



Incorporación de almidón o mezclas almidón-goma xantana en sistemas lácteos coagulados para mejorar rendimiento y textura

Incorporation of starch or starch-xanthan gum mixtures in coagulated milk systems to improve yield and texture

Alfonso Totosaus ¹, Lucía Pineda-Calderón².

¹Tecnológico Nacional de México/TES Ecatepec. México. ✉ atotosaus@tese.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México/TES Ecatepec. México. ✉ pinedalucia0311@gmail.com

Recibido: 08/04/2021. Aceptado: 06/09/2021.

RESUMEN Con el propósito de mejorar la elaboración de quesos tipo fresco, se experimentó con diferentes tipos de almidón o su combinación con goma xantana en un sistema modelo, con el fin de determinar el efecto sobre el rendimiento, volumen de lactosuero liberado, sinéresis, humedad, además de las propiedades fisicoquímicas dureza, adhesividad, cohesividad y resorteo. Se utilizaron almidón de trigo, almidón de papa, almidón modificado Gelamil y Nifragel al 5 % (p/v) o su combinación con goma xantana (1 %, p/v) en un sistema lácteo coagulado. El uso de almidones con goma xantana resultó en un mayor rendimiento y menor volumen de lactosuero liberado, menor sinéresis y mayor humedad, debido a las propiedades de retención de agua. Esta característica repercutió en texturas más duras pero adhesivas, además de ser menos cohesivas y elásticas, debido a la menor movilidad del agua dentro del sistema. Bajo condiciones experimentales, los almidones nativos (trigo y papa) en combinación con la goma xantana actuaron como relleno en este tipo de sistemas lácteos coagulados mejorando la interacción electrostática con las caseínas, con mayor impacto en la retención de humedad en alimentos “tipo queso”.

Palabras clave: almidón de trigo; almidón de papa; almidones modificados; rendimiento quesero; sinéresis; desuerado.

ABSTRACT In order to improve the production of fresh cheese, different types of starch or its combination with xanthan gum were experimented with in a model system, in order to determine the effect on yield, volume of whey released, syneresis and humidity, in addition to physicochemical properties of hardness, adhesiveness, cohesiveness and spring. Wheat starch, potato starch, Gelamil and Nifragel modified starch 5 % (w/v) or their combination with xanthan gum (1 % w/v) were used in a coagulated dairy system. The use of starches with xanthan resulted in a higher yield and lower volume of whey released, lower syneresis and higher humidity due to water retention properties. This characteristic resulted in harder but more adhesive textures, but less cohesive and elastic due to lower water mobility within the system. Under experimental conditions, native (wheat and potato) starches in combination with xanthan act as fillers in this type of coagulated dairy systems, improving the electrostatic interaction with caseins, with a greater impact on moisture retention in “cheese-like” foods.

Keywords: cheese yield; modified starches; potato starch; syneresis; wheat starch; whey release.

INTRODUCCIÓN

La gelificación de las proteínas de la leche es la base de la fabricación de los quesos. El calentamiento, acidificación y/o el cuajo enzimático son utilizados para desestabilizar las proteínas de la leche, resultando en una gelificación irreversible, debido a la formación de geles particulados de caseína (Lucey, 2020). Los geles de caseína se forman por la agregación de las micelas de caseína en un gel cuajado por el arreglo, fusión y sinéresis de la cuajada (Lucey y Horne, 2018). Estos geles formados por la coagulación enzimática, en condiciones de reposo pueden presentar sinéresis o liberación de lactosuero, debido a que el gel cuajado se contrae y reduce hasta dos tercios de su volumen. En el queso, la sinéresis es indeseable, por lo que debe ser prevenida regulando el contenido de agua, para controlar la liberación de lactosuero (Walstra, 1993). La incorporación de polímeros puede incrementar los niveles de humedad en quesos, ya que algunos polisacáridos como los almidones modificados no afectan la textura del coagulo (Green y Grandison, 1993), pero otros como la xantana aumentan ligeramente la firmeza de la cuajada (Olsen, 1989).

Los almidones de diferente origen botánico o modificados son ingredientes ampliamente utilizados en productos lácteos. Cuando el almidón es solubilizado en agua fría los gránulos se hinchan, y al calentar esta suspensión hasta la temperatura de gelatinización, el almidón absorbe de 20 a 40 g de agua por gramo de almidón (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009). Por otro lado, la goma xantana se utiliza como estabilizante ya que es muy soluble en agua que resulta en una suspensión de alta viscosidad, dependiendo de la concentración de goma, pero independiente de la temperatura (Belitz *et ál.*, 2009). El comportamiento reológico de las mezclas almidón-goma xantana están relacionados con las propiedades viscoelásticas de la xantana la cual da lugar a una débil red tridimensional debido a asociaciones de segmentos de cadena ordenados (Kim y Yoo, 2006). Mezclas de

almidón con xantana presentan mayor rigidez debido a la formación de una estructura entre las ramas de amilosa y la xantana al rodear los gránulos de almidón previniendo la difusión de este, más no la gelificación de los gránulos (Mahmood, Kamilah, Shang, Sulaiman, Ariffin, y Alias, 2017). La asociación que forman las mezclas de xantana y almidón al ser calentadas no se disocian durante el enfriamiento, lo que implica un incremento sinérgico en la viscosidad (Christianson, Hodge, Osborne y Detroy, 1981). Estos fenómenos son el resultado de la capacidad de la xantana de interactuar con el agua y con los almidones reduciendo la disponibilidad de agua formando gránulos amorfos de almidón más estables (Zhang y Lim, 2020). Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de diferentes tipos de almidón, o su combinación con goma xantana, sobre las propiedades de sistemas lácteos coagulados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon muestras de almidones comerciales, almidón de trigo (Gluten y almidones industriales S.A. de C.V., México), almidón de papa (Industrias Alimentarias Fabp, S.A. de C.V., México), almidón pregelatinizado de maíz Nifragel IG (ADISA, México), y almidón modificado de papa Gelamil 100 (Industrias Alimentarias Fabp, S.A. de C.V., México), además de goma xantana (DVA mexicana, S.A. de C.V., México), las cuales fueron obtenidas de distribuidores locales. La leche fresca de vaca se trasladó al laboratorio bajo condiciones de refrigeración desde un establo local.

Temperatura de gelatinización (T_g)

10 g de cada almidón se disolvieron en 100 ml de agua destilada. Una alícuota de 50 ml se calentó (5 °C hasta 85 °C) con agitación constante hasta la formación de una pasta viscosa, reportando ese valor como la temperatura de gelatinización (Miranda-Villa, Marrugo-Ligardo y Montero-Castillo, 2013).

Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua se determinó a cada almidón utilizando 40 ml de una suspensión de almidón al 1 % (p/v) en un tubo de centrífuga de 50 ml, previamente pesado. Después de agitar constantemente, se calentó a la respectiva temperatura de gelatinización de cada almidón determinadas en el paso anterior. Después de centrifugar a $2,000 \times g$ durante 15 min, la capacidad de absorción de agua para cada almidón se calculó como el peso (g) de la muestra seca $\times 100$, entre el peso (g) del gel formado (Miranda-Villa *et ál.*, 2013).

Solubilidad y poder de hinchamiento

La suspensión de almidón al 1 % (p/v) se centrifugó a $2,000 \times g$ durante 15 min. Se prosiguió a decantar el sobrenadante y pesar los gránulos hinchados del precipitado. El sobrenadante se secó calentando a $100^\circ C$ hasta que el agua se evaporó completamente, cuidando de no quemar la muestra, pesando los gránulos secos. La solubilidad para cada almidón se calculó como el peso (g) de los sólidos del sobrenadante $\times 100$, entre el peso (g) de la muestra seca. El poder de hinchamiento para cada almidón se calculó como el peso (g) de los sólidos del sobrenadante $\times 100$, entre los gránulos hinchados del precipitado (Miranda-Villa *et ál.*, 2013).

Elaboración del sistema lácteo coagulado

Para determinar el efecto de los diferentes almidones y mezclas (almidones+xantana) sobre las propiedades del queso, se elaboró un sistema lácteo coagulado como sistema modelo, de acuerdo con la metodología reportada por Brown, Mcmanus y McMahon (2012). Los diferentes almidones (5 %, p/v) y la xantana (1 %, p/v) se dispersaron en la leche fría ($4 \pm 1^\circ C$) por agitación magnética en los respectivos lotes para cada tratamiento al menos 24 h antes de la elaboración de los quesos. Se utilizaron lotes de leche fresca de vaca de 500 ml, a los

que se agregaron 9 g de glucono-delta-lactona (Sigma Aldrich, St. Louis, USA), calentando a la respectiva temperatura de gelatinización de cada almidón, para enfriar a $35^\circ C$ y dejar incubar por 30 min, antes de añadir 500 μl de cuajo Fromase 750 (ENVE, México) diluido en proporción de 1:10. El gel-coagulo resultante fue cortado con una espátula de metal para drenar el lactosuero utilizando una malla plástica (ca. 1 mm), midiendo el volumen del desuerado. El queso obtenido fue moldeado en forma cilíndrica (5 cm diámetro), y pesado para determinar el rendimiento como porcentaje.

Sinéresis y humedad

La sinéresis del sistema lácteo coagulado se calculó sumando el suero obtenido en el corte de la cuajada y el de la pérdida de suero que presentó el queso durante un día en refrigeración a $4^\circ C$. La prueba de humedad se llevó de acuerdo con el método oficial de prueba 926.08, humedad en quesos (AOAC, 1996), secando muestras de 2 g a $100^\circ C$ durante 4 h, para reportar la diferencia de peso como porcentaje de humedad.

Análisis del perfil de textura

Las muestras de queso control (sin almidón, sin xantana), con almidón y con almidón+xantana fueron comprimidas dos veces consecutivas en un analizador de Textura Brookfield LFRA 4500 (Brookfield Engineering Laboratories, Meddleboro, USA) equipado con una celda de 4.5 kg, a un 40 % de deformación con respecto a su altura original con una placa de acrílico de 70 mm de diámetro, con un tiempo de recuperación de 5 s, a una velocidad de 1.0 mm/s. A partir de las curvas de fuerza-deformación, los parámetros de perfil de textura calculados fueron: dureza (N), es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación, adhesividad (N), es el trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie de un alimento y la superficie de otro alimento, cohesividad, fuerza interna de la muestra para conservar su forma después de la primera deformación, y resorteo, como la

velocidad a la cual la muestra deformada regresa a su estado original después de que la fuerza de deformación es removida (Szczeniak, 1963; Bourne, 1978).

Diseño experimental y análisis estadístico

Para valorar el efecto de la incorporación de los diferentes tipos de almidón, se utilizó el siguiente modelo (Ecuación 1):

$$y = \mu + \alpha + \epsilon \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde y es la propiedad del sistema coagulado (rendimiento, lactosuero liberado, sinéresis, humedad, dureza, adhesividad, cohesividad, o resorteo), μ es la media experimental, α es el efecto principal por el tratamiento, adición de almidón o almidón+xantana, sobre las propiedades del sistema, y ϵ es el término del error residual, asumiendo una distribución normal con media cero y varianza σ^2 (Der y Everitt, 2008). El efecto del modelo sobre los resultados experimentales (al menos cinco ensayos reproducibles) se determinó mediante un análisis de varianza con el comando PROC ANOVA en el programa estadístico SAS versión 9,0 y la diferencia entre medias se determinó con la prueba del rango múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades del almidón

La Figura 1 muestra los resultados de capacidad de retención de agua, solubilidad y poder de hinchamiento para cada almidón utilizado, junto con la temperatura de gelatinización (T_g) determinada. El almidón de trigo tuvo la T_g más alta (80 °C). Al ser un almidón pregelatinizado, Nifragel gelificó a baja temperatura (5 °C). La capacidad de absorción de agua de los almidones, determinada a su temperatura de gelatinización, estuvo en el rango de 1.15 % a 1.00 %. El poder de hinchamiento fue mayor para Nifragel, seguido del almidón de trigo. Finalmente, la solubilidad fue más alta para el almidón de papa, casi el doble

que el resto de los almidones utilizados. Las diferencias implícitas en estas propiedades son causadas por las diferencias en las estructuras químicas, relativas a la composición de amilosa y amilopectina, así como a diferencias en el largo de las cadenas, además de las diferencias en el tamaño de los gránulos y la organización supramolecular de los componentes del almidón durante la gelatinización (Bello-Pérez, Contreras-Ramos, Romero-Manilla, Solorza-Feria, Jiménez-Aparicio, 2002).

Las propiedades de los almidones modificados fueron cercanas a las de los almidones nativos de trigo y papa. Aquí destaca relativamente baja temperatura de gelatinización de Nifragel, que al ser un almidón pregelatinizado requiere menos temperatura para gelatinizar, teniendo así el valor más alto del poder de hinchamiento. Del mismo modo, el almidón modificado Gelamil también presenta una menor temperatura de gelatinización y mayor poder de hinchamiento y solubilidad que el almidón de papa. Los tratamientos químicos de almidones reducen el grado de cristalinidad y por ende la capacidad de interacción entre las moléculas de almidón, por el acortamiento de las cadenas de amilosa y amilopectina, incrementando su capacidad de dispersión en un medio acuoso (Pacheco de Delahay y Techeira, 2009).

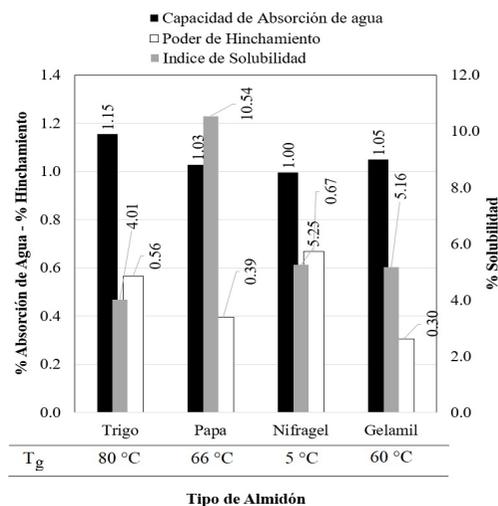


Figura 1. Propiedades de los diferentes almidones utilizados.

Rendimiento y desuerado

Los resultados de rendimiento y volumen de lactosuero liberado por cada tratamiento se presentan en la Tabla 1. Al utilizar almidón de trigo con goma xantana el rendimiento fue significativamente ($P < 0,05$) mayor. De manera general, los tratamientos que contenían xantana tuvieron mayores valores de rendimiento que el control. Para el volumen de suero liberado, los tratamientos con xantana tuvieron los valores más bajos, donde el tratamiento control tuvo los valores significativamente ($P < 0,05$) más altos.

Los almidones nativos funcionan como relleno inerte en los estadios iniciales permitiendo que las caseínas se hidraten (Mounsey y O’Riordan, 2001). La fuerte repulsión electrostática que hay entre los grupos negativamente cargados de almidón de papa y las cadenas negativamente cargadas de la xantana, hacen que las moléculas de xantana se queden en la superficie de los gránulos de almidón en lugar de penetrar en el granulo, manteniendo su forma, haciendo difícil su gelatinización y promoviendo una red de estructuras tridimensionales de almidón más estable (Cai, Hong, Gu y Zhang, 2011). Por tanto, la viscosidad del almidón de papa se reduce con hidrocoloides cargados negativamente, como la xantana (Shi y Bemiller, 2002). Esto explica la mayor capacidad de retención de agua

en el sistema lácteo coagulado, mejorando el rendimiento en los tratamientos formulados con mezclas almidón+xantana, en comparación con los tratamientos con solo almidón. Del mismo modo, al actuar como un relleno capaz de hidratarse (gránulos de almidón hinchados) que a su vez interactúan con moléculas espesantes (goma xantana) el volumen de lactosuero liberado en los tratamientos con las combinaciones almidón+xantana fue menor.

Incorporar almidón a cuajadas de leche aumentó el rendimiento en comparación con el control, debido al poder de hinchamiento de los almidones; Brown *et ál.* (2012) al utilizar 5 g/l reportan incrementos del 11 % al 28 % incorporando almidón. Los valores más altos en los tratamientos almidón-xantana se deben a que la viscosidad de estas mezclas es mayor en las primeras etapas de hinchamiento de los almidones (Christianson *et ál.*, 1981), reteniendo mayor cantidad de lactosuero. Esto mejoró la retención de agua para aumentar el rendimiento de la cuajada, con la consecuente menor cantidad de lactosuero liberado. La presencia de partículas de almidón en los geles de leche coagulada puede bloquear físicamente la contracción de la red de proteína, reduciendo la atracción entre proteínas, para que el almidón interactúe químicamente con la paracaseína dentro de la matriz proteica (Brown *et ál.*, 2012). En mezclas de almidón de papa y xantana, Choi

Tabla 1. Rendimiento y volumen de lactosuero, sinéresis y contenido de humedad de los sistemas lácteos coagulados con los diferentes almidones y xantana (XNT)

Tratamiento	Rendimiento (%)	Lactosuero (mL)	Sinéresis (mL)	Humedad (%)
Control	8,13±1,25 h*	84,2±4,25 a	421,0±3,38 a	33,71±2,3 e
Trigo	11,10±1,17 e	79,7±3,99 d	399,6±1,29 c	39,03±5,1 c
Trigo+XNT	16,44±1,79 a	69,0±4,01 f	349,0±7,60 e	52,15±1,7 a
Papa	9,88±1,00 g	83,6±3,06 b	418,0±4,22 b	36,16±4,8 d
Papa+XNT	13,51±1,88 c	66,8±3,54 g	334,0±7,60 g	45,48±1,0 b
Nifragel	9,60±1,65 g	80,5±3,33 c	401,6±2,12 c	39,55±0,8 c
Nifragel+XNT	15,34±1,02 b	69,8±3,11 f	345,0±5,07 f	44,07±7,7 b
Gelamil	10,31±1,03 f	78,8±4,19 e	394,0±6,76 d	35,83±1,5 d
Gelamil+XNT	12,70±1,45 d	62,1±4,23 h	310,6±0,48 h	46,62±0,5 b

*Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

y Yoo (2009) observaron un reforzamiento de la estructura de la red de gel, indicando que la goma xantana contribuye con la estructura del gel de almidón.

Sinéresis y humedad

Los resultados de sinéresis y humedad de los sistemas lácteos coagulados se presentan en la Tabla 1. Los tratamientos formulados con almidón y xantana liberaron menor ($P<0,05$) volumen de lactosuero 24 h después, donde el tratamiento control, sin ningún extensor, tuvo los valores más altos.

El contenido de humedad fue menor ($P<0,05$) para el tratamiento control en comparación con el resto de los tratamientos, donde las formulaciones con almidón+xantana tuvieron mayor humedad. El efecto sinérgico de la goma xantana sobre el almidón gelatinizado se debe al incremento en las propiedades elásticas de la xantana en los gránulos de almidón durante la gelatinización (Alloncle y Doublier, 1991). En suspensiones de almidón, la incorporación de agentes espesantes, como la goma xantana, incrementan la viscosidad y posiblemente afectan el hinchamiento del gránulo. El incremento de la viscosidad podría incrementarse por la mejora en la solubilidad de la goma durante el calentamiento (Christianson et al., 1981). El tratamiento térmico, generalmente incrementa el hinchamiento de los gránulos, y la

incorporación de este almidón hidratado dentro de la red de paracaseína que forma a medida que la leche se coagula aumenta el volumen de la cuajada (Brown et al., 2012).

Análisis del perfil de textura

Los geles lácteos coagulados que tuvieron los valores más altos ($P<0,05$) fueron los formulados con Gelamil, seguidos de los tratamientos con almidón de papa, y los que contenían Nifragel (Tabla 2). Los valores del resto de los tratamientos estuvieron por debajo de los valores de dureza del control. La adhesividad fue mayor ($P<0,05$) para las muestras con almidón de papa+xantana, seguidas de las que contenían almidón de trigo+xantana y Gelamil+xantana. El tratamiento sin almidones tuvo los menores valores de adhesividad.

La adición de almidón al queso procesado incrementa la dureza de los productos (Gampala y Brennan, 2008). Esto es debido a que la adición de almidón disminuye la movilidad del agua, dependiendo del tipo de almidón, o la mezcla con goma xantana. Las características del queso como la dureza están asociadas al agua libre dentro de la matriz, donde a mayor agua libre los quesos son más suaves, mientras que quesos con almidón el agua está más unida, esto es, menos libre o disponible, siendo más duros (Noronha, Duggan, Ziegler, O’Riordan y O’Sullivan, 2008). El almidón aumenta la dureza de los quesos

Tabla 2. Parámetros de textura de los sistemas lácteos coagulados con los diferentes almidones y xantana (XNT)

Tratamiento	Dureza (N)	Adhesividad (N)	Cohesividad	Resorteo
Control	6,8±0,03 i*	0,108±0,01 f	0,674±0,02 a	0,306±0,02 f
Trigo	25,5±0,04 d	0,777±0,02 c	0,438±0,03 d	0,470±0,15 c
Trigo+XNT	11,1±0,34 g	1,399±0,02 b	0,309±0,01 g	0,475±0,09 c
Papa	37,6±0,09 b	0,066±0,01 f	0,622±0,02 c	0,635±0,02 a
Papa+XNT	22,3±0,55 e	1,463±0,02 a	0,348±0,03 f	0,559±0,01 b
Nifragel	31,3±0,17 c	0,414±0,01 e	0,611±0,04 c	0,597±0,01 b
Nifragel+XNT	10,4±0,63 h	0,830±0,01 c	0,385±0,03 e	0,409±0,01 e
Gelamil	39,3±0,01 a	0,549±0,01 d	0,663±0,02 b	0,637±0,02 a
Gelamil+XNT	11,7±0,95 f	1,349±0,01 b	0,363±0,09 e	0,436±0,02 d

* Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente ($P>0,05$) diferentes por tratamiento.

actuando como refuerzo que rellena la matriz de proteína (Mounsey y O’Riordan, 2001; Mounsey, 2009). Sin embargo, la interacción entre la goma xantana y los diferentes almidones utilizados en este experimento resultaron en una estructura más dura, debido al incremento en la viscosidad de los complejos almidón-xantana que retuvieron mayor cantidad de lactosuero. Del mismo modo, una estructura más suave y con mayor humedad presentó mayor adhesividad, como en los tratamientos de almidón con xantana. Cuando se utiliza almidón en quesos, los complejos de almidón que se forman rompen las redes de proteína que normalmente están presentes, modificando la textura del producto (Noronha et al., 2008). Este efecto de reforzamiento sobre la textura de los quesos es por un efecto de relleno, donde se crean partículas más largas en vez de esféricas (Mounsey y O’Riordan, 2001), sobre todo al interactuar con la molécula cargada negativamente de la xantana.

La cohesividad de las muestras fue mayor ($P < 0,05$) para el control. Los tratamientos con almidón de trigo fueron los menos cohesivos. Por otra parte, los sistemas lácteos coagulados con almidón de papa y Gelamil tuvieron valores significativamente ($P < 0,05$) mayores que el resto de las formulaciones, donde el control fue el menos elástico (Tabla 2).

Cuando el almidón se retiene en la cuajada, esta es suave pero cohesiva (Brown *et al.*, 2012). Mounsey y O’Riordan (2001) reportaron que quesos de imitación conteniendo almidón tuvieron cohesividad menor al control. Esto es debido a una relativamente débil adhesión entre los gránulos de almidón como relleno con la matriz de proteínas coaguladas, que resulta en una interfase almidón-matriz de proteína, que reduce la cohesividad (Mounsey, 2009).

Debido a que la viscosidad de dispersiones de goma xantana muestran poca dependencia a la temperatura (Choi y Yoo, 2009), los tratamientos con este hidrocoloide fueron a su vez menos cohesivos. Esto es que independientemente de la respectiva temperatura de gelatinización,

la presencia de goma xantana en los sistemas lácteos coagulados mejoró la textura al incrementar el contenido de humedad con la consecuente menor liberación de lactosuero. La matriz proteica de caseína de quesos esta menos hidratada en la presencia de almidón, lo que aumenta las interacciones proteína-proteína e incrementa las propiedades elásticas (resorteo) de este tipo de quesos (Mounsey, 2009). A diferencia de la red de paracaseína en la cual las uniones inter- e intramoleculares se rompen y deforman, los gránulos de almidón, o de almidón+xantana, al servir como relleno contribuyen a mejorar la cohesión de estos sistemas (Mounsey y O’Riordan, 2001).

CONCLUSIONES

La incorporación de ingredientes con alta capacidad de retención de agua como los almidones con goma xantana ayudaron a mejorar el rendimiento y textura de los sistemas lácteos coagulados, utilizados como sistema modelo para la formulación de quesos procesados tipo fresco. A pesar de que los almidones modificados presentan algunas ventajas como menor temperatura de gelatinización y mayor poder de hinchamiento, a las condiciones experimentales utilizadas fueron los almidones de trigo y papa los que tuvieron mejor desempeño, sobre todo al usarse junto a la goma xantana. Por lo tanto, las diferentes mezclas de los almidones con la xantana pueden ser utilizados en la formulación de productos tipo queso con diferentes propiedades de textura.

REFERENCIAS

- Alloncle, M.; Doublier, J.-L. (1991). Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels. *Food Hydrocolloids*, 5(5), 455-467. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80104-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80104-5)
- AOAC (1996) *Association of Official Analytical Chemist. Official Methods of Analysis* (16th ed.). Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Belitz, H. D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1070 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>

- Bello-Pérez, L.A.; Contreras-Ramos, S.M.; Romero-Manilla, R.; Solorza-Feria, J.; Jiménez-Aparicio, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*, 36(2), 169-180. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236204.pdf>
- Bourne, M.C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology*, 32(7), 62-66, 72.
- Brown, K.M.; McManus, W.R.; McMahon, D.J. (2012). Starch addition in renneted milk gels: Partitioning between curd and whey and effect on curd syneresis and gel microstructure. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 6871-6881. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5191>
- Cai, X.; Hong, Y.; Gu, Z.; Zhang, Y. (2011). The effect of electrostatic interactions on pasting properties of potato starch/xanthan gum combinations. *Food Research International*, 44(9), 3079-3086. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.036>
- Choi, H.M.; Yoo, B. (2009). Steady and dynamic shear rheology of sweet potato starch-xanthan gum mixtures. *Food Chemistry*, 116(3), 638-643. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.076>
- Christianson, D.D.; Hodge, J.E.; Osborne, D.; Detroy, R.W. 1981. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum, and cellulose gum. *Cereal Chemistry*, 58, 513-517. <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1981/Documents/CC1981a152.html>
- Der, G.; Everitt, B.S. (2008). *A Handbook of Statistical Analyses using SAS*, (3rd ed.). (pp. 99-109). London: Chapman & Hall/CRC. 392 p. <https://doi.org/10.1201/9781584887850>
- Gampala, P.; Brennan, C.S. (2008). Potential starch utilisation in a model processed cheese system. *Starch-Stärke*, 60(12), 685-689. <https://doi.org/10.1002/star.200800011>
- Green, M.L.; Grandison, A.S. (1993). *Secondary (non-enzymatic) phase of rennet coagulation and post-coagulation phenomena*. En: P.F. Fox (Ed.). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, (2nd ed.) (pp. 101-140). Springer, Boston, M.A. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2650-6_4
- Kim, C.; Yoo, B. (2006). Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.002>
- Lucey, J.A. (2020). *Milk protein gels*. En: Boland, M.; Singh, H. (Eds). *Milk Proteins. From Expression to Food*. (3rd ed.). (pp. 599-632). New York: Elsevier Academic Press. 748 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00016-5>
- Lucey, J.A.; Horne, D.S. (2018). Perspective on casein interactions. *International Dairy Journal*, 85, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.010>
- Mahmood, K.; Kamilah, H.; Shang, P. L.; Sulaiman, S.; Ariffin, F.; Alias, A. K. (2017). A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Bioscience*, 19, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.05.006>
- Miranda-Villa, P.P.; Marrugo-Ligardo, Y.A.; Montero-Castillo, P.M. (2013). Caracterización funcional del almidón de frijol Zaragoza (*Phaseolus lunatus* L.) y cuantificación de su almidón resistente. *Tecnológicas*, 30, 17-32. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4469413>
- Mounsey, J.S.; O’Riordan, D. (2001). Characteristics of imitation cheese containing native or modified rice starches. *Food Hydrocolloids*, 22(6), 1160-1169. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.014>
- Mounsey, J.S. (2009). Effect of wheat starch on imitation cheese texture. *Journal of Food Technology*, 7(2), 30-33. <https://www.medwelljournals.com/abstract/?doi=jfttech.2009.30.33>
- Noronha, N.; Duggan, E.; Ziegler, G.R.; O’Riordan, D.; O’Sullivan, M. (2008). Inclusion of starch in imitation cheese: Its influence on water mobility and cheese functionality. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1612-1621. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.11.007>
- Olsen, R.L. (1989). Effects of Polysaccharides on rennet coagulation of skim milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 72(7), 1695-1700. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79283-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79283-3)
- Pacheco de Delahaye, E.; Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia*, 24(4), 280-285. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000400012
- Shi, X.; Bemiller, J.N. (2002). Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydrate Polymers*, 50(1), 7-18. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00369-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00369-1)
- Szczesniak, A.S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28(4), 385-389. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>
- Walstra, P. (1993). The Syneresis of Curd. En: P.F. Fox (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, (2nd ed.). (pp. 141-192). Springer, Boston, M.A. 601 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2650-6_5
- Zhang, C.; Lim, S.-T. (2021). Physical modification of various starches by partial gelatinization and freeze-thawing with xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 11, 106210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106210>