

Modificación hidrotérmica del almidón de yuca para su empleo como estabilizador de helados

O. Pérez Navarro*, N. Ley Chong, E. González Suarez y C. Valdés Valmaseda

*Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní KM 5. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Hydrothermal modification of cassava starch for use as ice cream stabilizer

Modificació hidrotèrmica del midó de iuca per al seu ús com a estabilitzador de gelats

RECEIVED: 28 OCTOBER 2016. REVISED: 3 JANUARY 2017. ACCEPTED: 9 JANUARY 2017

SUMMARY

In this work a procedure of physical modification of native starch of cassava is developed through a hydrothermal treatment in the zone prior to gelatinization, of which there are no experimental reports. The objective is to determine the influence of the main process variables on rheological behavior, with the purpose of being used as a stabilizer in the ice cream industry. Good rheological results were achieved with a concentration of 6% w / w of native starch at 56 ° C. The material obtained was used in ice cream formulations, substituting part of the conventional products with very positive effects in terms of sensory evaluation and aeration index. The results obtained allow to establish perspectives for the use of modified starches of cassava whose hydrothermal treatment in the zone prior to the gelatinization offers positive effects, as stabilizer of aqueous suspensions, similar to those reached with pregelatinized starches, besides with the advantage of obtaining a modified product more easily.

Keywords: Modified starch; stabilizer; Gelatinization; ice creams; cassava.

RESUMEN

En el trabajo se desarrolla un procedimiento de modificación física de almidón nativo de yuca a través de un tratamiento hidrotérmico en la zona previa a la gelatinización, de la cual no existen reportes de experimentación. El objetivo es determinar la influencia de las principales variables del proceso sobre el comportamiento reológico, con el propósito de ser empleado como estabilizador en la Industria heladera. Se alcanzaron buenos resultados reológicos con una concentración de 6% p/p de almidón nativo a 56 °C. El material obtenido se usó en formulaciones

de helados, sustituyendo parte de los productos convencionales con efectos muy positivos en cuanto a la evaluación sensorial y el índice de aireación. Los resultados alcanzados permiten establecer perspectivas para el empleo de almidones modificados de yuca cuyo tratamiento hidrotérmico en la zona previa a la gelatinización ofrece efectos positivos, como estabilizante de suspensiones acuosas, similares a los que se alcanzan con almidones pregelatinizados, además con la ventaja de obtener el producto modificado con mayor facilidad.

Palabras clave: Almidón modificado; estabilizador; gelatinización; helados; yuca.

RESUM

En el treball es desenvolupa un procediment de modificació física de midó natiu de iuca a través d'un tractament hidrotèrmic a la zona prèvia a la gelatinització, de la qual no existeixen informes d'experimentació. L'objectiu és determinar la influència de les principals variables del procés sobre el comportament reològic, amb el propòsit de ser emprat com a estabilitzador en la indústria de gelateria. Es van aconseguir bons resultats reològics amb una concentració de 6% p / p de midó natiu a 56 °C. El material obtingut es va usar en formulacions de gelats, substituint part dels productes convencionals amb efectes molt positius pel que fa a l'avaluació sensorial i l'índex de ventilació. Els resultats assolits permeten establir perspectives per a l'ús de midons modificats de iuca els quals una vegada han rebut tractament hidrotèrmic a la zona prèvia a la gelatinització, ofereixen efectes positius com estabilitzants de suspensions aquoses, similars

*Corresponding autor: omarpn@uclv.cu

als que s'assoleixen amb midons pre-gelatinitzats, a més amb l'avantatge d'obtenir el producte modificat amb més facilitat.

Paraules clau: Midó modificat; estabilitzador; gelatinització; gelats; iuca.

INTRODUCCIÓ

La indústria alimentaria utilitza gran quantitat de aditius, entre ells els estabilitzants, per a la producció de helados i altres productes com conserves, carnisos, etc., que poguessin produir-se total o parcialment, a partir de processos eficients i compatibles des del punt de vista ambiental que empleen com a matèries primeres els productes, subproductes i residus de l'agricultura i dins d'ells, els associats al cultiu de la yuca¹. La yuca, també coneguda com a mandioca, s'adapta a condicions climàtiques adverses, amb major eficiència en la producció de carbohidrats que els cereals i alt contingut d'amidó en la matèria seca².

El amidó procedent de la yuca s'empra com a matèria prima en la seva forma natural o modificada en múltiples indústries, principalment la alimentària, del paper, la tèxtil i dels adhesius. Per a l'indústria alimentària és un producte de cost relativament baix en comparació amb altres que són utilitzats per a fins similars que proporciona bons resultats en la modificació de la textura i consistència dels aliments degut a les seves propietats gelífiques i espesants. Ningú altre ingredient proporciona una textura tan àmplia d'aliments com el amidó³. Sin embargo, la estructura natural del amidó no resulta apropiada per als resultats esperats, ja que les condicions de procés com la temperatura, acidesa i pressió, dificulten la seva activitat degut a la seva baixa resistència als esforços de tall, descomposició tèrmica, alt nivell de retrogradació i sinéresis, reduint la seva aplicabilitat industrial⁴. Per altra banda^{5,6,7,8} reporten que la modificació del amidó permet millorar la consistència, el poder aglutinant i l'estabilitat als canvis de pH i temperatura, a més genera gelificació, dispersió i consistència en els productes on intervé i en productes congelats, com el gelat, afavoreix la formació d'emulsions amb components làctics i no làctics. Alguns dels mètodes de modificació principals són físics i dins d'ells s'encuentra la gelatinització.

La gelatinització és un procés irreversible que sufla els almidons al ser escalfats en una suspensió amb aigua provocant la ruptura dels enllaços d'hidrogen en l'interior del grànel, millorant la absorció d'aigua i l'inchament. Aquest procés ocorre després d'arribar a la temperatura de gelatinització, que és característica de cada amidó i depèn de la concentració de la suspensió⁹. Al calentar prop del punt de gelatinització, els grànuls d'amidó són insolubles en aigua freda, però poden embeber aigua de manera reversible, és a dir poden inflar-se lleugerament i tornar després al mida original

al secar-se, per tant s'obté un producte que es dispersa bé en aigua freda i desenvolupa una viscositat considerable. Aquest producte pot considerar-se un amidó "post-cristal·lí" o "pre-coloïdal" en tant que és la tendència de la seva estructura molecular durant el calentament en la zona prèvia a la gelatinització¹⁰.

Els almidons pre-gelatinitzats són productes que han estat sotmesos a un procés de gelatinització i després d'extreure l'aigua separada per retrogradació s'aïllen novament com a sòlid pulveritzat. Aquesta modificació senzilla i amb pocs requeriments augmenta la capacitat d'absorció d'aigua, el que permet l'ús d'aquest producte com a estabilitzant alimentari industrial.

S'presenten estudis del comportament en suspensió d'almidons pre-gelatinitzats que tenen múltiples aplicacions industrials¹¹. Inclusive existents informes del comportament en suspensió aquosa d'almidons pregelatinitzats modificats per via química^{12Iefnawi, 13ahmed}, però no s'informen avaluacions del comportament d'aquests materials sotmesos a un calentament en suspensió en la zona fronterera entre la cristallització i el col·loide.

L'estabilització en la elaboració de helados és un procés complex i la presència de cristalls de gel degut a l'existència d'aigua lliure en el gel després de la congelació és un defecte inacceptable. Amb fins d'estabilització s'empra una gamma de productes entre ells els almidons pregelatinitzats¹⁴. No s'informa l'ús d'almidons amb absorció d'aigua millorada a través d'un tractament hidrotèrmic sense gelatinització com a component de les mesclures comercials d'estabilitzants d'aliments.

Per a aquestes raons, s'defineix com a hipòtesis, que és possible millorar les propietats dels almidons naturals de yuca a través d'un tractament hidrotèrmic en la zona prèvia a la gelatinització de tal manera que el comportament del producte obtingut, com a estabilitzant de helados, sigui adequat. El treball té com a objectiu determinar l'influència de les principals variables del procés sobre el torque, propietat vinculada amb la viscositat i per tant sobre el comportament reològic per demostrar les potencialitats reals d'ús dels productes obtinguts com a estabilitzants en l'indústria heladera. Aquesta senzilla, però efectiva via de modificació no ha estat reportada amb anterioritat per a fins similars a pesar de les seves potencialitats en generar canvis estructurals associats al millorament de les propietats reològiques en suspensió aquosa, similars a les dels productes pre-gelatinitzats, amb una major facilitat de separació del producte modificat per sedimentació i filtració sense necessitat de recórrer a la retrogradació.

Materiales y Métodos

El material de partida, amidó natiu de yuca, té una humedat del 5,5 % i un diàmetre màxim de partícula de 0,3 mm i s'obté a partir de arrels de la varietat INIVIT Y-93-4, de característiques idònies per a la producció industrial d'amidó¹⁵.

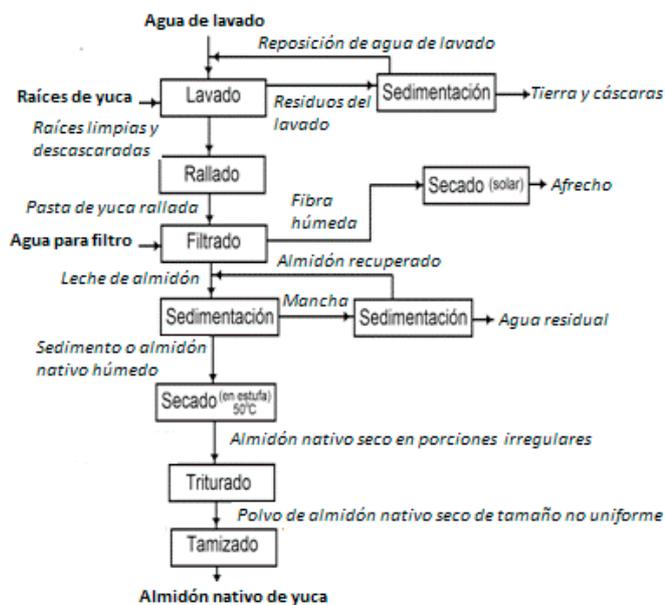


Figura1: Procedimiento seguido para la obtención del material de partida.

Con el procedimiento representado en la figura 1¹⁶ se obtiene el almidón nativo de yuca. Las operaciones de lavado, filtrado y sedimentación se efectuaron manualmente. Durante la sedimentación de la lechada de almidón se obtuvo un sobrenadante, denominado mancha que es rico en almidón y proteínas¹⁷. Este material fue sometido a un segundo proceso de sedimentación para favorecer la eficiencia en la extracción del almidón. El agua del lavado de las raíces se recuperó y se repuso al proceso luego de un tratamiento adecuado¹⁸. Como subproducto del proceso se obtuvo afrecho y como residuos cáscara, tierra y agua residual.

Se seleccionó el torque al agitador como parámetro de caracterización reológica de los almidones modificados en la zona hidrotérmica de interés, a causa de su facilidad de determinación y su vinculación directa con la viscosidad y se elaboró el procedimiento de modificación siguiente:

1. Preparación de una suspensión de almidón nativo a la concentración deseada.
2. Calentamiento de la suspensión en termostato hasta la temperatura deseada y agitación a 500 rpm con acople a determinación del torque.
3. Lectura de los valores de torque desarrollado a la agitación cada 1 min durante 15 minutos luego de alcanzar la temperatura deseada.
4. Enfriamiento y sedimentación del material obtenido, seguido de separación del sedimento, filtrado al vacío de la torta obtenida y secado en estufa durante 24 h a 50 °C.

Para conocer el efecto de la concentración de almidón y la temperatura sobre la reología de las suspensiones en el entorno inferior a la zona de gelatinización se realizó un diseño experimental factorial 2² con réplicas y un punto central con replica para la variable concentración, con un total de 12 experimentos. Para

la selección de los niveles se determinaron previamente las relaciones temperatura-concentración de las suspensiones en la zona de interés. Se trabajó a concentraciones de 1, 3, 6 y 8 % p/p, ya que por encima del 10 % p/p las suspensiones gelatinizadas de almidón proveniente de tubérculos son muy consistentes¹⁹. Se trazó la curva de gelatinización delimitando la zona de gelatinización y la zona previa a la gelatinización empleando la técnica descrita por ¹⁰. Con ello se fijaron las temperaturas de interés en la modificación estructural, garantizando superar la barrera de la cristalinidad sin entrar en la zona gelatinosa, para las diferentes concentraciones seleccionadas.

Luego de seleccionados los métodos y el mejor nivel de los parámetros de trabajo se efectuó la producción de 1 kg de almidón modificado. Para evidenciar los cambios de la estructura molecular provocados al almidón durante la modificación realizada se determinó su comportamiento como agente estabilizante a partir de su utilización en formulaciones de helados a escala piloto e industrial. La incorporación de los almidones modificados de yuca obtenidos a la fabricación de helados, implicó estudiar el comportamiento de los mismos en las formulaciones. Estos aditivos usualmente son mezclas de agregados que cumplen funciones específicas de estabilizar y emulsificar los componentes grasos, responsables en buena medida de la cremosidad del producto pero que también originan una buena parte de las complejidades tecnológicas asociadas¹⁴.

Con el almidón modificado producido, se comprobó el comportamiento de los almidones modificados resultantes del procedimiento experimental desarrollado como agentes estabilizantes. El producto a sustituir fue el estabilizador integrado-combinado Brigel Neutro Trial, uno de los estabilizantes de helados más utilizados por la industria láctea en los últimos años. Los materiales utilizados para esta experiencia fueron la leche descremada en polvo que incorporó los sólidos lácteos totales, azúcar refinado y como agente saborizante se utilizó pasta de guayaba BRIGEL con 30 % de sólidos totales. Adicionalmente se incorporó cloruro de sodio al 0,1 % y se pigmentó combinando color rojo #4 (Sal di-sódica de 3-((2,4-dimetil-5-sulfofenilazo)-4-hidroxi -1-naftalensulfónico) y color amarillo #5 (Sal tri-sódica del 5-oxi-1-(p-sulfofenil)-4-((p-sulfofenilazo)-2 pirazolina-3-ac.carboxílico).

En esta escala se estudió la influencia del contenido de sólidos lácteos y el nivel de sustitución de Brigel Neutro-Trial por almidón modificado en la elaboración de un helado de leche de sabor guayaba. Se procesó una secuencia tecnológica estabilizada totalmente con Brigel Neutro-Trial (sin almidón) y se realizaron sustituciones del 20, 30 y 50 % del estabilizador Brigel Neutro-Trial por almidón modificado para contenido de sólidos lácteos en la formulación de 6, 8, 10, 12, 14 y 16 %. Se preparó la formulación en 25 litros de mezcla con 15 % de azúcar, 0,1 % de cloruro de sodio, 20 % de pasta de guayaba y se incorporó coloración adecuada combinando color amarillo #5 y rojo #4. En el estudio a escala piloto se utilizó una instalación con la secuencia tecnológica que se muestra en la figura 2.



Figura 2: Esquema del proceso empleado para la producción de helados a escala piloto.

Los controles de calidad realizados consistieron en evaluación sensorial por panel especializado, conformado por 5 especialistas. Como variable respuesta se determinó el índice de aireación (% de overrun), para lo cual se efectuó control de rendimiento por peso que permite calcular el aumento de volumen de helado respecto al de mezcla por la incorporación de aire durante la batición-congelación. Este parámetro determina la eficiencia del proceso y dentro de los rangos permisibles por las normativas de calidad, su aumento hasta valores en el entorno o ligeramente por encima del 100 % garantizan textura, cuerpo y cremosidad idóneos para un producto de la composición estudiada. A partir del peso del producto en su envase determinado experimentalmente, para la densidad de la mezcla correspondiente a cada contenido de sólidos lácteos, resulta en cada experiencia para cada una de las pesadas a intervalos regulares de tiempo la expresión siguiente para el cálculo del rendimiento:

$$\% \text{ over run}_{\text{experimental}} = \left[\left(\frac{\text{Kg/L}_{\text{Mezcla experimental}}}{\text{Kg/L}_{\text{Helado (Según \% sólidos lácteos)}}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

Equipamiento utilizado para las diferentes escalas:

A escala de Laboratorio el rayado de yuca se efectuó en una máquina construida al efecto, conformada por un cilindro rotatorio a 850 rpm con superficie de lámina cortante de acero inoxidable y orificios filosos de diámetro 1 mm. Para el secado se utilizó la estufa BINDER FD 115 con circulación de aire, en el triturado un molinillo IKA WERKE MF-10 BASIC a 3200 rpm con tamiz de 0,5 mm y el tamizado se efectuó en un tamiz vibratorio, con malla de diámetro 0,3 mm. El tratamiento hidrotérmico se desarrolló en recipiente

de vidrio de 2 litros, encaquetado con circulación de agua desde termostato JULABO LABORTECHNICK GMBH, calibrado a la temperatura de interés en cada experiencia. La determinación del torque al agitador se efectuó en agitador de hélice con regulador de velocidad y sensor viscoslick de JIKA LABORTECHNIK STÄUFEN calibrado a 500 rpm en todas las experiencias.

A escala de Planta Piloto la elaboración de helados se desarrolló totalmente en equipamiento construido al efecto. El mismo estuvo conformado por tanque agitador pasteurizador de 50 litros de capacidad efectiva, encaquetado, aislado térmicamente, construido totalmente en acero inoxidable con deflectores y con un agitador de paleta a 750 rpm. El calor requerido para el calentamiento del agua en baño maría fue suministrado por 4 resistencias eléctricas de 0,5 kW cada una por contacto indirecto, acopladas a la parte exterior de la chaqueta para evitar el sabor a ahumado en el producto terminado. El enfriamiento se efectuó en un tanque encaquetado con circulación de agua a temperatura ambiente seguida por refrigeración en los maduradores y congelación-batición en congelador vertical discontinuo.

Para el estudio a escala industrial se utilizó la instalación de la fábrica de helados de Placetitas, atendiendo a su capacidad reducida con la secuencia tecnológica que se muestra en la figura 3.

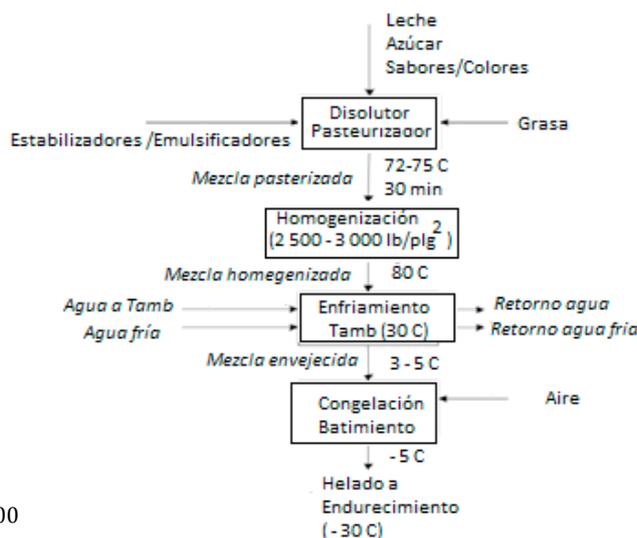


Figura 3. Esquema del proceso utilizado en la prueba industrial.

En esta escala se preparó una formulación en 500 litros de mezcla para helado de leche con 14 % de sólidos lácteos, distribuidos en 7 % de grasa y 7 % de sólidos no grasos y se optó por una mezcla base con sabor mantecado. Se empleó 17 % de azúcar refinado, 0,1 % de cloruro de sodio, la grasa se completó con aceite vegetal hidrogenado de 99 % de grasa, luego se pigmentó con Color Amarillo #5 y se adicionó sabor mantecado. La estabilización se efectuó a 5 g/l de Briegel Neutro Trial con sustitución del 20 % del peso por almidón modificado, resultando una mezcla estabili-

zante de 2 kg de estabilizador Brigel Neutro Trial y 0,5 kg de Almidón Modificado.

En la prueba industrial el equipamiento empleado consistió en tanque pasterizador, madurador y homogenizador ALFA LABAL de 1200 L, 1000 L y 5000 L/h respectivamente, intercambiador a placas de crema CHOTEBOR de 5000 L/h y congelador continuo CHERRY BURRELL de 150 gal/h. El calentamiento se suministró con vapor a 1,2 kg/cm² y el enfriamiento con agua glacial proveniente de bancos de hielo.

RESULTADOS

La curva de gelatinización resultante se muestra en la figura 4 y en ella se delimitan la zona de gelatinización y la zona previa a la gelatinización.

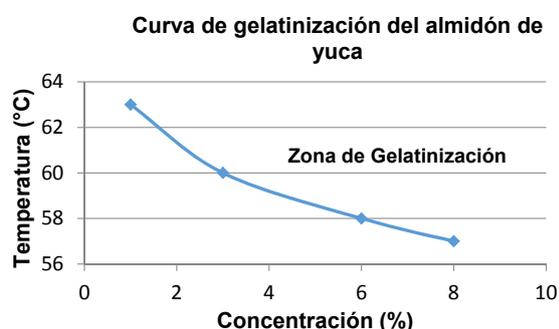


Figura 4: Curva de gelatinización de suspensiones de almidón nativo de yuca.

Estos resultados permiten definir los niveles de temperatura a emplear en el diseño experimental para cada concentración, de manera que no se presenten efectos de gelatinización. Las variables y niveles son listadas en la tabla 1.

Tabla 1: Factores y niveles de las variables en el diseño experimental.

Factores	Niveles		
	Inferior (-)	Superior (+)	Central (0)
X ₁ : Concentración (% p/p)	1	6	3
X ₂ : Temperatura (°C)	56	60	-

Tabla 2: Matriz experimental y resultados del diseño.

Experimentos	Variables experimentales		Respuesta
	X ₁ : Concentración (% p/p)	X ₂ : Temperatura (°C)	Torque (N-m)
1	+	+	0,0425
2	-	-	0,0120
3	0	-	0,0255
4	+	-	0,0360
5	0	+	0,0290
6	-	+	0,0170
7	0	-	0,0262
8	+	-	0,0370
9	-	+	0,0155
10	-	-	0,0115
11	0	+	0,0300
12	+	+	0,0425

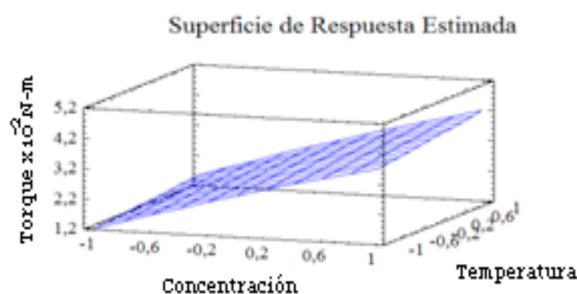
$$\text{Torque} = (2,7675 + 1,275X_1 + 0,235833X_2 - 0,0925X_{12} + 0,0375X_1X_2)/100$$

Los resultados fueron procesados en STATGRAPHICS CENTURION XV.II. En la tabla 2 se muestra la matriz del diseño, los valores obtenidos y el modelo ajustado del parámetro respuesta.

En la figura 5 (a) y (b) aparece el Gráfico de Pareto y el de Superficie de Respuesta Estimada para el parámetro respuesta Torque. En la figura 4 se muestran los resultados del control de rendimiento por peso en función del contenido de sólidos lácteos en la experiencia sin almidón y para los diferentes niveles de sustitución de estabilizador por almidón modificado en la prueba a escala piloto.



(a)



(b)

Figura 5.: a) Gráfico de Pareto b) Superficie de Respuesta Estimada para el parámetro respuesta Torque.

Para la prueba a escala industrial el estudio sustitutivo se desarrolló para los mejores resultados alcanzados en la modificación y en el estudio a escala piloto. En ella, los controles de calidad realizados se efectuaron de manera similar al estudio a escala piloto, resultando satisfactoria la valoración sensorial de todos los catadores. Dos códigos afectaron de manera muy ligera con baja intensidad el color lo cual no afectó el diseño del producto.

El control de rendimiento por peso se desarrolló siguiendo los mismos principios que en la prueba a escala piloto, pero procediendo a intervalos de 10 min entre pesadas en congelación continua. Como la secuencia de llenado del congelador no permite realizar pesadas con intervalos regulares de tiempo a envases completos, para garantizar un adecuado seguimiento durante la prueba se pesó la totalidad de la producción elaborada durante una hora, alcanzándose un valor promedio de 120,09 %. Se complementó con el control de procesos en planta resultando entre 100 y 120 % de índice de aireación durante el desarrollo de la prueba, resultado que supera los valores actuales e históricos de rendimiento en esta instalación.

DISCUSIÓN

A través de la curva de la gelatinización mostrada en la figura 4, se observó en todos los casos que a medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y aumenta su volumen. Al llegar a la temperatura de gelatinización, el gránulo alcanza el volumen máximo; si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. Una vez que los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta alcanzar un valor estable en el que se genera un gel. También se observa que a medida que aumenta la concentración de la suspensión disminuye la temperatura de gelatinización del almidón. Estos resultados concuerdan con los rangos de temperatura de gelatinización reportados por Vargas-Aguilar (2013), los cuales oscilan entre 49-64°C o de 62-73°C según la variedad, constitución genética y el ambiente de desarrollo del cultivo del tubérculo.

Los resultados del estudio experimental efectuado y el procesamiento estadístico de los mismos mostrado en la tabla 2 y la figura 5 a) y b) respectivamente, demuestran que la variable más significativa en el rango estudiado es la concentración, lo cual era de esperar según los resultados del ensayo de gelatinización. Al aumentar la concentración de almidón en la solución aumenta la capacidad de absorción de agua por tanto se hincha el gránulo provocando un aumento en la viscosidad y por consiguiente un incremento rápido del torque al agitador que es una propiedad relacionada directamente con la viscosidad. Aunque en menor medida, la temperatura también ejerce influencia apreciable puesto que la energía cinética favorece la ruptura molecular y se retiene más agua por lo que el gránulo empieza a hincharse y aumentar su volumen formándose el gel. Todas las variables estudiadas ejercen influencia positiva sobre el torque, excepto el cuadrado de la temperatura pero solamente las variables principales tienen influencia significativa.

El máximo valor de torque obtenido es 0,045 Nm y se corresponde con los niveles máximos de ambas variables pero, como puede apreciarse en la figura 4, en el límite extremo superior del intervalo seleccionado la gelatinización de la suspensión es total, formándose un gel fuerte que no reúne los requisitos inicialmente propuestos de ser un almidón "pre-coloidal". Por esa razón se seleccionó como mejor variante la modificación a 6 % p/p de almidón nativo y 56 °C, puesto que el comportamiento del torque alcanza un valor adecuado de 0,036 Nm y en esas condiciones se observó una suspensión estable, de escasa tendencia a la retrogradación y sin riesgos de gelatinización. Esta combinación de la mayor concentración y menor temperatura estudiada permite reducir ligeramente los costos de inversión y operación en la etapa de modificación para la propuesta tecnológica resultante.

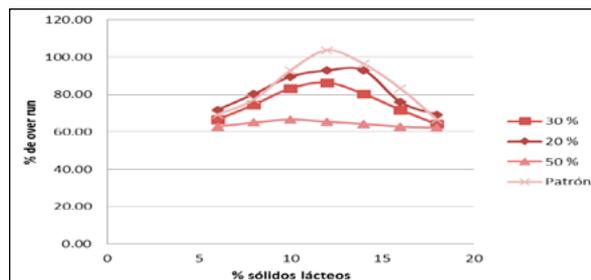


Figura 6: Comportamiento del rendimiento con la sustitución de estabilizador Brigel Neutro Trial por almidón modificado para diferentes contenidos de sólidos.

Los resultados del estudio sustitutivo de estabilizador empleado industrialmente Brigel Neutro Trial por almidón de yuca modificado en la zona de estudio a escala piloto, mostrados en la figura 6 demuestran que la experiencia sin incorporación de almidón modificado mostró niveles de índice de aireación (% overrun) que se incrementan hasta el entorno del 100 % entre 10 y 14 % de sólidos lácteos, muy favorables en operación discontinua, que se reducen a mayor contenido de sólidos por las insuficiencias del batimiento en esas condiciones, con evaluación sensorial satisfactoria. La sustitución de estabilizador Brigel Neutro Trial por almidón modificado de yuca, mostró los mejores resultados de rendimiento para 20 % de sustitución y 14 % de sólidos lácteos. La evaluación sensorial no mostró diferencias significativas para todos los niveles de sustitución entre 12 y 16 % de sólidos lácteos, alcanzando incluso resultados de cuerpo y textura superiores a la experiencia sin almidón. La velocidad de derretido se comportó favorablemente en todos los niveles de sustitución y muy inferior a la experiencia sin almidón, lo cual muestra la estabilidad alcanzada por el producto en todos los niveles de sustitución.

Los niveles elevados de almidón en la formulación (cerca del 50 %) no garantizan el mantenimiento del rendimiento en niveles aceptables lo cual se debe a que la viscosidad de las mezclas se incrementó demasiado al reducirse drásticamente la relación entre los componentes estabilizantes frente a los emulsificantes en el efecto integrado que produce la sustitución del producto de partida en la mezcla utilizada. La combinación de la evaluación sensorial y los rendimientos industriales alcanzados en el trabajo muestran que la sustitución de parte de los estabilizadores industriales en la producción de helados por almidón modificado de yuca en las condiciones estudiadas puede incrementar la eficiencia material de este sector y favorecer el comportamiento sensorial del producto.

CONCLUSIONES

La modificación física de almidones de yuca por tratamiento hidrotérmico en la zona previa a la gelatinización constituye un tratamiento reversible, sencillo y de bajos requerimientos, que permite la ruptura de la estructura del gránulo de almidón, mejorando las propiedades de los productos en suspensión. Esta

transformación estructural hace posible la utilización de este producto como estabilizante en la industria alimentaria y dentro de ella, especialmente en la heladera y de otros productos congelados.

Se determinaron las mejores condiciones de modificación, tomando como criterio, las propiedades reológicas de los materiales resultantes, donde al producto con el mejor resultado reológico obtenido, una vez separado como sólido pulverizado, se le efectuaron pruebas del comportamiento en las formulaciones de helados, con resultados muy positivos en cuanto a la evaluación sensorial y el índice de aireación.

Los resultados del trabajo permiten establecer perspectivas para el empleo de almidones nativos con base en la yuca cuya modificación en la zona previa a la gelatinización ofrece resultados similares a los que se alcanzan con almidones pregelatinizados, con la ventaja de la mayor facilidad de separación del producto modificado previo al secado. La obtención de estos productos abre perspectivas en cuanto a sus aplicaciones directas o su uso como material de partida en una secuencia modificativa por vía química o enzimática mejorando aún más su comportamiento en suspensión acuosa.

BIBLIOGRAFÍA

1. OCDE-FAO. Perspectivas Agrícolas 2013-2022, Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo, 2013. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2013-es.
2. Aristizabal, J.; Sánchez, T. Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca, Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO - 163. **2007**, p. 14-16, p. 42-44.
3. Vargas-Aguilar, P.; Hernández-Villalobos, D. Harinas y almidones de Yuca, Ñame, Camote y Ñampí: Propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria, Tecnología en Marcha. **2013**, 26, 37-45.
4. Sandoval, A.; Angélica, P.; Farhat, I.; Fernández, A. Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) durante un proceso de extrusión, Rev. de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. **2007**, 14, 6-15.
5. Ramirez, J.; Quintero, D. Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca., Universidad de Los Andes, 2013. <https://www.researchgate.net/publication/235934297>.
6. Barrios, E.S.; Contreras, J.; Carrasquero, F. Estudio preliminar de modificación química de almidón de yuca mediante reacción de carboximetilación asistida por microondas, Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. **2009**, 2, 159-160.
7. Volkert, B.; Loth, F.; Lazik, W.; Endelhart, J. Highly Substituted Carboximethyl Starch. *Starch/Stärke*. **2004**, 56, 307-314. DOI: 10.1002/star.200300266.
8. Bhattacharyya, R.; Singhal, R.; Kulkarni, P. A comparative Account of conditions for synthesis of sodium carboxymethyl starch from corn and amaranth starch. *Carbohydr. Polym.* **1999**, 27, 247-253.
9. Meré Marcos, J. Estudio del procesado de un plásmo termoplástico basado en almidón de papa amigable con el medio ambiente. Universidad Carlos III, Madrid. *Bioplásticos*. **2013**, 138, 6-13.
10. Fennema, O. Química de los alimentos, Ed. Acricbia, 2000, p 876-879.
11. Martínez-Bustos, F.; Zazueta, J.; Morales, E. Preparation and properties of Pre-gelatinized Cassava and Jicama Starches using ohmic heating. *Agrociencia*. **2005**, 39, 275-283.
12. Lefnaoui, S.; Moulai-Mostefa, N. Synthesis and evaluation of the structural and physicochemical properties of carboximethyl pregelatinized starch as a pharmaceutical excipient. *Saudi Pharmaceutical journal*. **2015**, 23, 698-711.
13. Ahmed AbdallaBakheit, Daud BarakaAbdallah, Elnazeer I, Hamedelniei, Zuhair A. Osman and Khaled M. Algaobahi. Characterization and Evaluation of Carboxymethyl Starch of *Cajanus Cajan* Seeds as Tablet Binder. *Oriental Journal of Physical Sciences*. **2017**, 2, 42-49.
14. Di Bartolo, E. Guía para la elaboración de helados, Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentos Argentina, 2005. www.teknoar.com.ar/guia_elaboracionhelados.pdf.
15. Ochoa, M. y otros. Evaluación de harina y almidón de yuca obtenidos de diferentes clones. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, **2014**, 24, 63-68.
16. Perez, O.; De Armas, A.; Martínez, Y.; Pérez, A. Estrategia Innovativa en el estudio de alternativas de industrialización de la yuca como oportunidad de negocios. *Centro Azúcar*. **2014**, 41, 59-66.
17. Montoya, S.; Ramírez, J. Industrialización de la yuca. Obtención de almidón nativo y sus aplicaciones. Universidad del Valle. Tecnología en alimentos. 2007. www.ilustrados.com/documentos/inustrializacion-yuca-270308.pdf
18. Torres, P.; Rodríguez, J.; Rojas, O. Extracción de almidón de yuca. Manejo integral y control de la contaminación hídrica. Colombia: Valle University. Engineering Faculty. 2015
19. Tijssen, C.; Scherpenkate, E.; Stamhuis, E.; Beekackers, A. Optimization of the process conditions for the modification of starch. *Chem. Eng. Sci.* **1999**, 54, 2765-2772.