

Research Article

# Whey Revalorization through the Development of Spreadable Cheeses

## Revalorización del Lactosuero Mediante el Desarrollo de Quesos Untables

Agustina Delmonte\*, Juan Diego Cortez-Latorre, and Sergio Darío Rozycki

Instituto de Tecnología de Alimentos - Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe (3000), Argentina

### ORCID

Delmonte Agustina: <https://orcid.org/0000-0003-2748-8598>

II CONGRESO  
INTERNACIONAL DE  
PRODUCCIÓN PECUARIA Y  
AGROINDUSTRIAL ESPOCH  
2021 (II CEPPEA 2021)

Corresponding Author:  
Agustina Delmonte

Published: 14 June 2022

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Agustina Delmonte  
et al. This article is distributed  
under the terms of the  
Creative Commons  
Attribution License, which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

### Abstract

The whey from small cheese factories is commonly discarded or used for animal feed, altering the environment and wasting a source of nutrients that can be used as human food. Therefore, the use of byproducts and local inputs are viable alternatives for the development of marketable products, increasing the sustainability of dairy industries. The aim of this work was to develop a spreadable cheese from whey, similar to a leading brand of cheese in the Argentine market, using national ingredients. A factorial design of two factors (modified starch and gelatin) with three levels of concentration (0.5, 0.7, and 0.9%) was used. The responses evaluated were: (i) colorimetric characteristics (CIElab:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ , and  $h_{ab}$ ); (ii) textural properties: firmness, consistency, cohesiveness, and adhesiveness; and (iii) rheological properties: viscosity apparent, behavior index, consistency index, and thixotropy index. Subsequently, the control cheese was characterized, evaluating the mentioned parameters. Predictive models were obtained for each parameter studied, and through the optimization of multiple responses, the concentrations of modified starch (0.72%) and gelatin (0.64%) were determined, which allowed to obtain a spreadable cheese with similar characteristics to the control.

**Keywords:** whey, spread cheese, modified starch, gelatin.

### Resumen

El lactosuero generado por las pequeñas queserías, comúnmente es desechado o utilizado para alimentación animal, perjudicando el medioambiente y desaprovechando una fuente de nutrientes que pueden emplearse como alimento humano. Por consiguiente, el uso de subproductos e insumos locales, son alternativas viables para el desarrollo de productos comercializables, incrementando la sustentabilidad y rentabilidad de las industrias lácteas. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un queso untable a partir de lactosuero, similar a un queso marca líder en el mercado argentino (testigo), utilizando ingredientes nacionales. Para ello, se aplicó un diseño factorial de dos factores (almidón modificado y gelatina) con tres niveles (concentraciones 0,5, 0,7 y 0,9%). Las respuestas evaluadas fueron: características colorimétricas (CIElab:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$  y  $h_{ab}$ ), propiedades texturales: firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad, y propiedades reológicas: viscosidad aparente, índice de comportamiento, índice de consistencia e índice de tixotropía. Posteriormente, se caracterizó el queso testigo, midiendo los parámetros mencionados. Se obtuvieron modelos predictivos para cada parámetro estudiado, y a través de la optimización de respuestas múltiples, se determinaron las concentraciones de almidón modificado (0,72%) y gelatina (0,64%), que permitirán obtener un queso untable con características semejantes al queso untable testigo.

**Palabras Clave:** lactosuero, queso untable, almidón modificado, gelatina.

 OPEN ACCESS



## 1. Introducción

El lactosuero se define como la fracción de la leche de cualquier especie que no precipita debido a la acción del cuajo o de los ácidos durante el proceso de elaboración de quesos, y que contiene componentes de alto valor nutricional (aproximadamente el 50% de los nutrientes de la leche original) [1,2]. Tradicionalmente, se lo consideraba como un elemento no deseable, de escaso interés y de alto costo de eliminación, por lo que la práctica más común ha sido sencillamente verterlo en los cursos de agua, lo que es muy perjudicial desde el punto de vista ambiental ya que alcanza valores de DQO y  $\text{DBO}_5$  de 60-80 y 30-50  $\text{kg m}^{-3}$ , respectivamente; fuerza contaminante equivalente a la de las aguas negras producidas en un día por aproximadamente 500 personas [3, 4, 5].

Las grandes empresas han podido aprovecharlo y hoy en día, a través de tecnologías de membranas y secado, se obtienen varios derivados como suero en polvo, suero en polvo desmineralizado, concentrados de proteína de suero (WPC), aislados de proteína de suero (WPI) y lactosa de grado alimenticio, para lo cual se requiere de grandes volúmenes de suero (300,000-600,000 L/día) y de costosas inversiones en instalaciones y equipos; no obstante, las micro y pequeñas industrias queseras destinan el lactosuero para alimentación animal, lo desechan o lo utilizan para riego de campos cultivados, desperdiciando una importante fuente de macro y micronutrientes que pueden emplearse como alimento humano, perjudicando el medioambiente y salinizando los suelos afectando la actividad agrícola [4, 5]. Por otro lado, algunas queserías recurren a la producción de ricota, aprovechando solamente las propiedades nutricionales de las proteínas, no así sus propiedades funcionales debido a la desnaturalización por parte del proceso y, además, aparece un residuo que es el suero de ricota, el cual es altamente contaminante por su aporte en carga orgánica [5, 6].

De acuerdo al Código Alimentario Argentino [2], el suero puede utilizarse como materia prima para la elaboración de otros productos alimenticios, pero deberá ser pasteurizado o esterilizado, antes o durante su procesamiento, abriendo así la posibilidad de utilizar suero y derivados como un ingrediente para elaborar otros alimentos.

Desde hace algunos años se ha visto una tendencia creciente en la producción de quesos untables, es decir, quesos de muy alta humedad que se caracterizan por tener la capacidad de extenderse fácilmente cuando se someten a un esfuerzo cortante, ser blandos, no madurados, sin corteza, de sabor ligeramente ácido y de una coloración que va del blanco al amarillo claro [7,8]. Existen distintos procesos productivos para la elaboración de quesos untables, uno de los cuales consiste en mezclar materias primas, principalmente agua, grasa y proteínas, para formar una masa



homogénea, que, al aplicársele energía mecánica, proporciona un queso análogo al obtenido por coagulación [9, 10]. Además, cabe destacar que el queso untable análogo obtenido no es inferior desde el punto de vista nutricional respecto al queso producido por coagulación [11]. Por otro lado, es importante señalar que este tipo de proceso productivo presenta numerosas ventajas, entre las cuales se destacan menores costos en comparación con el queso natural o procesado, simplicidad de fabricación y capacidad de formularse a partir de materias primas en polvo, y según los requerimientos nutricionales de grupos con necesidades dietéticas especiales [8, 12].

Varios reportes proponen la utilización de diversas gomas como estabilizantes de quesos unttables; no obstante, el uso de almidón modificado y gelatina, hidrocoloides producidos en grandes cantidades en Argentina, vislumbra una alternativa más económica y accesible [13, 14, 15]. Además, Simionescu et al. [16], evaluaron sistemas mixtos de almidón y gelatina, llegando a la conclusión que es posible obtener geles con grandes variedades texturales, siendo aptos para la preparación de diferentes tipos de alimentos.

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo desarrollar una alternativa orientada principalmente a las micro y pequeñas industrias queseras y artesanos, que aumente la rentabilidad del suero y la sustentabilidad de las empresas, a través de su utilización como materia prima en la elaboración de quesos unttables. Para ello, será necesario estudiar el efecto de dos hidrocoloides producidos en Argentina (gelatina y almidón modificado) sobre las propiedades reológicas, texturales y colorimétricas de los quesos unttables, y optimizar las variables estudiadas de manera de obtener un producto con características que se asemejen a las de un producto marca líder en el mercado argentino.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Caracterización queso untable testigo

En primer lugar, se evaluaron las propiedades reológicas, texturales y colorimétricas del queso untable testigo. Posteriormente, estas mismas respuestas fueron medidas a los quesos unttables elaborados a base de lactosuero, de acuerdo a las metodologías descritas en los puntos 2.4, 2.5 y 2.6, respectivamente.



## 2.2. Diseño experimental

Para realizar los ensayos se utilizó un diseño factorial multinivel de dos factores (almidón modificado y gelatina) con tres niveles (concentraciones: 0,5%, 0,7% y 0,9% de cada uno). En ese sentido, se llevaron a cabo nueve elaboraciones de quesos untables, repitiendo el centro una vez. De esta manera se estudió el efecto de la concentración de ambos hidrocoloides sobre las propiedades reológicas, texturales y colorimétricas, las cuales fueron analizadas al día 14 de la elaboración, considerando un tiempo promedio de consumo.

## 2.3. Proceso de producción

En primer lugar, para obtener 2700g de producto, se pesó y se rotuló 700-800g de crema de leche (comercial), 75-125g de suero en polvo desmineralizado (DEMI 40, Lácteos La Cristina SA), 1300-1700g de agua, 120-170g de leche en polvo entera (Milkaut SA, SanCor), 60-80g de leche en polvo descremada (Milkaut SA, SanCor), 60-80g de WPC-35 (Milkaut SA) y cantidades variables de gelatina (PB Leiner) y almidón modificado (Glutal SA) según el diseño experimental. Luego, se incrementó progresivamente la temperatura hasta alcanzar 75°C durante 5 minutos con agitación constante. Posteriormente se enfrió y se añadió sorbato de potasio ( $C_6H_7KO_2$ ), cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ) y ácido láctico hasta alcanzar un pH de  $5,1 \pm 0,1$ . A continuación, se realizó la homogeneización del queso utilizando un homogeneizador de válvulas a baja presión y, por último, se procedió al envasado en envases plásticos para finalmente almacenar el producto a una temperatura de 5-6°C.

## 2.4. Análisis reológico

El ensayo reológico se realizó a 10°C, utilizando un viscosímetro rotacional, modelo Rheolab QC (Anton Paar, Austria), con geometría de medición de cilindros concéntricos CC27/SS/QC-LTD, que permitió obtener los valores experimentales de viscosidad aparente ( $\mu_a$ ), esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y gradiente de deformación ( $\dot{\gamma}$ ). Posteriormente se realizaron los diagramas de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) vs gradiente de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), variando este último en forma ascendente de 0 a  $200s^{-1}$  y descendente de 200 a  $0s^{-1}$ . Luego, a partir de los modelos de Casson modificado (1) y Herschel y Bulkley (2) se determinaron los siguientes parámetros reológicos: viscosidad a gradientes de deformación de  $50s^{-1}$  ( $\mu_{50}$ ), viscosidad de Kokini,  $100s^{-1}$  ( $\mu_{100}$ ),  $150s^{-1}$  ( $\mu_{150}$ ) y  $200s^{-1}$



( $\mu_{200}$ ), índice de consistencia (K), índice de comportamiento (n) e índice de tixotropía (IT) como el área entre la curva ascendente y descendente.

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K_c \times \dot{\gamma}^{0,5} \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + K \times \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

## 2.5. Análisis textural

Las propiedades texturales de los quesos untables se evaluaron mediante un ensayo de penetración, utilizando un texturómetro TA.XT Plus Stable Microsystem (Godalming, Surrey, Reino Unido), equipado con una sonda cilíndrica de 10 mm de diámetro (P/10).

Las distintas muestras se analizaron por triplicado. La distancia de penetración fue de 30mm, a una velocidad de 1mm/s, registrándose la fuerza de penetración durante el desplazamiento del extremo de la sonda. De esta manera se obtuvieron las curvas de fuerza (g) vs tiempo (s), correspondientes a cada muestra, usando el software específico del analizador de textura (Exponent Texture Analyser software v. 6.1.4.0, Stable Micro Systems, R.U.). A partir de cada curva, se calculó la firmeza, consistencia, adhesividad y cohesividad, según Liu, Xu y Guo [17].

## 2.6. Análisis colorimétrico

La medición del color se realizó utilizando un colorímetro Minolta CM 508-d a 10° de ángulo del observador con iluminante D65. La determinación se realizó en las 10 muestras y se evaluaron los parámetros de acuerdo al sistema CIE L\*, a\* y b\*.

En lo que respecta al ángulo de tono ( $h_{ab}$ ) (3) y croma ( $C_{ab}^*$ ) (4), fueron calculados a partir de los valores de L\*, a\* y b\* aplicando las siguientes ecuaciones [18]:

$$h_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

## 2.7. Análisis estadístico

Se estableció un modelo matemático de segundo orden, para cada respuesta ( $y_{ki}$ ), en relación a las dos variables independientes (codificadas) a estudiar, que permitió predecir y describir el comportamiento de los sistemas. La ecuación propuesta para los modelos fue:

$$y_{ki} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + E_{12} \quad (5)$$



En donde:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$  son los coeficientes del modelo,  $y_{ki}$  las respuestas analizadas,  $X_1$  y  $X_2$  las concentraciones de los hidrocoloides estudiados y  $E_{12}$  el error del modelo.

El análisis cuali-cuantitativo de los coeficientes lineales ( $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) permitió determinar la influencia de la concentración de cada hidrocoloide sobre cada respuesta, y el análisis de la interacción ( $\beta_{12}$ ) si ésta es antagónica o sinérgica.

Una vez desarrollados los modelos matemáticos para cada respuesta ( $y_{ki}$ ), se determinaron las condiciones de formulación más adecuadas para lo cual se utilizó la metodología de optimización de repuestas múltiples, que permite la optimización simultánea de las respuestas estudiadas, y permite determinar los valores de los factores experimentales (concentración de almidón y gelatina) que satisfacen las características deseadas para más de una respuesta, simultáneamente [19].

En este trabajo se adoptaron como valores deseables los obtenidos como respuestas en los análisis del queso untable testigo (primera marca del mercado argentino). Esto se hace por la construcción de la función 'Deseabilidad', basada en los valores de las variables respuesta, ( $y_{ki}$ ), la cual se maximiza, minimiza y/o se adopta un valor objetivo [20].

Para combinar las deseabilidades de las distintas respuestas, se creó una sola función compuesta  $D$  de Deseabilidad. Se definió un coeficiente de impacto  $I_j$  para cada respuesta, donde:  $1 \leq I_j \leq 5$ ; el valor más alto de  $I_j$ , corresponde a la respuesta con máxima influencia. La función Deseabilidad global  $D$  entonces se definió como el producto de las Deseabilidades individuales elevada al coeficiente de impacto:

$$D = (d_1^{I_1} \cdot d_2^{I_2} \dots d_m^{I_m})^{I_j} \quad (6)$$

Un valor  $D$  (Deseabilidad global) diferente de cero implica que todas las respuestas están simultáneamente en un rango deseable; para un valor de  $D$  cercano a 1, la combinación de los diferentes criterios es globalmente óptima.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Efecto de la concentración de gelatina y almidón modificado sobre los parámetros reológicos de los quesos unttables

Los valores promedio de los resultados experimentales obtenidos para la viscosidad, a gradientes de deformación 50, 100, 150 y 200s<sup>-1</sup>, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía se presentan en la Tabla 1.



Se obtuvieron modelos con falta de ajuste no significativa para la viscosidad a gradientes de deformación 50, 100, 150 y 200 s<sup>-1</sup>, índice de comportamiento e índice de tixotropía (Tabla 2 y 7). Además, se observó que ninguno de los factores a los niveles estudiados tuvo efecto estadísticamente significativo sobre el índice de consistencia.

Respecto a la viscosidad aparente, se observó que la concentración de gelatina influye directamente sobre la viscosidad a distintos gradientes de deformación. En las gráficas de superficie de respuesta (Figura 1), se observa que  $\mu_{50}$ ,  $\mu_{100}$ ,  $\mu_{150}$  y  $\mu_{200}$  se incrementan a medida que aumenta la concentración de gelatina hasta alcanzar un máximo cuando la concentración de ambos hidrocoloides es 0,9%, en el espacio tecnológico estudiado.

Los modelos obtenidos evidenciaron que la gelatina es el hidrocoloide que gobierna la viscosidad aparente del producto. Esto coincide con lo esperado ya que los hidrocoloides son biopolímeros hidrófilos de peso molecular elevado, con la capacidad de hidratarse en gran medida en contacto con el agua, produciendo sistemas coloidales de diferentes estructuras, aumentando significativamente la viscosidad del sistema y mejorado la textura [21]. Además, la gelatina interacciona con las caseínas a través de la formación de puentes que generan una red continua y bastante homogénea, lo que refuerza la firmeza (que se observa en los mayores valores de viscosidad) [22].

En cuanto al índice de comportamiento, se observó que únicamente el almidón tuvo efecto estadístico significativo (Tabla 2), influyendo directamente sobre la respuesta, es decir, el índice de comportamiento aumenta a medida que se incrementa la concentración de almidón. Sus valores cercanos a 0 (Tabla 1), indican que los quesos untables se comportan fuertemente como fluidos No Newtonianos [23], no obstante, la gelatina es el hidrocoloide que gobierna el sistema.

En lo que concierne al índice de tixotropía, se observó que la concentración de gelatina influye directamente sobre el mismo, al igual que la interacción entre ambos hidrocoloides. En la gráfica de superficie de respuesta se puede visualizar que el IT se incrementa a medida que aumenta la concentración de gelatina, alcanzando un valor máximo de 44,586 cuando las concentraciones de gelatina y almidón son 0,9% (Figura 2). El IT disminuye a medida que la concentración de ambos hidrocoloides es menor, debido a que los hidrocoloides generan una pseudo-estructura resistente ficticia la cual incrementa con la concentración de hidrocoloides, pero al ser sometida a un esfuerzo de cizalla se debilita, generando así una histéresis menor entre la curva superior e inferior, cuando la cantidad de hidrocoloides se reduce [24].



### 3.2. Efecto de la concentración de gelatina y almidón modificado sobre los parámetros texturales de los quesos untables

Los valores promedio de los resultados experimentales obtenidos para los parámetros texturales se presentan en la Tabla 3.

Se obtuvieron modelos con falta de ajuste no significativa para los parámetros texturales: firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad (Tabla 4 y 7).

Para la firmeza se observó que tanto el almidón como la gelatina influyen directamente sobre la respuesta, siendo la concentración de gelatina el término más significativo con aproximadamente el doble de influencia. Al analizar las gráficas de superficie de respuesta, se observa que la firmeza y consistencia presentan prácticamente el mismo comportamiento, es decir, las respuestas se incrementan a medida que aumenta la concentración de gelatina hasta un valor máximo de 176g y 4000g.s respectivamente, cuando la concentración de ambos hidrocoloides es 0,9% (Figura 3).

En cuanto a la cohesividad y adhesividad, también se observó un comportamiento similar. La gelatina resultó estadísticamente significativa, influyendo en forma directa sobre el valor absoluto de las respuestas. Al analizar las gráficas de superficie de respuesta, se observa que la cohesividad y adhesividad se incrementan (crecen en valor absoluto) a medida que aumenta la concentración de gelatina hasta un valor máximo de -100g y -231g.s respectivamente, cuando la concentración de ambos hidrocoloides es 0,9% (Figura 3).

Los resultados obtenidos muestran que la gelatina es el hidrocoloide que gobierna la textura del producto; al aumentar su concentración, se incrementa la firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad (ambas en valor absoluto) de los quesos untables. Este comportamiento puede deberse a la capacidad de la gelatina de conferir una matriz microscópicamente más densa, altamente ramificada y con un interior con pocas celdas de aire, formando una red dentro de la micela de caseína y generando una estructura más firme y consistente [25].

En lo que respecta a la cohesividad, sucedió lo esperado ya que al aumentar la concentración de gelatina se incrementa la densidad de reticulación en la red, de lo cual depende la cohesividad [25]. Dicho de otra manera, cuanto mayor es la fuerza de los enlaces internos, más cohesivo es el producto [26].

Por último, se observó que, al aumentar la concentración de almidón, se incrementa la firmeza de los quesos untables. Estos resultados pueden explicarse considerando que la adición de almidones en quesos procesados modifica sus características reológicas, a causa del incremento de las interacciones de las proteínas y de la grasa con el almidón, aumentando su firmeza en función de la concentración adicionada [27]. Además, el



aumento de la firmeza puede ser consecuencia de la retrogradación del almidón, que da como resultado la formación de una estructura cristalina ordenada con mayor rigidez [28].

### 3.3. Efecto de la concentración de gelatina y almidón modificado sobre el color de los quesos untables

Los valores promedio de los resultados experimentales obtenidos para los parámetros colorimétricos se presentan en la Tabla 5.

Se obtuvieron modelos con falta de ajuste no significativa para la luminosidad ( $L^*$ ), parámetro  $b^*$ , croma ( $C^*_{ab}$ ) y tono ( $h_{ab}$ ) (Tabla 6 y 7). Además, se observó que ninguno de los factores en los niveles estudiados tuvo efecto significativo sobre el parámetro  $a^*$ , obteniéndose un valor promedio de 0,12. Al ser este valor positivo, indica una leve tendencia hacia colores rojizos, sin embargo, por ser muy próximo a 0, es probable que no sea percibido sensorialmente.

Para la luminosidad y tono se observó que la interacción almidón-gelatina y los términos lineales de almidón y gelatina resultaron significativos, siendo el primero el término más significativo. Al analizar la interacción entre ambos hidrocoloides se notó que, para concentraciones bajas de almidón, se obtienen valores altos de luminosidad y tono, influyendo la gelatina muy poco sobre dichos parámetros. Por el contrario, a concentraciones altas de almidón, la luminosidad y tono disminuyeron considerablemente a medida que aumentó la concentración de gelatina. En las gráficas de superficie de respuesta se observa que los valores máximos de luminosidad y tono (90) se lograron al trabajar con 0,5% de almidón y 0,9% de gelatina (Figura 4). Sin embargo, todos los quesos presentaron valores altos de luminosidad, entre 88 y 90 (Tabla 5), y en los modelos obtenidos, se evidenció que la gelatina y el almidón no difieren marcadamente en la influencia sobre las respuestas. Estos resultados coinciden con lo esperado ya que estudios anteriores demostraron que el almidón es utilizado en productos lácteos, al exhibir elevados valores de luminosidad y por no provocar cambios de color perceptibles sensorialmente [29]. En lo que respecta a la gelatina, se observó que al aumentar su concentración se produce una disminución significativa del parámetro  $L^*$  y un aumento significativo de  $b^*$  [30].

En lo que respecta al parámetro de color  $b^*$  y croma, se observó que la interacción almidón-gelatina y el almidón influyen directamente sobre las respuestas, siendo la interacción almidón-gelatina el término más significativo. Al analizar la misma, se observó que, para concentraciones bajas de almidón, se obtienen valores más bajos de las respuestas, influyendo la gelatina muy poco sobre estas. Por el contrario, a



concentraciones altas de almidón,  $b^*$  y croma aumentaron considerablemente a medida que se incrementó la concentración de gelatina. En las gráficas de superficie de respuesta se puede ver que las respuestas aumentan a medida que se incrementa la concentración de almidón, hasta un máximo de 18,7, cuando la concentración de ambos hidrocoloides es 0,9 % (Figura 4). Además, todos los quesos presentaron un tono ligeramente amarillo ya que los valores de  $b^*$  obtenidos fueron positivos.

### 3.4. Optimización

El valor máximo de deseabilidad obtenido fue de 0,6 y las concentraciones de almidón y gelatina requeridas para alcanzar las condiciones óptimas fueron 0,66% y 0,68% respectivamente. Es decir, los necesarios para obtener un producto con características reológicas, texturales y de color semejante al de un queso untable de marca líder en el mercado argentino.

**Table 1**

*Valores promedio de viscosidad aparente, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía en función de las concentraciones de gelatina y almidón (codificadas).*

Variables Independientes		Respuestas						
Almidón	Gelatina	$\mu_{50}$ (cP)	$\mu_{100}$ (cP)	$\mu_{150}$ (cP)	$\mu_{200}$ (cP)	K	n	IT
0	0	5752	2198	1257	842	750	-0,21	29,065
1	1	11,000	4183	2393	1651	714	-0,10	43,482
1	0	6861	2718	1729	1277	969	-0,26	31,565
0	1	10,871	4026	2461	1764	988	-0,22	44,899
1	-1	4457	1750	1066	774	435	-0,20	19,760
0	-1	2120	917	586	430	207	-0,16	17,069
-1	0	6344	2628	1620	1144	803	-0,34	33,809
-1	-1	3785	1517	954	702	607	-0,30	9481
-1	1	4998	2040	1162	864	721	-0,28	21,242

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $50s^{-1}$ ;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $100s^{-1}$ ;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $150s^{-1}$ ;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $200s^{-1}$ ; K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía.

## 4. Conclusiones

1. La gelatina es el hidrocoloide que gobierna la textura y reología del producto; al aumentar su concentración, se incrementa la firmeza, consistencia, cohesividad, adhesividad, viscosidad aparente e índice de tixotropía de los quesos untables.

**Table 2**

*Análisis de varianza para la viscosidad aparente, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía.*

Fuente de variación	G.L.	Suma de Cuadrados						
		$\mu_{50}$ (cP)	$\mu_{100}$ (cP)	$\mu_{150}$ (cP)	$\mu_{200}$ (cP)	K	n	IT
A: Almidón	1	1,3E <sup>7</sup>	970,762	340,033	207,961	26	0,1*	4,5E <sup>7</sup>
B: Gelatina	1	8,8E <sup>7***</sup>	7,8E <sup>6**</sup>	2,2E <sup>6**</sup>	1,0E <sup>6**</sup>	229,625	0,0	1,4E <sup>9***</sup>
AA	1	78,337	86,106	53,880	30,275	11,812	0,0	1,4E <sup>7</sup>
AB	1	1,6E <sup>7</sup>	1,1E <sup>6</sup>	348,255	153,517	6713	0,0	3,1E <sup>8*</sup>
BB	1	22,910	52,048	33,466	785	110,604	0,0	2,8E <sup>7</sup>
Falta de ajuste	3	1,9E <sup>7</sup>	1,7E <sup>6</sup>	767,042	377,049	143,214	0,0	5,2E <sup>8</sup>
Error puro	11	2,5E <sup>7</sup>	894,396	279,962	85,503	5000	0,0	2,9E <sup>8</sup>
Coef. Determinación (R <sup>2</sup> )		73,7%	81,8%	73,4%	75,5%	70,2%	72,6%	68%

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 50s<sup>-1</sup>;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 100s<sup>-1</sup>;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 150s<sup>-1</sup>;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 200s<sup>-1</sup>; K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía.

**Table 3**

*Valores promedio de la firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad en función de las concentraciones de gelatina y almidón (codificadas).*

Variables Independientes		Respuestas			
Almidón	Gelatina	Firmeza (g)	Consistencia (g.s)	Cohesividad (g)	Adhesividad (g.s)
0	0	95,1	2264,9	-58,4	-145,3
1	1	162,1	3644,7	-96,8	-231,3
1	0	158,5	3813,6	-94,8	-212,9
0	1	175,7	4045,1	-95,7	-221,8
1	-1	78,8	1860,6	-55,3	-127,6
0	-1	68,1	1586,8	-43,7	-100,3
-1	0	114,1	2531,5	-100,3	-214,6
-1	-1	67,1	1454,7	-56,4	-121,7
-1	1	112,2	2706,6	-64,6	-152,1

La concentración de almidón también influyó sobre la firmeza, pero en menor magnitud.

- Se evidenció que los quesos untables a base de lactosuero son semisólidos no Newtonianos, debido a que exhiben una curva de esfuerzo de corte no lineal ( $n \neq 1$ ), tanto en función de la magnitud como del tiempo de aplicación del gradiente de deformación.

**Table 4**

*Análisis de varianza para la firmeza, consistencia, cohesividad y adhesividad.*

Fuente de variación	G.L.	Suma de Cuadrados			
		Firmeza (g)	Consistencia (g.s)	Cohesividad (g)	Adhesividad (g.s)
A: Almidón	1	2183,4*	1,3E <sup>6</sup>	155,9	1484,8
B: Gelatina	1	9811,9**	5,4E <sup>6**</sup>	1935,9*	12,537**
AA	1	75,2	27,231	765,1	3180,7
AB	1	438,3	60,952,9	276,9	1349,4
BB	1	194,9	156,054	439,7	1595,9
Falta de ajuste	3	2882,6	1,5E <sup>6</sup>	1356	4922,5
Error puro	19	585,2	415,501	478,6	2599,4
Coef. Determinación (R <sup>2</sup> )		73,7%	79,8%	78,6%	72,9%

**Table 5**

*Valores promedio de luminosidad, parámetros de color a\* y b\*, croma y tono en función de las concentraciones de gelatina y almidón (codificadas).*

Variables Independientes		Respuestas				
Almidón	Gelatina	L*	a*	b*	C* <sub>ab</sub>	h <sub>ab</sub>
0	0	88,8	0,1	17,2	17,2	89,1
1	1	88,5	0,4	18,6	18,6	88,6
1	0	88,9	0,3	16,7	16,7	88,9
0	1	89,4	0,1	17,3	17,3	89,4
1	-1	90,1	0,0	16,9	16,9	90,1
0	-1	89,8	0,0	16,1	16,1	89,9
-1	0	89,2	0,3	17,2	17,2	89,3
-1	-1	89,7	0,0	16,7	16,7	89,8
-1	1	90,2	0,0	15,6	15,6	90,3

L\*: Luminosidad; C\*<sub>ab</sub>: Croma; h<sub>ab</sub>: Tono.

3. Todos los quesos se caracterizaron por tener altos valores de luminosidad y tono ligeramente amarillo.
4. El diseño experimental planteado, y la metodología de análisis estadístico de los datos experimentales aplicada, resultaron útiles para evaluar el comportamiento de las diferentes respuestas estudiadas en función de las variables utilizadas. Se obtuvieron modelos matemáticos que permitieron predecir y describir el comportamiento de los sistemas en el espacio tecnológico estudiado. Así mismo, se pudieron optimizar las formulaciones a través de la función de Deseabilidad con el fin de obtener quesos untables a base de lactosuero con características similares



**Table 6**

*Análisis de varianza para la luminosidad, parámetros de color a\* y b\*, croma y tono.*

Fuente de variación	G.L.	Suma de Cuadrados				
		L*	a*	b*	C <sub>ab</sub> *	h <sub>ab</sub>
A: Almidón	1	2,8***	0,0	5,6**	5,6**	3,9***
B: Gelatina	1	2,1***	0,0	1,6	1,7	2,8***
AA	1	0,1	0,0	1,3	1,3	0,0
AB	1	6,9***	0,0	6,9***	7,0***	8,0***
BB	1	6,3***	0,0	0,6	0,6	5,7***
Falta de ajuste	3	0,4	0,0	2,7	2,7	0,3
Error puro	90	8,3	0,0	11,8	11,8	2,9
Coef. Determinación (R <sup>2</sup> )		73,7%	71,9%	87,5%	71,5%	71,7%

L\*: Luminosidad; C<sub>ab</sub>\*: Croma; h<sub>ab</sub>: Tono.

**Table 7**

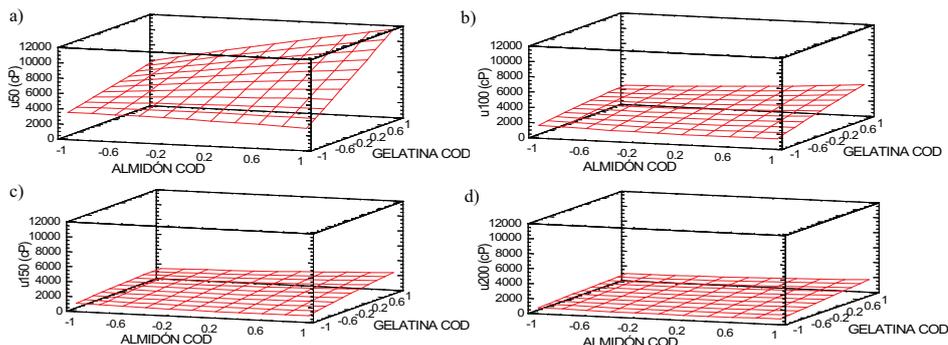
*Modelos matemáticos obtenidos para los parámetros reológicos, texturales y colorimétricos.*

Modelos matemáticos
$\mu_{50} = 6061 + 1228.AM + 2883.G + 1530.AM.G$
$\mu_{100} = 2451 + 319.AM + 1011.G + 451.AM.G$
$\mu_{150} = 1484 + 199.AM + 573.G + 272.AM.G$
$\mu_{200} = 1053 + 150.AM + 367.G$
$IT = 26,051,8 + 2095,6.AM + 11,358,7.G + 6790,7.AM.G$
$Firmeza = 110 + 19.AM + 36.G$
$Consistencia = 2570 + 445.AM + 837.G$
$Cohesividad = -63 - 5.AM - 17.G - 16.AM^2$ Adhesividad = $-149 - 16.AM - 44.G - 29.AM^2$
$L^* = 88 - 0,3.AM - 0,2.G - 0,5.AM.G + 0,7.G^2$
$b^* = 16 + 0,5.AM + 0,4.G + 0,8.AM.G$
$C_{ab}^* = 16 + 0,6.AM + 0,4.G + 0,8.AM.G$
$h_{ab} = 88 - 0,3.AM - 0,2.G - 0,5.AM.G + 0,7.G^2$

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 50s<sup>-1</sup>;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 100s<sup>-1</sup>;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 150s<sup>-1</sup>;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 200s<sup>-1</sup>; IT: Índice de tixotropía; L\*: Luminosidad; C<sub>ab</sub>\*: Croma; h<sub>ab</sub>: Tono.

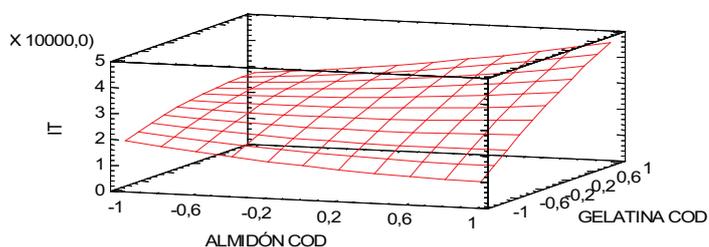
a las de un queso de consumo masivo y de primera marca del mercado argentino (testigo).

- La investigación realizada, demostró que la elaboración de quesos untables a base de lactosuero utilizando almidón modificado y gelatina como hidrocoloides, resulta una alternativa viable principalmente para las micro y pequeñas industrias queseras, que permite aumentar su sustentabilidad y rentabilidad a través de la



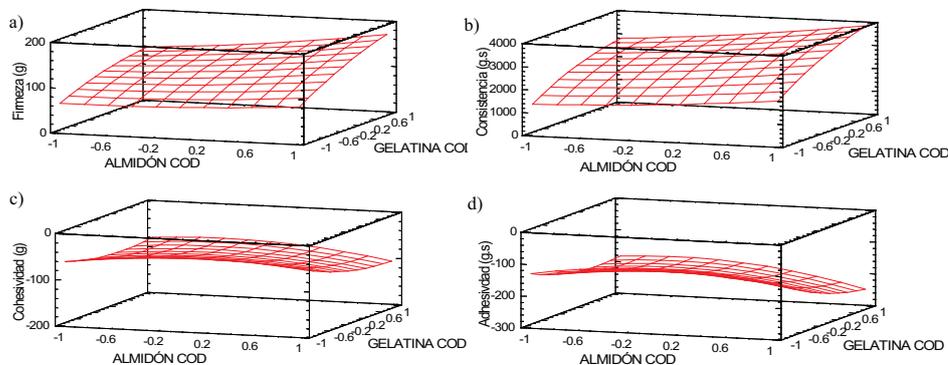
**Figure 1**

Gráficas de superficie de respuesta estimada para la viscosidad aparente de quesos untables a base de lactosuero, a diferentes gradientes de deformación a)  $50\text{ s}^{-1}$ , b)  $100\text{ s}^{-1}$ , c)  $150\text{ s}^{-1}$  y d)  $200\text{ s}^{-1}$  en función de la concentración de gelatina y almidón.



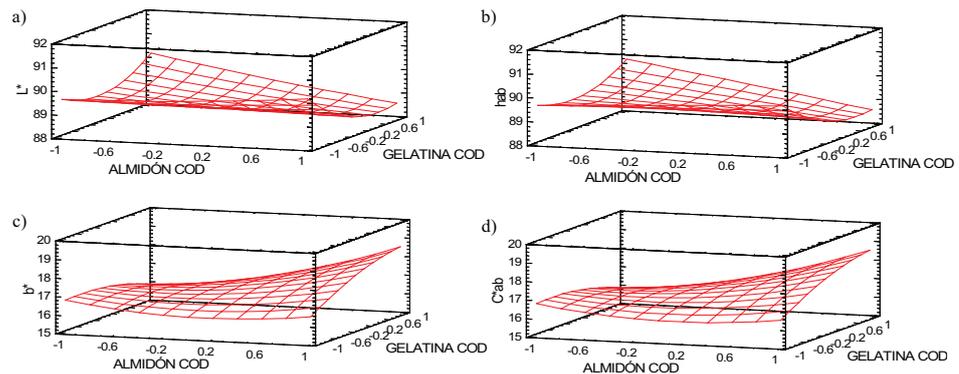
**Figure 2**

Gráfica de superficie de respuesta estimada para el índice de tixotropía de quesos untables a base de lactosuero en función de la concentración de gelatina y almidón.



**Figure 3**

Gráficas de superficie de respuesta estimada para la a) firmeza, b) consistencia, c) cohesividad y d) adhesividad de quesos untables a base de lactosuero en función de la concentración de gelatina y almidón.



**Figure 4**

Gráficas de superficie de respuesta estimada para la a) luminosidad, b) tono, c) parámetro de color  $b^*$  y d) cromas de quesos untables a base de lactosuero en función de la concentración de gelatina y almidón.

revalorización del suero como materia prima, evitando el impacto ambiental que genera su vuelco y aprovechando los macro y micronutrientes que posee.

6. El producto presenta un muy elevado valor agregado y puede elaborarse a partir de materias primas sólidas, en regiones con poco o nulo desarrollo lácteo.

## 5. Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Litoral, en especial al Instituto de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y sus diferentes áreas, principalmente a quienes conforman el área de Leche y Productos Lácteos.

A las industrias: 'Lácteos La Cristina SA', 'Milkaut SA', 'SanCor', 'PB Leiner' y 'Glutal SA' por proveer las materias primas necesarias para la formulación de los quesos untables a base de lactosuero.

## References

- [1] Pirola MB, Paez R, Massera A. Aplicación biotecnológica del lactosuero para alimentación animal. Lácteos Informa. 2015;7:3.
- [2] Guajardo C. Código alimentario Argentino. Buenos Aires. ANMAT; 2020.
- [3] Schaller A. Sueros de lechería. Revista Alimentos Argentinos. 2009;44:20-24.
- [4] Chanfrau JM, Pérez J, Fiallos MV, Intriago LM, Toledo LE, Guerrero MJ. Valorización del suero de leche: Una visión desde la biotecnología. Bionatura. 2017;2:468-476.



- [5] .González M, Juliano P, López T et al. Valorización del lactosuero. 1st ed. Muset G, Castelles ML, editors. Argentina: Ediciones INTI; 2017.
- [6] .Terán JC, Paez R, Pirola MB, Schmidt E. Características generales sobre el uso del suero de queso en la provincia de Santa Fe. Argentina: INTI-INTA; 2012.
- [7] .Hernández S. Elaboración de un manual de procesos y productos de una industria del queso [Tesis de maestría]. Ingenierías Agrarias, Palencia. Universidad de Valladolid. España, 2016.
- [8] .Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, McSweeney PLH. Fundamentals of cheese science. 2nd ed. Nueva York: Springer; 2017.
- [9] .Chavan RS, Jana A. Cheese substitutes: An alternative to natural cheese - A review. *Int. J. of Food Science, Technology & Nutrition*, Vol. 2. 2007;2:25-39.
- [10] .Chaparro J, Valencia JU, Molina DA. Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2015;68:7545-7555.
- [11] .Guinee TP, Caric M, Kaláb M. Cheese: Chemistry, physics and microbiology. 3rd ed. Fox PF, McSweeney PLH, Cogan TM, Guinee TP, editors. Londres: Elsevier Ltd; 2004.
- [12] .Bachmann HP. Cheese analogues: A review. *International dairy journal*. 2001;11:505-515.
- [13] .Joyner MHS, Damiano H. Influence of various hydrocolloids on cottage cheese cream dressing stability. *International Dairy Journal*. 2015;51:24–33.
- [14] .Brighenti M, Govindasamy-Lucey S, Jaeggi JJ, Johnson ME, Lucey JA. Behavior of stabilizers in acidified solutions and their effect on the textural, rheological, and sensory properties of cream cheese. *Journal of Dairy Science*. 2020;103:2065-2076.
- [15] .Yousefi M, Jafari SM. Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;88:468-483.
- [16] .Simionescu B, Ibanescu SA, Danu M, Rotaru I, Ibanescu C. Rheology of gelatin - starch systems. Influence of system composition. *Revista de Chimie*. 2013;64:909-913.
- [17] .Liu H, Xu XM, Guo SD. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*. 2007;40:946-954.
- [18] .Macdougall D. Colour Measurement. Gulrajani ML, editor. Cambridge. Woodhead Publishing; 2010.
- [19] .Derringer G, Suich J. Simultaneous optimization of several response variables. *J. Qual. Technological Science* 1980;12:214-219.



- [20] .Statgraphics. Diseño de experimentos - Optimización de múltiples respuestas. Manual STATGRAPHICS Centurion XV. Estados Unidos: StatPoint Technologies, Inc; 2006.
- [21] .Perduca MJ, Spotti MJ, Santiago LG, Judis MA, Rubiolo AC, Carrara, CR. Rheological characterization of the hydrocolloid from gleditsia amorphoides seeds. LWT-Food Science and Technology 012;51:143-147.
- [22] .Fizman SM, Lluch MA, Salvador A. Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. International dairy journal, 1999;9:895-901.
- [23] .Pang B, Wang S, Chen W, Hassan M, Lu H. Effects of flow behavior index and consistency coefficient on hydrodynamics of power-law fluids and particles in fluidized beds. Powder Technology. 2020;366:249-260.
- [24] .Rozycki SD, Seguro EF. Yogur: Cuantificación e influencia de los parámetros reológicos. Revista Argentina de Lactología. 1995;11:39-57.
- [25] .Supavitpatana P, Wirjantoro T, Apichartsrangkoon A, Raviyan P. Addition of gelatin enhanced gelation of corn–milk yogurt. Food Chemistry 2008; 106: 211–216.
- [26] .Gunasekaran S, Ak MM. Cheese Rheology and Texture. 1st ed. Nueva York: CRC Press; 2002.
- [27] .Considine T, Noisuwan A, Hemar Y, Wilkinson B. Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. Food Hydrocolloids. 2011;25:2008-2017.
- [28] .Ørskov KE, Christensen LB, Wiking L, Hannibal T, Hammershøj M. Imitation cheese – New insights to relations between microstructure and functionality. Food Structure. 2021;29:1-10.
- [29] .Agyemang PN, Akonor PT, Tortoe C, Johnsona PNT, Manu-Aduening J. Effect of the use of starches of three new Ghanaian cassava varieties as a thickener on the physicochemical, rheological and sensory properties of yoghurt. Scientific African. 2020;9:1-10.
- [30] .Pizarro RD. Películas y recubrimientos comestibles nanocompuestos con matriz de gelatina: Caracterización física y comportamiento al impacto en vegetales con diferente energía libre de superficie [Tesis doctoral]. Chile: Universidad de Santiago de Chile; 2014.