradicional.

ble, por el contrario, a una velocidad de 130 rpm, el porcentaje de elongación disminuye debido a que los esfuerzos cortantes a los cuales se somete la mezcla son más bajos.

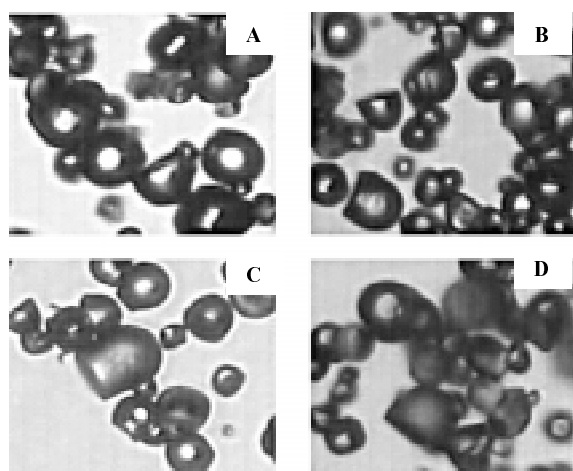
Para el factor Variedad, el valor medio de la elongación correspondiente a ICA Catumare es mayor que el valor obtenido para la variedad MBra 383.

Microscopía óptica

La Figura 1 muestra el cambio en la estructura del gránulo de almidón al aumentar el tiempo de fermentación. El almidón nativo presenta gránulos de forma esférica que se van degradando, lo cual se aprecia en las formas alargadas, poligonales y en la fragmentación observada. Sin embargo, el proceso de degradación no es homogéneo ya que se observan gránulos que han conservado su esfericidad a lo largo de la fermentación. Esto se debería a un declive en la actividad de síntesis de amilasa de los microorganismos durante la fermentación y a una decreciente actividad enzimática a medida que avanza el tiempo.

En la Figura 2 se observa la modificación de la estructura del almidón agrio termoplástico, a medida que aumenta el tiempo de fermentación del almidón nativo original. Inicialmente hay presencia de un mayor número de gránulos que va disminuyendo con el tiempo, lo que

FIGURA 1. Microfotografías ópticas de campo claro de alta resolución de Almidón ICA Catumare fermentado a diferentes tiempos, 20X. A) 0 días, B) 10 días, C) 20 días, D) 30 días.



se puede ver como zonas uniformes de apariencia lisa. Como se observó en la microscopía para el almidón, a medida que el tiempo de fermentación aumenta, el tamaño del gránulo disminuye y hay mayor uniformidad en la muestra. Además, se forman 'fantasmas' durante la gelatinización del almidón debido a las fuerzas de cizallamiento producidas en el extrusor. Por esto, la capacidad de contacto íntimo con los demás componentes de la mezcla es mayor, presentando zonas más uniformes.

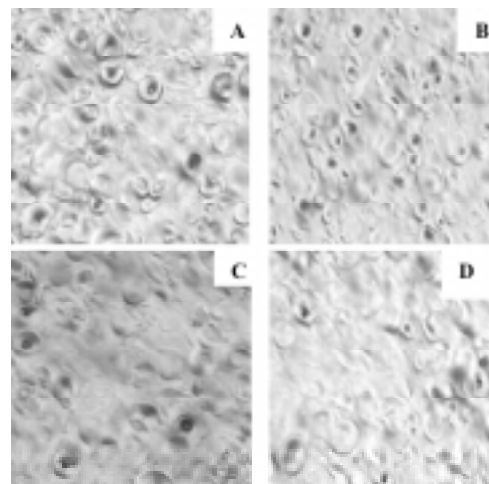
AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los muchos colaboradores de la Planta y del personal administrativo del Centro Astin del SENA, Cali; a los de la Planta Piloto de Clayuca y a Teresa Sánchez de Agroempresas del CIAT, Palmira y a los de la Rallandería Yarumal en La Agustina, Cauca.

CONCLUSIONES

Los factores velocidad de tornillo, tiempo de fermentación y variedad de yuca, ejercieron efectos significativos sobre las variables mecánicas de esfuerzo y elongación de los almidones agrios termoplásticos producidos por extrusión simple.

FIGURA 2. Microfotografías ópticas de Contraste Diferencial de Interferencias de alta resolución de almidón agrio termoplástico ICA Catumare, 140 rpm 20X, corte de 5 micras. A) 0 días, B) 10 días, C) 20 días, D) 30 días.



Las mejores condiciones para obtener los mayores valores de esfuerzo fueron velocidad de tornillo de 135 rpm, tiempo de fermentación entre 5 y 15 días para la variedad de yuca MBra-383.

REFERENCIAS

- (1) COLONNA P., TAYEB J. and MERCIER C. 1989. Extrusion-Cooking of Starch and Starchy Products. In Extrusion-Cooking. C. MERCIER, P. LINKO, J.M. HARPER, Eds. AACC, St. Paul. pp 247-320.
- (2) LÖRKS J. 1998. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. *Polym. Deg. Stab.* 59:245-249.
- (3) TOMKA I. 1991. Thermoplastic starch. *Adv. Exp. Med. Biol.* 302:627-637.
- (4) FUNKE U., BERGTHALLER W. and LINDHAUER M.G. 1998. Processing and characterization of biodegradable products based on starch. *Polym. Deg. Stab.* 59:293-296.
- (5) WIEDMANN, W. and STROBEL, E. 1991. Compounding of thermoplastic starch with twin-screw extruders. *Starch/Starke.* 43:138-145.
- (6) www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0531102-082602-03INTRODUCCION.pdf
- (7) FANG, J. and FOWLER, P. 2003. The use of starch and its derivatives as biopolymer source of packing materials. *Food, Agriculture & Environment.* Vol 1 (3&4):82-84.