

MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN DE SAGÚ (*MARANTA ARUNDINACEA L.*) POR VÍA QUÍMICA, FÍSICA Y ENZIMÁTICA.

Iván González Góngora*, Dasiel Hernández Muñoz

Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, Calle 222 No. 2317 entre 23 y 31, La Coronela, La Lisa, La Habana, CUBA. CP 13600.

*e-mail: ivangg@ifal.uh.cu

Resumen

La planta de sagú (*Maranta arundinacea L.*) es una promisoriosa fuente de almidón para procesos agroindustriales. Se ha demostrado que los almidones naturales no cubren la gama de propiedades físico- químicas requeridas por las industrias procesadoras de alimentos ya que la estructura nativa puede ser menos eficiente debido a que las condiciones del proceso (temperatura, pH y presión) reducen su uso en otras aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, baja descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Bello-Pérez *et al.* 2002). Por esta razón se llevó a cabo la modificación del almidón de sagú por vía química, física y enzimática empleando técnicas de modificación tales como: esterificación, oxidación, hidrólisis enzimática y despolimerización parcial con solución hidroalcohólica. Una vez obtenidos los almidones modificados se procedió a su caracterización química y funcional determinándose su capacidad de retención de agua, claridad de las pastas, estabilidad durante los ciclos de congelación/deshielo, retrogradación, punto de gelatinización, comparándolos con el patrón nativo. Se obtuvieron bajos niveles de grasa, proteínas, fibras, humedad y una relación amilosa/amilopectina 27,7 /73,3%. El almidón nativo mostró una mayor claridad de las pastas durante la refrigeración y un mayor índice de retrogradación. El almidón modificado mostró mejoras con respecto a la estabilidad de los ciclos congelamiento/deshielo, su capacidad para retener el agua y un aumento en su temperatura de gelatinización, siendo el almidón granular soluble en agua fría el de mejores resultados. La introducción de modificaciones en los almidones nativos de sagú provocaron mejoras en las propiedades funcionales de los mismos.

Palabras clave: Sagú, almidón modificado, propiedades funcionales

MODIFICATION OF SAGO STARCH (*MARANTA ARUNDINACEA L.*) BY CHEMICAL, PHYSICAL AND ENZYMIC PATHWAY.

Abstract

Sago plant (*Maranta arundinacea L.*) is a promising source of starch for agro-industrial processes. It has shown that natural starches not cover the range of physicochemical properties required for the food processing industries since native structure may be less efficient because the process conditions (temperature, pH and pressure) reduce use in other industrial applications, due to the low shear strength, low thermal decomposition, high retrogradation and syneresis (Bello-Perez *et al.* 2002). For this reason it carried out the modification of sago starch by chemical, physical and enzymatic methods using modification techniques such as esterification, oxidation, enzymatic hydrolysis and partial depolymerisation with hydroalcoholic solution. After obtaining the modified starches proceeded to its chemical and functional characterization determining its ability to retain water, clarity, stability during the freeze / thaw, retrogradation, gel point compared to the native pattern. Low levels of fat, protein, fiber, moisture and amylose / amylopectin 27.7 / 73.3% relationship were obtained. The native starch showed clarity of pasta during cooling and a higher rate of retrogradation. Modified starch showed improvement over the stability of cycles freeze / thaw, its ability to hold water and an increase in the gelatinization temperature, the granular starch soluble in cold water showed the better results. Changes in native sago starches cause improvements in the functional properties of the same.

Keywords: Sago, modified starch, functional properties

Introducción

En su forma nativa el almidón es un material semicristalino sintetizado como gránulos casi esféricos en muchos tejidos vegetales, incluyendo tubérculos, bulbos, rizomas, frutos y semillas. Comercialmente es extraído en forma pura de una variedad de fuentes como el maíz, trigo, arroz, papa, yuca (Tester, 2004; Roy, 2000; Buléon *et al.*, 1998). La mayor diferencia entre almidones está asociada con la composición misma del gránulo, en función de la amilosa y la amylopectina (Rooney *et al.*, 2001).

El almidón tiene amplios usos, más que cualquier otro producto obtenido de fuentes vegetales. En la industria alimentaria se usa principalmente como agente espesante, relleno, aglutinante, estabilizador, sin descuidar que algunas propiedades funcionales de los mismos se ven afectadas bajo determinadas condiciones (Ferris *et al.*, 2001).

Es apreciable que existe un contraste entre las amplias utilidades y los defectos que presentan los almidones nativos, por ello se ha demostrado que los almidones naturales no cubren la gama de propiedades físico- químicas requeridas por las industrias ya que la estructura nativa del almidón puede ser menos eficiente debido a que las condiciones del proceso (por ejemplo: temperatura, pH y presión) reducen su uso en otras aplicaciones industriales, debido a la baja resistencia a esfuerzos de corte, baja descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Bello-Pérez *et al.* 2002). Por las razones antes mencionadas es necesario conocer las propiedades funcionales de los almidones nativos y someterlos a procesos de modificación, por vía física, química o enzimática, obteniendo almidones característicos para usos específicos (Alfa-Laval, 1996). Aunque se debe precisar que algunas características de los almidones nativos son conservadas durante los tratamientos de modificación (Swinkels, 1996).

En la actualidad, muchos investigadores dedican sus esfuerzos a descubrir nuevas fuentes de almidón que presenten propiedades diferentes a las ya posicionadas en el mercado. Entre las numerosas razones que existen se le da prioridad al acentuado crecimiento del consumo de alimentos preparados, que son estabilizados con almidón.

La planta de sagú (*Maranta arundinacea L.*) propiamente en sus rizomas, (tallos subterráneos), es sin dudas una promisoriosa fuente de almidón para procesos agroindustriales. Por su fácil digestión, el almidón de sagú constituye un alimento nutritivo para el paciente hospitalario, niños de corta edad y ancianos. Es utilizado en la preparación de platos y dulces caseros, como chocolates y otros dulces finos, con fines de producción e industrialización. En Cuba existe una escasa utilización industrial de esta fuente no tradicional de almidón sin embargo por las condiciones climáticas se puede obtener este cultivo con rendimientos considerables y es importante tenerlo en cuenta con amplias perspectivas para la mejora de productos elaborados industrialmente.

No se tienen referencias de una investigación en el tema de la modificación de almidón de una fuente no tradicional, como los rizomas de sagú, de amplio aporte energético (León, 1987). Debido al amplio potencial de las plantas amiláceas, como un recurso no convencional, competitivo y sostenible, es necesario identificar cuáles de ellas alcanzan rendimientos aceptables de esta materia prima para las industrias procesadoras de almidón y que propiedades físico químicas presentan los mismos antes y después de modificados (Bohrer *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta las razones antes expuestas se trazó como objetivo general: Caracterizar el almidón modificado de sagú (*Maranta arundinacea L.*) obtenido por vía química, física y enzimática.

Materiales y Métodos

Selección de las muestras

Los rizomas de sagú fueron obtenidos de la finca El Paraíso, Cabaiguán, Sancti – Spíritus. La fecha de siembra fue en marzo y la recolección fue en el mes de diciembre de 2013. Se trabajó con una muestra de 25 kg de rizomas limpios y sanos que fueron almacenados a temperatura ambiente en local ventilado para la realización de los análisis posteriores.

Extracción del almidón

Los rizomas de sagú fueron cortados en cubos (2 cm x 2 cm x 2 cm). Posteriormente, los cubos se mezclaron con agua destilada a una temperatura de 35°C en una proporción de 1:2 (p/v) y se molieron en una licuadora (MAN) durante 10 min. El homogeneizado se filtró a través de un tamiz malla de 100 *mesh* (150µm) hasta que el agua de lavado se observó completamente limpia. El residuo resultante fue sometido al mismo procedimiento dos veces. Las lechadas de almidón obtenidas se dejaron reposar a 15°C durante 8 horas. Después de este tiempo, se eliminó el sobrenadante y el sedimento obtenido se colocó en recipientes de vidrio y se sometió a un proceso de secado a 45°C durante 24 horas. El almidón seco fue triturado y posteriormente tamizado en una malla # 100. Posteriormente fueron envasados en frascos de vidrios ámbar y almacenados a temperatura ambiente para los posteriores estudios (Ganga, 1999; Bello-Pérez, 2002).

Caracterización del almidón nativo

Las muestras de almidón de sagú se pulverizaron y se le realizaron las siguientes determinaciones por triplicado: apariencia microscópica (Moorthy, 2002); humedad (NC-ISO 712:2003); cenizas (NC-ISO 2171:2001); amilosa (Juliano, 1972); proteínas (NC 86-05:1984)

Esterificación del almidón nativo

El método se basó en la esterificación del almidón nativo utilizando anhídrido acético. Se añadió lentamente el agente de esterificación a la solución de almidón previamente preparada, dejándose reaccionar durante 60 minutos alcanzando pH final de 6 medido con un potenciómetro (CRISON-Basiczo) con el objetivo de formar los ésteres (Martínez , 2009).

Oxidación del almidón nativo

El método se basó en la oxidación del almidón a temperatura y pH controlados. Se empleó NaOCl como agente oxidante (Wang, 2003).

Almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF)

Para ello se suspendieron 100 g de almidón de sagú nativo en una solución de 3L de etanol-agua al 40% (v/v). A esta mezcla se le adicionó 40 ml de NaOH 3M bajo agitación lenta. Después de 10

minutos la mezcla se dejó a temperatura ambiente hasta que los gránulos de almidón comenzaran a sedimentar. Posteriormente, el almidón se resuspendió en 3L de una solución acuosa de etanol al 40% (v/v) y se neutralizó con HCl 3M. Los gránulos se deshidrataron en estufa con circulación de aire forzado a 80°C por 3 horas (Chen, 1994).

Hidrólisis enzimática del almidón nativo

Se utilizó un baño termostático (SCIENTZ - SC-15) con control de temperatura, se fijaron tres factores: temperatura (50°C), concentración 40% p/v y tiempo de reacción (20 minutos), las soluciones se incubaron con 150 µL de disolución de α-amilasa manteniendo el pH con la adición de buffer fosfato. Las muestras se secaron a 60°C y se almacenaron (Morales, 2003).

Estabilidad al descongelamiento

Se basó en los cambios que ocurren en la pasta de almidón con los sucesivos ciclos de congelación / descongelación y la respectiva pérdida de agua. Se prepararon soluciones de almidón al 2%, se gelatinizaron durante 10 min en baño a ebullición, se congelaron a -20°C por 24 horas y posteriormente se descongelaron en baño a 30°C durante 1,5 horas, después se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min. Se determinó el porcentaje de agua separada del gel en cada ciclo. Se realizaron 3 ciclos de congelación / descongelación (Morales, 2003).

Capacidad de retención de agua (CRA)

Suspensiones de almidón al 20 % se calentaron a 70, 80, 90°C por 30 minutos. Luego se centrifugaron a 5000 r.p.m durante 10 min. Se calculó el % de agua retenida como gramos de agua / gramos de almidón (Morales, 2003).

$CRA = \frac{\text{Peso de gel (g)} - \text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$

Claridad de las pastas

Se medirá claridad de las pastas de almidón a 4°C. Para ello se suspendieron 0.4 g de una muestra de almidón en 10 mL de agua destilada utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales se colocaron en baño de agua a ebullición por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min. Luego de enfriar a 4°C en un refrigerador (SANUSSI), se determinó la absorbancia de las muestras a 650 nm en un Biofotómetro Eppendorf utilizando agua como testigo. A las muestras se les midió la absorbancia a las 24, 48 y 72 horas posteriormente con el dato de la absorbancia se realizó el cálculo del porcentaje de transmitancia para ser reportado (Bello-Pérez, 2002).

Retrogradación

Se prepararon dispersiones de almidón 2% m/m y se colocaron en un baño de María a 85°C por 30 minutos. Seguidamente las muestras se colocaron en recipientes con hielo para su rápido

enfriamiento. Posteriormente las muestras fueron almacenadas a 4 °C durante 24, 48, 72 horas. Se calculó la tasa de retrogradación (Ishiguro, 2003).

Retrogradación= (Peso de agua de sinéresis (g) / Peso del gel (g)) x 100

Determinación del punto de gelatinización

Se prepararon 100 ml de suspensión a partir de 10g de muestra en base seca, la cual fue calentada en un agitador calentador magnético (OVAN- Micromagmix) y se introdujo un termómetro (NAMAS) en la suspensión. El calentamiento fue continuo hasta que la solución comenzó a formar gel, y esta temperatura fue tomada (Narayana, 1982).

Procesamiento de resultados

Con los resultados de las variables cuantitativas determinadas se llevó a cabo una base de datos en el programa de cómputo Estadística versión 6 del 2001. Para el procesamiento de los resultados se calcularon las medias y desviaciones estándar. Para la comparación entre muestras se realizaron análisis de varianza de clasificación simple. En los casos que se encontró diferencias significativas se llevaron cabo la prueba de rangos múltiples de Duncan. En todos los casos se empleó una probabilidad de error o nivel de significación ($p \leq 0,05$) (López, 1994).

Resultados

En la tabla 1 se muestran los resultados de la composición química del almidón de sagú evidenciándose que la amilosa y amilopectina son los componentes mayoritarios, con bajos contenidos de humedad que permite una adecuada conservación del producto obtenido. El nivel de impurezas como proteínas, cenizas, grasa y fibra es bajo, lo cual es importante considerar al momento de evaluar las propiedades funcionales de los almidones, ya que éstas pueden verse afectadas por ciertas impurezas presentes.

Tabla 1. Composición química del almidón de sagú (%).

	Humedad	Proteína	Cenizas	Grasa	Fibra	Amilosa*	Amilopectina*
Sagú	9,5	0,34	0,22	0,26	0,8	22,7	77,3
	(0,03)	(0,05)	(0,02)	(0,07)	(0,09)	(0,67)	(0,67)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

* Referido al almidón purificado

Los datos experimentales muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) durante los ciclos de congelación/deshielo entre el almidón nativo y los modificados (tabla 2), observándose en estos últimos valores de sinéresis menores y por tanto una mayor estabilidad de sus pastas a los ciclos antes mencionados, siendo aptos para mantener las características sensoriales (textura, consistencia, apariencia y forma) de los productos congelados debido a que estos polímeros presentan un menor grado de sinéresis y una vez descongelados estos productos no perderán calidad a la hora de ser consumidos.

Tabla 2. Estabilidad al descongelamiento de dispersiones de almidón nativo y modificado (%).

	Nativo	Esterificado	Enzimático	Oxidado	AGSAF
Ciclo 1	75 a (3,02)	0 b	16 c (3,11)	16 c (1,04)	0 b
Ciclo 2	7,5 a (2,04)	8 a (2,09)	5,4 b (1,19)	6,6 b (0,31)	0 c
Ciclo 3	1,1 a (0,02)	2,1 b (0,01)	1,08 a (0,03)	1,3 a (0,07)	1,5 a (0,02)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$

Todos los almidones mostraron un aumento de la CRA a medida que fue aumentando la temperatura en el intervalo estudiado (tabla 3). Los almidones modificados retienen más agua que el almidón nativo con el aumento de la temperatura, siendo la CRA de los AGSAF la más significativa ($p \leq 0,05$) con respecto al almidón nativo y al resto de las modificaciones, ya que este a 70°C es capaz de absorber 7,86 veces más agua con base a su peso inicial, valor superior a los presentados por el almidón nativo y al resto de las modificaciones incluso a temperatura de 80°C y 90°C.

Tabla 3. Capacidad de retención de agua (% de agua retenida en el gel)

	Nativo	Esterificado	Enzimático	Oxidado	AGSAF
70 °C	1.88 a(0,09)	2,13 b (0,41)	2,78 c (0,08)	1,70 a (0,06)	7,86 d (0,19)
80 °C	1,92 a (0,17)	2,97 b (0,39)	3,05 c (0,91)	1,95 a (0,32)	8,40 d (0,21)
90 °C	2,79 a (0,17)	3,03 b (0,11)	3,35 c (0,43)	2,89 a (0,18)	8,81 d (0,65)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$

Las dispersiones de almidón en reposo disminuyen sus valores de claridad durante el almacenamiento (tabla 4). Dicho fenómeno se debe a que las cadenas del almidón gelatinizado se asocian entre si y tienden a formar una estructura más ordenada, lo cual causa la turbidez y reduce la transmitancia de la luz a través de la dispersión de almidón (Lovedeep *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los valores reportados en la literatura para almidones de otras fuentes (Araújo *et al.*, 2004). El ligero aumento se debe a que el contenido de amilosa en las muestras estudiadas es alto y es esta molécula quien determina el fenómeno de retrogradación estrechamente relacionado con la claridad de las pastas de manera inversa.

Tabla 4. Claridad de los geles refrigerados a 4 °C (% de transmitancia).

	Nativo	Esterificado	Enzimático	Oxidado	AGSAF
24 h	18,5 a (1,02)	0,47 b (0,09)	0,18 b (0,06)	0,30 b (0,01)	53 c (2,18)
48 h	7,1 a (1,33)	0,32 b (0,05)	0,10 b (0,02)	0,15 b (0,07)	19,2 c (1,23)
72 h	3,9 a (0,61)	0,09 b (0,44)	0,04 b (0,01)	0,10 b (0,01)	1,11 c (0,21)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$

Los resultados indican que los almidones modificados tienen una menor tendencia a la retrogradación con respecto al almidón nativo (tabla 5), mostrando al almidón esterificado y a los AGSAF como los de menor capacidad para insolubilizar y precipitar de forma espontánea las moléculas de amilosa, principal factor en la retrogradación.

Las modificaciones enzimáticas y de almidón oxidado en principio tienen menor tendencia a la retrogradación con respecto al almidón nativo pero al transcurrir el almacenamiento sus porcentajes de retrogradación aumentan ya que estas modificaciones tienen despolimerización del almidón y un grupo que potencia la insolubilidad de la amilosa en el gel de almidón respectivamente.

Tabla 5. Retrogradación de los almidones (%)

	Nativo	Esterificado	Enzimático	Oxidado	AGSAF
24 h	69,3 a (2,34)	32,1 b (1,55)	50,9 c (0,78)	57,0 d (0,67)	0 e
48 h	70,3 a (3,63)	38,1 b (1,89)	64,9 c (1,42)	62,8 c (2,33)	0 d
72 h	71,1 a (2,01)	38,9 b (0,05)	65,2 c (2,91)	66,2 c (1,78)	2,2 d (0,29)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$

La tabla 6 muestra que los almidones modificados tienen un mayor punto de gelatinización que el almidón nativo lo cual refleja una mayor estabilidad interna del gránulo de almidón, ya que el gránulo de almidón nativo absorbe rápidamente agua debido al debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas (amilosa/amilopectina), por lo requiere menos temperatura de calentamiento.

Tabla 6. Punto de inicio de la gelatinización

	Nativo	Esterificado	Enzimático	Oxidado	AGSAF
T °C	71,9 a (1,17)	79,2 b (0,90)	78,6 b (1,06)	75,0 c (1,22)	80, 3 d (1,34)

Los resultados están expresados como la media de tres determinaciones

Valores entre paréntesis indican desviación estándar

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$

Discusión

El contenido de amilosa/amilopectina es el factor más influyente en las propiedades funcionales del almidón nativo y la proporción variable en que se encuentran explican muchas de sus propiedades físicas y químicas. Esta variedad de sagú muestra según la literatura una mayor proporción de amilopectina que una gran parte de tubérculos y raíces lo que se comprueba con los datos mostrados en la tabla 2.

Durante los ciclos de congelación/deshielo se manifiesta en los almidones nativos el fenómeno de sinéresis (liberación de líquido) ocasionado por un reagrupamiento interno de moléculas de amilosa y amilopectina. Esto origina una interacción más estrecha entre ellas por enlaces de hidrógeno, al unirse dichas moléculas liberan el agua, presentando un aspecto similar al de una esponja capaz de absorber y liberar agua, teniendo una fuerte sinéresis (Eliasson, 1992). El almidón nativo presenta una estabilidad similar a la reportada en la literatura y su ligero aumento en el porcentaje de agua liberada puede estar dado a que la especie (*Maranta arundinacea L.*) presenta mayor contenido de amilosa que otras especies de su mismo género como la *Maranta leuconeura L.* (Hurtado, 2002).

En el caso del almidón nativo una vez gelificado las moléculas de agua presentan interacciones por puentes de hidrógeno con solutos apolares (amilosa y amilopectina) las cuales son considerablemente más débiles que las presentadas por el almidón esterificado y oxidado ya que hay fuertes interacciones existentes entre el agua y los grupos incorporados lo que permitirá que la molécula ligue más fuertemente el agua, esto unido a un aumento del impedimento estérico, tendrá como efecto la no restructuración de las moléculas de amilosa y amilopectina evitando el efecto de sinéresis en este tipo de modificación.

La literatura demuestra que a temperaturas cercanas a 70°C estos almidones se hidratan rápidamente como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno de las regiones amorfas a lo que sigue una irreversible y progresiva absorción de agua. (Torres *et al.*, 2008). En el almidón de sagú predominan enlaces más fuertes con respecto a otros tubérculos y raíces como la papa y la yuca respectivamente, por tanto necesita altas temperaturas para su ruptura.

Los gránulos de almidones esterificados, oxidados y enzimáticamente modificados presentan la incorporación de grupos acetilo, iones como el Cl⁻ y una despolimerización parcial respectivamente, esto proporcionará enlaces más fuertes y por tanto una mayor CRA.

En el caso de los AGSAF sus altos valores de CRA deben estar dados porque debido al tratamiento hidroalcohólico aparecen cargas negativas sobre las moléculas de almidón debido a la ionización de los grupos hidroxilo, generando un fenómeno de repulsión que facilita la entrada del agua en el interior de los gránulos, con un subsiguiente incremento en su tamaño y volumen (Miles *et al.*, 1985; Karim *et al.*, 2008). Estas modificaciones que tienen altos valores de CRA como los AGSAF pueden ser empleados en alimentos cárnicos con el objetivo de mantener la jugosidad del producto durante su almacenamiento.

La disminución de la claridad de las pastas durante la refrigeración se debe a que las bajas temperaturas incrementaron la retrogradación que experimentan las moléculas de almidón. Este fenómeno es determinado por la asociación de la fracción de amilosa y por la recristalización de la amilopectina, una vez ocurrida la gelatinización en la fase de enfriamiento (Miles *et al.*, 1985; Gidley, 1987; Bello *et al.*, 2002; Amani *et al.*, 2005).

Además, el almacenamiento bajo refrigeración pudo resultar en la formación de cristales de amilosa menos perfectos que los constituidos a temperatura ambiente por tanto la agregación de cadenas pudo haberse desarrollado a gran velocidad, disminuyendo el %T significativamente. También el tiempo de almacenamiento es responsable de la disminución del %T porque después de cierto tiempo la propagación y maduración de los cristales en la fracción de amilopectina puede verse favorecida, incrementando la retrogradación de la muestra (Liu *et al.*, 1998; Meza *et al.*, 2001).

Las modificaciones que tienen mayor claridad de pasta pueden ser utilizadas en alimentos como mermeladas y gelatinas. Mientras que los más opacos pueden utilizarse en alimentos poco transparentes como las mayonesas, los productos cárnicos, en bebidas concentradas tipo néctar o productos de panificación.

Los resultados indican que los almidones modificados tienen una menor tendencia a la retrogradación con respecto al almidón nativo, mostrando al almidón esterificado y a los AGSAF como los de menor capacidad para insolubilizar y precipitar de forma espontánea las moléculas de amilosa, principal factor en la retrogradación. Esto concuerda con lo mostrado durante la estabilidad a los ciclos de congelación/deshielo y puede estar potenciado en el caso del almidón esterificado por la sustitución de hidrógenos por los grupos añadidos durante el proceso de esterificación lo cual impedirá que las moléculas de amilosa orientadas paralelamente entre sí interactúen como normalmente sucede por

sus grupos hidroxilos formando puentes de hidrógeno ya que estos están sustituidos por los grupos acilos, evitando que la amilosa forme la asociación en hélice que caracteriza este proceso.

Literatura citada

- Amani, N; Kamenan, A; Rolland, S. A; Colonna, P. (2005). *Stability of yam starch gels during processing*. Afr. J. Biotechnol. 4, 94-101.
- Araujo, C; Rincón, A; Padilla, F. (2004). *Caracterización del almidón nativo de Dioscorea bulbifera L.* Arch. Latinoam. Nutr. 54, 241-244.
- Bello-Pérez, L; Contreras, S; Romero, R; Solorza, J; Jiménez, A. (2002). *Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (Var. Macho)*. Agrociencia, marzo/abril, año/. 36 (002). Colegio de posgraduados. Texcoco, México.
- Bohrer, M. (2009). *Raíces y tubérculos tropicales olvidados o subutilizados en Brasil*. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 3(1) pp. 110-125.
- Buléon, A; Colonna, P; Planchot, V; Ball, S. (1998). *Starch granules: structure and biosynthesis*. Int. J. Biol. Macromol. 23, 85 - 112.
- Chen, J; Jane, J. (1994). *Preparation of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatment*. Cereal Chemistry .71, 618-622.
- Eliasson, A; Kim, H.R.(1992). *Changes in rheological properties of hydroxypropyl potato starch pastes during freeze-thaw treatments. Rheological approach for evaluation of freeze-thaw stability*. Ph D thesis, Departament of Food Technology Chemical Center, University of Lund, Sweden, pp 1-19.
- Ferris, S; Muganga, A; Matovu, R; Klijjn, S; Hagenimana, V; Karuni, E. (2001). *Marketing opportunities for Starch and High Quality Flour production from Cassava and Sweet potato in Uganda*. International Institute of Tropical Agriculture (IITA). Resource and Crop Management Research Monograph. 29, pp 88.
- Ganga, Z. N; Corke, H. (1999). *Physical properties of Starch of Asian-adapted potato varieties*. Journal of science food agriculture, 79, 1642- 1646.
- Gidley, M. (1987). *Factors affecting the crystalline type (A-C) of native starches and model compounds: a rationalization of observed effects in terms of polymorphic structures*. Carbohydrates. Res. 161, 301-304.

- Hurtado, J. J; Dufour, D. (2002). *Potencial de utilización agroalimentario de los almidones de plantas amiláceas no cereales sometidos a diferentes tratamientos estresantes*. Cipav. Cali, Colombia. p. 65 - 73.
- Ishiguro, K; Noda, T; Yamakawa, O. (2003). *Effect of cultivation conditions on retrogradation of sweet potato starch*. Starch. 55, 564-568.
- Juliano, O. (1972). *The rice caryopsis and its composition rice chemistry and technology*. ST-Paul, MN. Am. Assoc .Cereal Chem. EE.UU. P 16-74.
- Karim, A; Nadiha, M; Chen. F; Phuah, Y; Chui, Y; Fazilah, A. (2008). *Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (Metroxylon sagú) starch*. Food Hydrocol. 22: 1044-1053.
- León, J. (2007). *Maranta arundinacea*. En: Botánica de los cultivos tropicales. 2a Ed. Servicio editorial IICA. San José. Costa Rica. p 104-106.
- Liu, H; Ramsden, L; y Corke H. (1998). *Physical properties of crosslinked and acetylated normal and waxy rice starch*. Starch/ Stärke 51(7), 249-252.
- López, M. (1994). *Amaranth carbohydrates*. In *Amarant: Biology, Chemistry and Technology*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lovedeep, K; Narpinder, S; Navdeep S. (2002). *Some properties of potatoes y their starches. Morphological, thermal y rheological properties of starches*. Food Chemistry, 79, 183-192.
- Martínez, N; Vázquez, M. 2009. *Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado*. Tesis. *Obtener el título de Ingeniero Químico*. Facultad de Ciencias Químicas campus Coatzacoalcos. UV. Veracruz
- Meza, K; Bello, L; Contreras, S; Paredes, O. (2001). *Functional properties of corn, banana and potato starch blends*. Acta Cient. Venez. 52, 62-67.
- Miles, M; Morris, V; Orford, P; Ring, S. (1985). *The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch*. Carbohydrate Research. 135, 271-278.
- Moorthy, S.N. (2002). *Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review*. Starch. 54, 559-592.
- Morales, R. (2003). *Características físicas, químicas y organolépticas del almidón de tubérculos andinos*. Revista de Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 13(51). pp 357-368.

- Narayama, K. (1982). *Functional properties of raw and processed winged bean (Psophocarpus tetragonolobus) flours*. J Food Sci 47, 1534–1538.
- NC. 86-05:1984. *Cereales. Harinas. Determinación de proteínas*.
- NC-ISO 2171:2001. *Cereales y productos de cereales molidos. Determinación de cenizas*.
- Rooney, L; Huang, D. (2001). *Starches for snack foods*. En: E.W., Rooney y L. W. Lancaster (Ed.). *Snack foods processing*, ed. Lusas., Pennsylvania. Techn, Publish. Co. Inc. pp. 115 – 130.
- Roy, D. (2000). *Plant Breeding. Analysis and exploitation of variation*. Alfa Science. Pangbourne, Reino Unido. p. 701.
- Tester, F; Karkalas, J; Qui, X. (2004). *Starch composition fine structure and architecture*. Journal Cereal Science, 39, 152-165.
- Wang, Y; Wang, L. (2003). *Physicochemical properties of common an waxy corn starch oxidized by different levels of sodium hypochlorite*, Carbohydrate Polymers. 52, 207-217.