

# Optimización del comportamiento reológico de una bebida láctea a base de lactosuero formulada con distintos hidrocoloides

Optimization of rheological behavior of a whey-based milky drink formulated with different hydrocolloids

Otimização do comportamento reológico de uma bebida láctea à base de soro de leite formulada com diferentes hidrocoloides

 **LORENZO IVÁN LEURINO KLING** (1)

 **JUAN DIEGO CORTEZ LATORRE** (2)

 **SERGIO DARÍO ROZYCKI** (1)

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

(2) Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, Escuela de Ciencias Agropecuarias y Agroindustriales. Urcuquí, Ecuador.

RECIBIDO: 31/5/2023 → APROBADO: 11/9/2023 ✉ [lorenzoleurino1807@gmail.com](mailto:lorenzoleurino1807@gmail.com)

## RESUMEN

La emergente tendencia del uso de lactosuero en el desarrollo de alimentos radica en evitar la contaminación y promover la economía circular en las industrias lácteas. El objetivo de este trabajo fue optimizar una formulación de una bebida láctea acidificada no fermentada a partir de lactosuero, con propiedades reológicas similares a las de un yogur bebible marca líder del mercado argentino. Para ello, se partió de una formulación base conformada por suero reconstituido, polvos lácteos y azúcar, a la cual se le fijó un 0,142 % de estabilizantes y para su acidificación se usó ácido láctico hasta alcanzar un pH de 4,6. Se utilizó un diseño experimental de mezclas de tres factores (almidón modificado, gelatina y una combinación de gomas guar y garrofín en partes iguales) con tres niveles (concentraciones de 0,028 %, 0,057 % y 0,085 %) y un punto central. Las respuestas evaluadas fueron viscosidad aparente (entre 0 y 200 s<sup>-1</sup>) y determinados parámetros de modelos reológicos (límite de fluencia, índice de comportamiento, etcétera). Asimismo, se caracterizó al yogur control registrando las variables mencionadas. Se obtuvieron modelos predictivos para cada respuesta que posibilitaron evidenciar los efectos de cada hidrocoloide en la bebida y, mediante optimización de respuestas múltiples, determinar

las concentraciones de almidón (0,028 %), gelatina (0,059 %) y gomas (0,054 %) que permiten obtener una bebida con características semejantes al yogur comercial.

**Palabras clave:** estabilizantes, suero, revalorización, yogur bebible, reología.

## ABSTRACT

The emerging trend in the use of cheese whey in food development lies in avoiding contamination and promoting the circular economy in dairy industries. This work aimed to optimize a formulation for developing a non-fermented acidified dairy beverage from whey, with rheological properties similar to those of a leading drinkable yogurt brand in the Argentine market. For this, a base formulation with reconstituted whey, dairy powders, and sugar was prepared, to which 0.142 % stabilizers were added, and for its acidification, lactic acid was used until reaching a pH of 4.6. A mixture experimental design of three factors (modified starch, gelatin, and a combination of guar and locust bean gum in equal parts) with three levels (0.028 %, 0.057 %, and 0.085 % concentrations) and a central point were used. The responses evaluated were apparent viscosity (between 0 and 200 s<sup>-1</sup>) and rheological model parameters (yield strength, behavior index, etc.). Likewise, the control yogurt was characterized by recording the same mentioned variables. Predictive models were obtained for each response and the effect of each hydrocolloid in the beverage. In turn, the concentrations of starch (0.028 %), gelatin (0.059 %), and gums (0.054 %) were determined by optimizing multiple answer, which will allow obtaining a beverage with similar characteristics to commercial yogurt.

**Keywords:** stabilizers, whey, revalorization, drinkable yogurt, rheology.

## RESUMO

A tendência emergente no uso de soro de queijo no desenvolvimento de alimentos está em evitar a contaminação e promover a economia circular nas indústrias de laticínios. O objetivo deste trabalho foi otimizar uma formulação para o desenvolvimento de uma bebida láctea acidificada não fermentada de soro de leite, com propriedades reológicas semelhantes às de um iogurte bebível de marca líder no mercado argentino. Para isso, foi iniciada uma formulação base composta por soro de leite reconstituído, leite em pó e açúcar, ao qual foram adicionados 0,142 % de estabilizantes, e para sua acidificação foi usado ácido láctico até obter um pH de 4,6. Foi utilizado um delineamento experimental de misturas de três fatores (amido modificado, gelatina e uma combinação de gomas guar e alfarroba em partes iguais) com três níveis (concentrações de 0,028 %, 0,057 % e 0,085 %) e um ponto central. As respostas avaliadas foram a viscosidade aparente (entre 0 e 200 s<sup>-1</sup>) e os parâmetros do modelo reológico (ponto de escoamento, índice de comportamento, etc.). Da mesma forma, o iogurte controle foi caracterizado pelo registro das variáveis mencionadas. Modelos preditivos foram obtidos para cada resposta que permitiram evidenciar os efeitos de cada hidrocoloide na bebida. Por sua vez, otimizando respostas múltiplas, foram determinadas as concentrações de amido (0,028 %), gelatina

(0,059 %) e gomas (0,054 %), o que permitirá obter uma bebida com características semelhantes ao iogurte comercial.

**Palavras-chave:** estabilizantes, soro, reavaliação, iogurte bebível, reologia.

## INTRODUCCIÓN

Históricamente, el suero fue prescrito por Hipócrates para el control de ciertos problemas de salud. No obstante, con el aumento de la producción de quesos el suero se convirtió en una molestia para el productor. Por eso, una práctica común es rociarlo sobre campos o descargarlo en ríos, lagos y cauces de agua, ocasionando un elevado nivel de contaminación medioambiental (Smithers, 2008; Carvalho et al., 2013; Delmonte et al., 2022).

En las últimas décadas, frente a una estricta legislación sobre el tratamiento de efluentes, se desarrollaron varios derivados como suero en polvo, suero desmineralizado en polvo (DEMIs), concentrados de sus proteínas (WPC) y lactosa de grado alimenticio. Sin embargo, solo son rentables cuando se procesa un volumen superior a 300.000 litros por día y requieren una elevada inversión inicial, por lo que estas tecnologías no representan una solución para artesanos y pymes lácteas (Smithers, 2008; Delmonte et al., 2022).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC), más del 75 % de la población mundial consume productos lácteos y en Argentina este porcentaje se ha incrementado en los últimos años (FAO, s.d.; INDEC, s.d). Entre estos, las bebidas lácteas están ganando importancia en el mercado, siendo las de mayor interés aquellas que otorgan un beneficio a la salud y tienen un enfoque sustentable (Mordor Intelligence, s.d.).

Por lo general, la viscosidad de las bebidas lácteas es superior a la de las leches fluidas, mientras que el pH suele ser más bajo, cercano al de un yogur convencional. Además, entre las etapas de elaboración, se encuentran procesos como la homogeneización, tratamientos térmicos y acidificación que permitirían obtener la calidad óptima deseada en la bebida final (Mudgil y Barak, 2019).

El Código Alimentario Argentino (CAA), en su capítulo VIII, define a las bebidas lácteas como aquel producto que posee un porcentaje mayor al 51 % de leche y/u otros derivados lácteos. Establece además un listado de ingredientes y aditivos permitidos (Argentina. Ministerio de Salud, 1996).

En ese sentido, el desarrollo de bebidas lácteas a partir de lactosuero es una adecuada estrategia de revalorización para aprovechar sus elementos funcionales y nutricionales como inmunoglobulinas, lactoferrina y lactoperoxidasa, entre otros, y disminuir la existencia de un efluente de difícil y costoso tratamiento, promoviendo una economía circular dentro de la industria láctea, que le dará un carácter altamente competitivo en el mercado (Smithers, 2008). A diferencia de las bebidas fermentadas, las cuales requieren largos tiempos de elaboración y de fermentadores de gran tamaño, es posible el uso de ácidos orgánicos como reguladores del pH. Incluso se ha evidenciado que la ingesta de ácido láctico tiene beneficios asociados al intestino y a la regulación de los macrófagos, entre muchos otros (Sun et al., 2021).

Por otro lado, el comportamiento reológico de los fluidos es la base para el diseño y control de procesos industriales, como así también un determinante en el grado de aceptación al momento de consumir alimentos fluidos. Dentro de los modelos reológicos más difundidos y utilizados se encuentran el de la ley de la potencia, el de Casson, y el de Herschel y Bulkley. A su vez, los parámetros obtenidos de dichos modelos, como el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento (n), son utilizados para el cálculo de la pérdida de carga, caudal volumétrico y velocidad de circulación para fluidos no newtonianos (Larenas, 2010).

Actualmente el uso de hidrocoloides es una práctica común para lograr características fisicoquímicas, reológicas, texturales y sensoriales deseadas, así como para reducir defectos (desprendimiento superficial de líquido, falta de consistencia, etcétera). En el caso de bebidas lácteas, los principales problemas son las variaciones en la viscosidad frente a tratamientos mecánicos y térmicos, y la sinéresis durante las etapas de almacenamiento (Hugunin et al., 2009). Por ejemplo, la gelatina se caracteriza por brindar una sensación bucal agradable (mouth-feel), de permanencia del alimento en la boca, y el almidón actúa como agente espesante, por lo que se ha estudiado su influencia en otras matrices alimenticias como quesos untables y postres lácteos, a partir de leche y lactosuero, observándose que influye significativamente sobre su consistencia y cremosidad de manera favorable (Sarbon et al., 2015; Delmonte et al., 2022). Es importante destacar que el almidón y la gelatina, además de presentar efectos positivos sobre la reología y textura del producto, tienen la ventaja de ser materias primas regionales en la Provincia de Santa Fe, Argentina.

Por otro lado, hidrocoloides como las gomas suelen utilizarse debido a que otorgan una mayor resistencia o estabilidad ante los procesos físicos como la sedimentación o desagregación mecánica, que pueden ocurrir durante el transporte y almacenamiento (Marcotte et al., 2001). La combinación de hidrocoloides permite el aprovechamiento de sus interacciones sinérgicas. Asimismo, se ha visto que el remplazo de una fracción de almidón por gomas guar y garrofín resulta en una disminución de la sinéresis y un aumento de la viscosidad, además de impartir estabilidad en el tiempo (BeMiller, 2011; Joyner y Damiano, 2015; Yousefi y Jafari, 2019; Brighenti et al., 2020).

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar la formulación de una bebida láctea acidificada no fermentada, a partir de suero de quesería, de modo de que tenga una alta probabilidad de aceptabilidad en los potenciales consumidores. Ante la ausencia de productos de similar naturaleza que tengan una fuerte posición en el mercado argentino, se ha considerado como testigo un yogur marca líder. Para esto se han estudiado y modelado las variaciones en el comportamiento reológico (viscosidades aparentes, límite de fluencia e índices de comportamiento, consistencia y tixotrópico) como consecuencia de distintas concentraciones de almidón modificado, gelatina y una mezcla 50/50 de gomas guar y garrofín, con una posterior optimización, de manera de que las propiedades en estudio se asemejen al testigo elegido. Cabe aclarar que se respetaron los estándares y requisitos impuestos por el CAA correspondientes a la clasificación de bebidas lácteas.

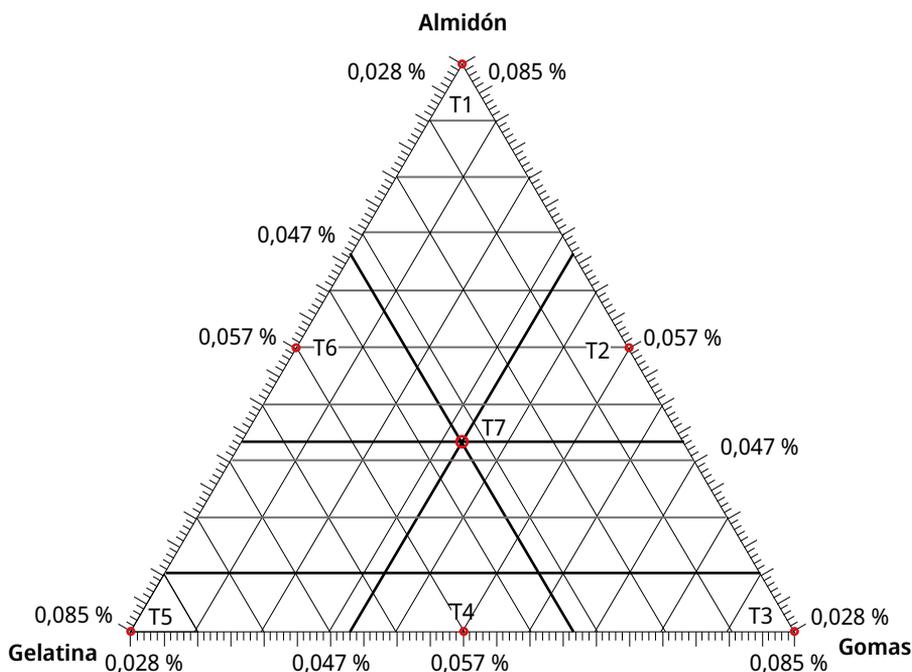
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización de una bebida láctea testigo

Se utilizó un yogur bebible de una marca reconocida y bien posicionada en el mercado argentino, del cual se evaluaron sus propiedades reológicas de acuerdo con la metodología descrita en el apartado titulado "Análisis reológico".

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño de mezclas de 3 factores (hidrocoloides en estudio: gelatina, almidón modificado y una mezcla de partes iguales de gomas guar y garrofin). La suma de los tres factores se mantiene constante e igual a 0,142 %, como se indica en el diagrama ternario (Figura 1). En la totalidad del trabajo, todas las concentraciones son expresadas en peso/peso.



**FIGURA 1.** Esquema del diseño de mezcla con los 7 tratamientos posicionados según su composición de hidrocoloides.

De acuerdo con lo establecido por el CAA, se evaluaron concentraciones de los hidrocoloides establecidas en referencias bibliográficas, y a partir de ensayos previos no publicados se estableció una composición global de hidrocoloides de 0,142 %. Teniendo en cuenta esto, se llevaron a cabo 7 tratamientos y una repetición del punto central (por duplicado), según se detalla en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Composición de almidón, gelatina y mezcla de gomas de los distintos tratamientos del diseño experimental.

Tratamiento	Almidón	Gelatina	Gomas
1	0,085 %	0,028 %	0,028 %
2	0,057 %	0,028 %	0,057 %
3	0,028 %	0,028 %	0,085 %
4	0,028 %	0,057 %	0,057 %
5	0,028 %	0,085 %	0,028 %
6	0,057 %	0,057 %	0,028 %
7	0,047 %	0,047 %	0,047 %

## Análisis estadístico

Para cada una de las variables respuesta se utilizó un modelo matemático de segundo orden (1) en función de las 3 variables estudiadas, haciendo uso del software Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, Inc., 2009). Las variables se utilizaron de forma codificada, tomando los valores de 1, 0,5, 0,33 y 0 para las distintas posiciones en el diagrama ternario. Una vez ajustados, dichos modelos permitieron predecir y describir el comportamiento del sistema, y de las propiedades reológicas de las bebidas, dentro del rango experimental analizado.

$$y_i = a_{11}X_1 + a_{22}X_2 + a_{33}X_3 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 \quad (1)$$

Donde:  $a_{11}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{33}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{13}$  y  $a_{23}$  son los coeficientes del modelo,  $y_i$  es la respuesta analizada y  $X_1$ ,  $X_2$ , y  $X_3$  son las concentraciones codificadas de almidón, gelatina y la mezcla de gomas, respectivamente.

Los coeficientes de los términos lineales ( $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ ) permiten inferir en qué manera y magnitud influyen cada uno de los estabilizantes sobre la variable en estudio, mientras que los coeficientes de términos combinados se relacionan con el efecto antagónico o sinérgico debido a la interacción de a pares.

Una vez desarrollados los modelos matemáticos para cada respuesta ( $y_i$ ), se determinaron las condiciones de proceso más adecuadas, para lo cual se utilizó la metodología de optimización de respuestas múltiples (Derringer y Suich, 1980). Esta metodología permitió determinar los valores de los factores experimentales que satisfacen las características deseadas para más de una respuesta, simultáneamente.

En este trabajo se adoptaron como valores deseables los obtenidos como respuestas en los análisis de la bebida láctea testigo, el yogur bebible comercial de primera marca del mercado argentino (Tabla 9). Para usar este procedimiento primero se construyen los modelos matemáticos (polinomio de segundo orden) para cada respuesta en función de las

variables estudiadas, y luego se define una función de deseabilidad para cada respuesta. Un valor D (deseabilidad global) diferente de cero implica que todas las respuestas están simultáneamente en un rango deseable. Para un valor D cercano a 1, la combinación de los diferentes criterios es globalmente óptima (StatPoint Technologies, Inc, 2010).

## Proceso de producción

La formulación base se obtuvo a partir de ensayos preliminares y balances de masa previamente realizados. Las bebidas fueron elaboradas con 84 % de suero reconstituido (a 6,5 % de ST), a partir de suero en polvo desmineralizado (DEMI 40, Lácteos La Cristina S.A.), el cual debió ser reemplazado por suero líquido proveniente del proceso de elaboración de queso al momento de escalar la producción. Además, se formularon con un 5 % de leche en polvo entera y leche en polvo descremada (Milkaut S.A., SanCor), 1 % de WPC-35 (Milkaut S.A.), 5 % de azúcar y cantidades variables de gelatina (PB Leiner), almidón modificado (Glutal S.A.) y gomas guar y garrofín (Veneto S.A.), según el diseño experimental (Tabla 1). Asimismo, la formulación base posee 200 ppm de sorbato de potasio, utilizado como agente conservante. Se reconstituyó el suero a partir del suero en polvo y agua a una temperatura de 45-50 °C, manteniendo una agitación constante hasta su completa disolución. Posteriormente se disolvieron los polvos lentamente y se incrementó progresivamente la temperatura hasta alcanzar 90 °C, manteniendo esta temperatura durante 5 minutos.

Luego se enfrió hasta 40-45 °C en baño de agua helada, añadiéndose el sorbato de potasio ( $C_6H_7KO_2$ ) y ácido láctico hasta alcanzar un pH de  $4,6 \pm 0,1$ . Finalmente, se procedió al envasado y almacenamiento del producto terminado a una temperatura de 5-6 °C.

En la Tabla 2 se presenta la composición de grasas, proteínas y azúcares de las materias primas brindadas por las empresas productoras.

**TABLA 2.** Composición aproximada de materias primas.

Compuesto	Suero en polvo	LPD	LPE	WPC
Grasas	Máx. 1,5 %	0,0 %	26 %	2,2 %
Proteínas	Mín. 12 %	36 %	26 %	38,3 %
Carbohidratos	Mín. 75 %	50 %	36 %	48,8 %

LPD: leche en polvo descremada; LPE: leche en polvo entera; WPC: whey protein concentrate.

## Análisis reológico

Las propiedades reológicas se estudiaron mediante el uso de un reómetro Thermo Scientific™ HAAKE™ MARS™ 40, con módulo de temperatura TM-PE-C y geometría de cilindros concéntricos CC25 DIN Ti. Se realizó un test de rampa continua ascendente-descendente de gradiente de deformación (GD) ( $\dot{\gamma}$ ) entre 0 y 200  $s^{-1}$ , a una temperatura de

5 °C. Se registró para cada valor de gradiente de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) el esfuerzo de corte ( $\tau$ ) y la viscosidad aparente ( $\mu_a$ ).

A partir del ajuste de los modelos de Casson modificado (2) y Herschel y Bulkley (3) se obtuvieron, para cada tratamiento y para el yogur testigo, el límite de fluencia ( $\tau_0$ ), índice de comportamiento ( $n$ ), índice de consistencia ( $K$ ) e índice de tixotropía (IT), este último definido como el área entre la curva ascendente y descendente del reograma (gráfica de esfuerzo de corte en función del gradiente de deformación). Además, se tomaron valores de viscosidad aparente ( $\mu_a$ ) a distintos gradientes de deformación ( $\mu_{50}$ ,  $\mu_{100}$ ,  $\mu_{150}$  y  $\mu_{200}$ ), siendo la primera de ellas ( $\mu_{50}$ , viscosidad de Kokini) la de mayor interés por simular las condiciones de masticación durante el consumo del producto (Elejalde y Kokini, 1992).

La importancia de obtener un comportamiento reológico a mayores gradientes de deformación similar al de los yogures, producto presente en la mayoría de las empresas lácteas, está asociada a una fácil adaptación de las operaciones industriales actualmente utilizadas, como homogeneizado, tratamientos térmicos, envasado, etcétera. De este modo, los procesos de producción podrán ponerse a punto sin necesitar un elevado capital inicial para nuevos equipos.

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + (\eta_p \times \dot{\gamma})^{0,5} \quad (2)$$

$$\tau = \tau_0 + (K \times \dot{\gamma})^n \quad (3)$$

## Análisis fisicoquímico

Con el fin de llevar un control sobre la bebida elaborada se realizaron medidas (por duplicado) del contenido en grasas, proteína, humedad, cenizas y acidez titulable.

La determinación de grasa se realizó por una adaptación al método de análisis FIL 105:1981 para leche (Federación Internacional de Lechería, 1981), mediante un butirómetro de leche, manteniendo a baño maría a 65 °C y posterior centrifugación.

La determinación de proteína se realizó según el método 16.036 de la AOAC International (1984), que corresponde al método Kjeldhal. El mismo comprende tres etapas: digestión, destilación y titulación. Para la conversión de nitrógeno a proteína de la leche se utilizó un factor de 6,38.

Para la determinación de humedad y sólidos totales se realizó un método basado en un análisis gravimétrico según el método de análisis FIL 4A:1982 (Federación Internacional de Lechería, 1982). Se colocaron 10 g de muestra en placas de Petri, previamente taradas, en estufa a 65 °C por 12 horas y luego por intervalos de 1 h, hasta obtener pesada constante.

Del mismo modo, para la determinación del contenido de cenizas totales se procedió según el método 16.035 de la AOAC International (1984). Se colocaron 10 g de muestra en crisoles, previamente secados y tarados, en mufla a 505 °C por 2 horas. Luego de

ser pesados se colocaron nuevamente en mufla en intervalos de 1 hora, hasta obtener pesada constante.

Los ensayos para la determinación de la acidez titulable consistieron en el cálculo de °D (grados Dornic) a partir de la titulación de 10 mL de muestra con una solución Dornic (NaOH 1/9N), utilizando fenolftaleína como indicador.

La determinación de acidez se realizó por duplicado según el método 920.124 de la AOAC International (2000), utilizando solución Dornic (NaOH 1/9N), y fenolftaleína como indicador. La cantidad de muestra utilizada fue de 10 mL.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bebidas elaboradas presentaron una composición química promedio de 2,40 % ( $\pm 0,05$  %) de grasa y 4,33 % ( $\pm 0,05$  %) de proteína. Además, las medidas de humedad y cenizas fueron 77,62 % ( $\pm 0,06$ %) y 1,02 % ( $\pm 0,02$ %), respectivamente. A partir del valor de humedad hallado se deduce por diferencia que el porcentaje de sólidos totales de la bebida elaborada es del 22,40 % ( $\pm 0,06$  %). La acidez registrada fue de 77,6 °D ( $\pm 0,2$  °D) y como ya se ha mencionado, un pH de 4,60  $\pm 0,01$ .

A nivel comercial, existe mucha variabilidad respecto a la composición nutricional del yogur. Dicha diversidad depende del tipo de leche usada en la elaboración, del tiempo y tipo de fermentación, o del eventual contenido de agregados (Chandan et al., 2008). A modo de referencia, se presentan valores de porcentaje de grasa y proteína para leche entera y descremada, y yogur entero y descremado (Balcázar, 2011) (Tabla 3). Se estima además la cantidad de sólidos totales, como la suma de las cantidades de grasa, proteína, carbohidratos y minerales y se muestra la composición de macronutrientes del yogur testigo. Respecto a la bebida elaborada en el presente trabajo, las cantidades de proteína se asemejan a las de un yogur descremado, siendo éste el producto puramente lácteo más proteico, con un contenido algo menor de sólidos totales. Por otro lado, se observa que los niveles de grasa se encuentran por debajo de los de la leche y yogur enteros. Estos dos aspectos resultan muy favorables considerando la creciente tendencia en el consumo de productos saludables y nutritivos, total o parcialmente descremados (Balcázar, 2011).

**TABLA 3. Composición de leche y yogur** (Balcázar, 2011).

Compuestos	Leche entera	Leche descremada	Yogur entero	Yogur descremado	Yogur de frutas	Bebida desarrollada	Yogur testigo
Proteínas	3,5 %	3,3 %	3,9 %	4,5 %	5,0 %	4,3 %	2,8 %
Grasa	4,25 %	0,13 %	3,4 %	1,6 %	0,25 %	2,4 %	0,6 %
Carbohidratos	4,75 %	5,1 %	4,9 %	6,5 %	18,6 %	14 %	9,5 %
Cenizas	0,42 %	0,41 %	0,49 %	0,51 %	0,58 %	1,02 %	0,32 %
Sólidos totales	12,9 %	8,9 %	12,7 %	13,1 %	24,4 %	21,7 %	13,2 %

Con respecto a los sólidos totales, resultaron ser más altos que los de las leches y yogures reportados en la bibliografía, a excepción de aquellos que son formulados con edulcorantes o frutas. La formulación de la bebida propuesta en el presente trabajo presentó una mayor cantidad de carbohidratos. Al realizar un balance de estos en la formulación base, el azúcar agregado fue del 5 %, y la lactosa presente principalmente en el suero, leche entera y descremada, aportó aproximadamente un 9 % de azúcares (Balcázar, 2011).

Dado que la tendencia es consumir productos bajos en azúcares, para futuros trabajos se presenta la posibilidad de analizar la formulación base para las bebidas lácteas y buscar reducir estos niveles de azúcares, manteniendo las características reológicas y organolépticas deseadas.

Cabe mencionar que los valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica cumplen con lo que dicta el Código Alimentario Argentino (Argentina. Ministerio de Salud, 1996).

### **Efecto de la concentración de almidón, gelatina y gomas sobre la viscosidad aparente de las bebidas lácteas**

Se presentan en la Tabla 4 los valores medios experimentales registrados, junto a sus desviaciones estándar, para la viscosidad aparente a velocidades de corte 50, 100, 150 y 200 s<sup>-1</sup>, obtenidos a partir de las elaboraciones realizadas para cumplir con el diseño experimental planteado.

**TABLA 4.** Valores promedio y desviación estándar de viscosidad aparente en función de la variación de las concentraciones de almidón, gelatina y gomas guar y garrofín (codificadas).

Variables Independientes			Respuestas			
Almidón	Gelatina	Gomas	$\mu_{50}$ [Pa.s]	$\mu_{100}$ [Pa.s]	$\mu_{150}$ [Pa.s]	$\mu_{200}$ [Pa.s]
1	0	0	0,199 ± 0,005	0,111 ± 0,003	0,080 ± 0,002	0,064 ± 0,002
0,5	0	0,5	0,134 ± 0,010	0,095 ± 0,005	0,077 ± 0,003	0,065 ± 0,003
0	0	1	0,212 ± 0,001	0,149 ± 0,001	0,120 ± 0,001	0,100 ± 0,000
0	0,5	0,5	0,179 ± 0,004	0,116 ± 0,000	0,088 ± 0,000	0,072 ± 0,000
0	1	0	0,128 ± 0,003	0,086 ± 0,002	0,067 ± 0,002	0,056 ± 0,002
0,5	0,5	0	0,152 ± 0,012	0,101 ± 0,008	0,079 ± 0,006	0,067 ± 0,004
0,33	0,33	0,33	0,159 ± 0,002	0,111 ± 0,001	0,088 ± 0,001	0,073 ± 0,001

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 50 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 100 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 150 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 200 s<sup>-1</sup>.

Se presentan además los coeficientes de los modelos obtenidos para la viscosidad aparente a cada velocidad de corte (gradiente de deformación), y el análisis de varianza,

donde aparece la falta de ajuste de los modelos, error puro y  $R^2$ . La significancia de cada uno de los términos se determinó en función a su p-valor y se excluyeron aquellos términos que resultaron no significativos (Tabla 5).

Respecto a los coeficientes obtenidos de los modelos predictivos para la viscosidad aparente, se observa que todos los estabilizantes (términos lineales) influyen de forma directa. Específicamente para un gradiente de deformación de  $50 \text{ s}^{-1}$ , es la mezcla de gomas (guar y garrofin) el factor de mayor influencia, teniendo un efecto 70 % mayor que la gelatina, seguido del almidón (50 % más que la gelatina) (Figura 2 A). En las viscosidades a mayores gradientes se evidencia que si bien la influencia de todos los estabilizantes disminuye conforme aumenta el gradiente de deformación, el efecto de las gomas mantiene cierta proporcionalidad al de la gelatina, mientras que el de almidón disminuye de forma más abrupta. Para la viscosidad aparente a gradiente de deformación de  $200 \text{ s}^{-1}$ , la influencia del almidón respecto a la gelatina es solo un 13 % mayor (Figura 2 B).

**TABLA 5.** Coeficientes de los modelos de segundo orden y análisis de varianza ANOVA obtenidos para la viscosidad aparente a velocidades de corte 50, 100, 150 y  $200 \text{ s}^{-1}$ .

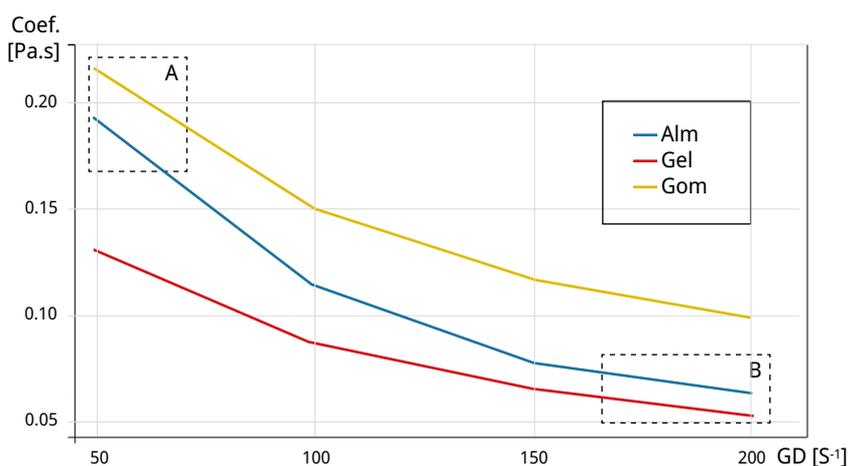
Fuente de Variación	Coeficientes de los modelos			
	$\mu_{50} [\text{Pa.s}]$	$\mu_{100} [\text{Pa.s}]$	$\mu_{150} [\text{Pa.s}]$	$\mu_{200} [\text{Pa.s}]$
A: Almidón	0,193***	0,114***	0,079***	0,063***
B: Gelatina	0,130***	0,088***	0,066***	0,054***
C: Gomas	0,217***	0,149***	0,118***	0,098***
AB	ns	ns	0,038*	0,038*
AC	-0,266***	-0,130***	-0,078**	-0,054**
BC	ns	ns	Ns	ns
ANOVA				
Falta de ajuste	0,00057	0,00022*	0,00011*	0,00008*
Error puro	0,00026	0,00009	0,00005	0,00003
Modelo	0,0106***	0,00473***	0,00318***	0,00220***
Coef. desviación ( $R^2$ )	92,8 %	93,6 %	95,1 %	95,1 %

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $50 \text{ s}^{-1}$ ;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $100 \text{ s}^{-1}$ ;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $150 \text{ s}^{-1}$ ;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación  $200 \text{ s}^{-1}$ ; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ ; ns: no significativo.

Se observa que la gelatina es el hidrocoloide de menor influencia en los valores de viscosidad, lo cual es contrario a lo informado en varios trabajos (Marcotte et al., 2001; Delmonte et al., 2022). La justificación es que en esos trabajos la concentración de gelatina agregada generalmente es 0,5 % p/p o superior, mientras que en el presente

trabajo nunca supera el valor de 0,085 % (Tabla 1), por lo cual su influencia se ve afectada enormemente por el nivel en que se agrega a la mezcla.

En cuanto a la interacción de a pares, la combinación almidón-gomas tiene efectos fuertemente antagónicos en todo el rango de gradiente analizado (término de mayor coeficiente negativo para  $\mu_{50}$ , Tabla 5), con una influencia muy marcada a bajos gradientes y disminuyendo al aumentar dicho gradiente. Por otro lado, se observa que la combinación almidón-gelatina solo tiene influencia para altos gradientes sobre la viscosidad aparente, mientras que la combinación gelatina-gomas no presentó efectos significativos en todo el rango.



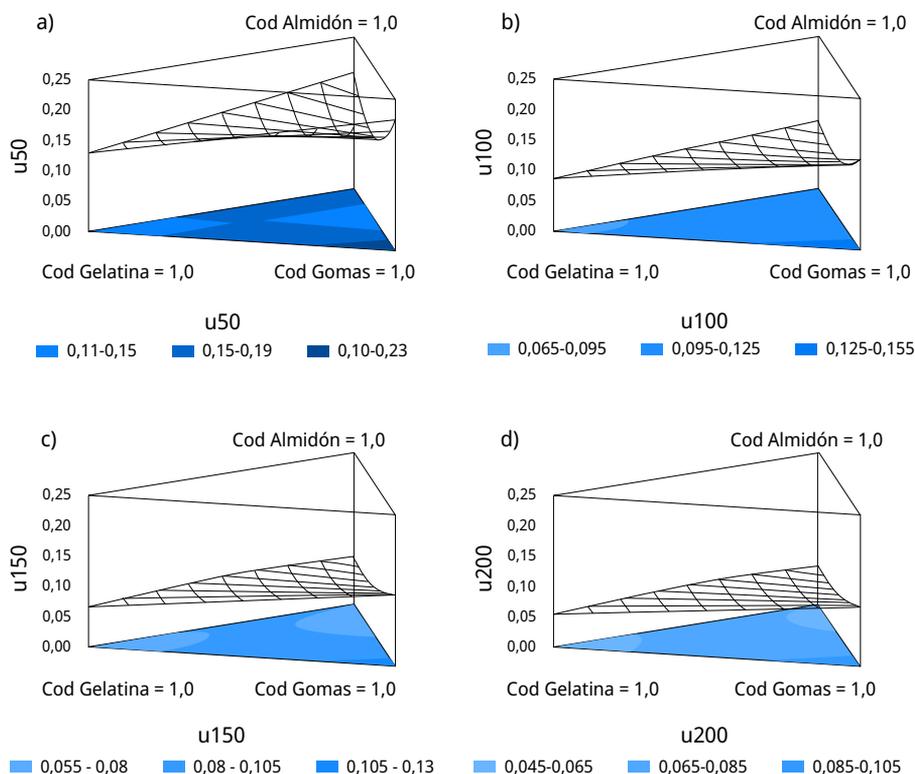
**FIGURA 2.** Evolución de los coeficientes correspondientes a las contribuciones individuales de cada hidrocoloide sobre la viscosidad aparente al aumentar el gradiente de deformación.

En las gráficas de superficie de respuesta (Figura 3) se observan los efectos combinados de todos los términos del modelo ajustado con las variables codificadas, para cada una de las viscosidades aparentes a distintos gradientes de deformación, donde se corrobora el comportamiento previamente descrito. En estas gráficas se hace notoria la disminución de la viscosidad a medida que aumenta el gradiente de deformación, correspondiendo la codificación máxima de almidón con una disminución del 68 %, y siendo la mayor de todas.

La importancia de incluir gomas en el perfil de hidrocoloides queda en evidencia al comparar con productos comerciales que solo poseen almidón modificado y gelatina como agentes estabilizantes. Los niveles de concentración global frecuentemente vistos en la industria, para un yogur bebible solo con estos dos hidrocoloides, suelen rondar el 1 % o superiores (Huginin et al., 2009), concentraciones totales por lo menos 7 veces mayores a las utilizadas en este producto.

El comportamiento hallado no concuerda con BeMiller (2011), quien reporta a partir del estudio de varios autores que la combinación de almidón de maíz (o trigo) con gomas garrofín y guar produjo un aumento significativo en la viscosidad. En las bebidas

elaboradas se ha encontrado que la combinación de estos hidrocoloides posee un valor mínimo resultado de un efecto antagónico sobre la viscosidad aparente.



**FIGURA 3.** Gráficas de superficie de respuesta estimada para la viscosidad aparente de las bebidas lácteas 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 almidón, gelatina y mezcla de gomas guar y garrofín codificadas.

### Efecto de la concentración de almidón, gelatina y gomas sobre los parámetros reológicos de las bebidas lácteas

Se presentan en la Tabla 6 los valores medios y sus desvíos estándar para el índice de comportamiento ( $n$ ), índice de consistencia ( $K$ ), límite de fluencia ( $t_0$ ) e índice de tixotropía ( $IT$ ), obtenidos a partir de los datos experimentales de las elaboraciones realizadas, según el diseño experimental planteado.

Además, se presentan los coeficientes obtenidos de las regresiones múltiples con polinomios de segundo grado, en función de las 3 variables del diseño estadístico experimental, para el límite de fluencia, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía, junto con los del análisis de varianza y los estadísticos, falta de ajuste de los modelos, error puro y  $R^2$  (Tabla 7).

En lo que concierne al límite de fluencia, se observó que la concentración individual de todos los hidrocoloides influye directamente sobre este, en mayor medida el almidón

modificado (alrededor de 5 y 13 veces más que la gelatina y las gomas, respectivamente), aunque su efecto resulta antagónico en combinación con los otros dos hidrocoloides. Este comportamiento ocasiona que para concentraciones determinadas de gelatina y gomas exista un valor dentro del rango de concentraciones de almidón que corresponda a un mínimo en el parámetro analizado. En la gráfica de superficie de respuesta se puede visualizar el comportamiento del  $t_0$ , el cual se incrementa principalmente a medida que aumenta la concentración de almidón (Figura 4).

**TABLA 6.** Valores promedio y desviación estándar límite de fluencia, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía en función de las concentraciones de almidón, gelatina y gomas guar y garrofín (codificadas).

Variables Independientes			Respuestas			
Almidón	Gelatina	Gomas	$t_0$ [Pa]	K	n	IT [Pa.s <sup>-1</sup> ]
1	0	0	0,148 ± 0,003	3,991 ± 0,107	0,220 ± 0,011	762,3 ± 20,7
0,5	0	0,5	0,008 ± 0,005	0,996 ± 0,162	0,490 ± 0,024	416,6 ± 35,9
0	0	1	0,010 ± 0,004	1,688 ± 0,068	0,471 ± 0,009	644,5 ± 1,77
0	0,5	0,5	0,026 ± 0,008	2,154 ± 0,165	0,363 ± 0,015	572,1 ± 23,0
0	1	0	0,026 ± 0,000	1,299 ± 0,028	0,408 ± 0,001	377,4 ± 5,45
0,5	0,5	0	0,028 ± 0,002	1,544 ± 0,156	0,408 ± 0,006	550,4 ± 53,1
0,33	0,33	0,33	0,008 ± 0,000	1,354 ± 0,061	0,453 ± 0,012	548,5 ± 5,02

x: promedio; sd: desvío estándar;  $t_0$ : límite de fluencia K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía.

Como es de esperarse, todos los hidrocoloides tienen una influencia directa sobre el índice de consistencia de la bebida, en mayor medida el almidón, con una influencia 3 veces mayor que la gelatina, y 2 veces más que las gomas. El comportamiento hallado contrasta con lo obtenido por otros autores para un sistema de gelatina y goma espina corona (EC) (Pavón et al., 2014), donde se asoció una disminución del índice de consistencia de un yogur al aumento de concentración de gelatina, para valores cercanos al 0,5% p/p, considerándose que lo ocurrido se debe a un efecto antagónico con la EC.

Con respecto al índice de comportamiento, analizando la curva superior (GD ascendentes), cuando los valores son más cercanos a 1 significa que el fluido tiene un comportamiento más newtoniano (Pang et al., 2019). En el presente estudio se observó que en todo el rango experimental se obtuvieron valores de n aproximadamente entre 0,2 y 0,5, lo que denota un comportamiento de carácter muy no newtoniano (FNN), tixotrópico (Ti) y, por ende, la viscosidad resulta dependiente tanto del GD (FNN) como del tiempo de cizallamiento (Ti). Es sabido que a muy altas concentraciones de almidón en una solución acuosa se puede formar un fluido con gran carácter dilatante, es decir, que aumente su resistencia a fluir (viscosidad) al incrementar el GD. Sin embargo, el presente trabajo deja en evidencia que en el sistema y rango de concentraciones

estudiados un aumento en la concentración de almidón provoca una caída en el índice de comportamiento, generando así que la viscosidad disminuya en mayor medida al aumentar el GD.

Por otro lado, no se observaron grandes variaciones de dicho parámetro al variar fracciones de gelatina por gomas (o al revés), aunque existe cierto efecto antagónico, como puede verificarse en el signo negativo correspondiente a dicha combinación (Tabla 7), o en la superficie respuesta, donde n disminuye al analizar la interacción entre la gelatina y/o la mezcla de gomas.

**TABLA 7.** Coeficientes de los modelos de segundo orden (Regresión Múltiple) y Análisis de varianza ANOVA obtenidos para límite de fluencia, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía.

Fuente de Variación	Coeficientes de los modelos			
	$t_0$ [Pa]	K	n	IT [Pa.s <sup>1</sup> ]
A: Almidón	0,148***	3,985***	0,217***	756,6
B: Gelatina	0,029***	1,296***	0,407***	374,5
C: Gomas	0,013***	1,685***	0,470***	640,0
AB	-0,238***	-4,34***	0,405***	ns
AC	-0,285***	-7,304***	0,607***	-1053***
BC	Ns	2,702***	-0,281***	333,1*
ANOVA				
Falta de ajuste	ns	Ns	ns	ns
Error puro	0,00011	0,0869	0,00103	4696
Modelo	0,0166***	7,26***	0,0636***	151389***
Coef. desviación (R2)	98,9 %	98,8 %	93,8 %	93,7 %

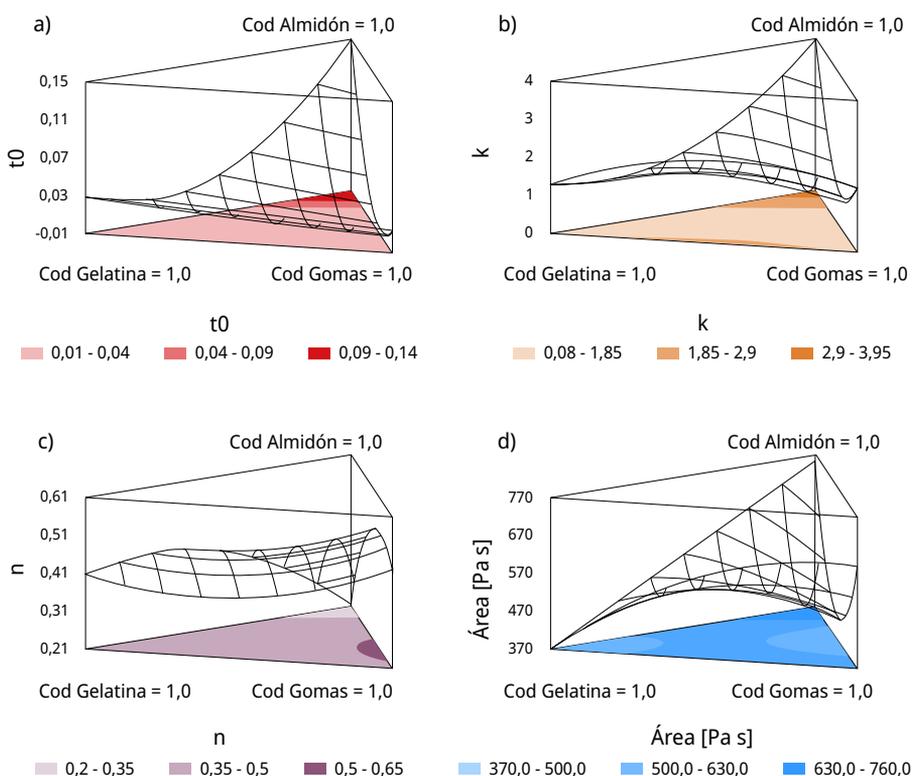
$t_0$ : límite de fluencia K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía; \*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ ; ns: no significativo.

No obstante, se ha evidenciado que a concentraciones mayores de gelatina el comportamiento de los yogures persiste, como lo reportado por Pavón et al. (2014) con concentraciones cercanas a 0,5 %, donde han encontrado una disminución del índice de comportamiento conforme aumenta la concentración del hidrocoloide, en un sistema binario de este y goma espina corona, alejándose del comportamiento newtoniano.

Priyanka et al. (2022) estudiaron los efectos de la goma guar sobre el yogur bajo en grasa y obtuvieron, para concentraciones de 0,5 % p/p, un índice de comportamiento de 0,575, valor cercano al obtenido en las bebidas elaboradas con niveles máximo de gomas. Considerando que la concentración de gomas de dicho tratamiento es cerca de 7 veces menor que la utilizada por Priyanka et al. (2022), se concluye que es favorable

la utilización de hidrocoloides en forma combinada para la obtención de parámetros reológicos adecuados.

Respecto a la tixotropía (IT), como se observa en las gráficas de superficie de respuesta (Figura 4 y Tabla 7), las 3 variables influyen en forma directa, por lo cual al aumentar cualquiera de ellas el producto se vuelve más tixotrópico, lo que significa que su viscosidad depende en mayor medida del tratamiento mecánico (GD) en magnitud y tiempo de aplicación. El índice de tixotropía alcanza valores máximos sobre la frontera del rango experimental cuando las concentraciones de almidón y gomas son elevadas, influyendo el almidón en mayor medida.



**FIGURA 4.** Gráfica de superficie de respuesta estimada para a) límite de fluencia, b) índice de consistencia, c) índice de comportamiento y d) índice de tixotropía de las bebidas lácteas a base de lactosuero en función de la concentración de almidón, gelatina y gomas guar y garrofín codificadas.

Como se observa en la Tabla 7, la interacción entre la concentración de gelatina y las gomas utilizadas generan un comportamiento con tendencia más tixotrópica; esto se debe a que presenta un coeficiente positivo en la respuesta en estudio. Debido a que la gelatina posee el menor coeficiente sobre el índice tixotrópico, utilizar elevados valores de este componente permite obtener los menores valores de dicho parámetro, lo cual suele

ser buscado en la industria para evitar las variaciones en el comportamiento reológico de un fluido a lo largo de los procesos industriales.

El IT disminuye a medida que la concentración de los hidrocoloides es menor debido a que generan una pseudoestructura resistente ficticia, la cual se incrementa con la concentración de hidrocoloides. Sin embargo, 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 (Rozycki y Seguro, 1995).

## Modelos predictivos (Regresión Múltiple)

Para obtener modelos matemáticos más útiles se obtuvieron en función de las variables no codificadas (de forma porcentual) a partir del análisis estadístico con el software Statgraphics Centurion XVI (Tabla 8) (StatPoint Technologies, Inc., 2009).

Dichos modelos permitieron predecir los valores de viscosidad aparente y parámetros reológicos para una combinación de hidrocoloides que se encuentre dentro del rango estudiado de cada hidrocoloide, reemplazando directamente los valores de la fracción utilizada de cada hidrocoloide (variable).

**TABLA 8.** Modelos matemáticos obtenidos para los parámetros reológicos en función del código correspondiente al porcentaje de hidrocoloides utilizado.

Modelos Matemáticos	
$\mu_{50}$ [Pa.s]	$= 0,193 C_{alm} + 0,130 C_{gel} + 0,217 C_{gom} + 0 C_{alm} C_{gel} - 0,266 C_{alm} C_{gom} + 0 C_{gel} C_{gom}$
$\mu_{100}$ [Pa.s]	$= 0,114 C_{alm} + 0,088 C_{gel} + 0,149 C_{gom} + 0 C_{alm} C_{gel} - 0,130 C_{alm} C_{gom} + 0 C_{gel} C_{gom}$
$\mu_{150}$ [Pa.s]	$= 0,079 C_{alm} + 0,066 C_{gel} + 0,118 C_{gom} + 0,038 C_{alm} C_{gel} - 0,078 C_{alm} C_{gom} + 0 C_{gel} C_{gom}$
$\mu_{200}$ [Pa.s]	$= 0,063 C_{alm} + 0,054 C_{gel} + 0,098 C_{gom} + 0,038 C_{alm} C_{gel} - 0,054 C_{alm} C_{gom} + 0 C_{gel} C_{gom}$
$t_0$ [Pa]	$= 0,148 C_{alm} + 0,029 C_{gel} + 0,013 C_{gom} - 0,238 C_{alm} C_{gel} - 0,285 C_{alm} C_{gom} + 0 C_{gel} C_{gom}$
K	$= 3,985 C_{alm} + 1,296 C_{gel} + 1,685 C_{gom} - 4,34 C_{alm} C_{gel} - 7,304 C_{alm} C_{gom} + 2,702 C_{gel} C_{gom}$
n	$= 0,217 C_{alm} + 0,407 C_{gel} + 0,470 C_{gom} + 0,405 C_{alm} C_{gel} + 0,607 C_{alm} C_{gom} - 0,281 C_{gel} C_{gom}$
IT [Pa.s <sup>-1</sup> ]	$= 756,6 C_{alm} + 374,5 C_{gel} + 640,0 C_{gom} + 0 C_{alm} C_{gel} - 1053 C_{alm} C_{gom} + 333,1 C_{gel} C_{gom}$

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 50 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 100 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 150 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 200 s<sup>-1</sup>;  $t_0$ : límite de fluencia K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía.

## Optimización

El diseño experimental planteado y la metodología de análisis estadístico de los datos experimentales aplicada (Regresión Múltiple) resultaron útiles para evaluar el comportamiento de las diferentes respuestas estudiadas en función de las variables

utilizadas. Se obtuvieron modelos matemáticos que permiten predecir y describir el comportamiento de los sistemas en el espacio tecnológico estudiado. Asimismo, se pudieron optimizar las formulaciones a través de la función de deseabilidad (D) con el fin de obtener bebidas lácteas a base de lactosuero con características similares a las de un yogur bebible de consumo masivo y de primera marca del mercado argentino (testigo).

El valor máximo de deseabilidad obtenido fue de 0,65 y las concentraciones de almidón, gelatina y mezcla de gomas requeridas para alcanzar las condiciones óptimas fueron 0,028 %, 0,059 % y 0,054 % respectivamente, es decir, los necesarios para obtener un producto con características reológicas muy similares al de una bebida láctea (yogur bebible) de marca líder en el mercado argentino.

Se presentan los parámetros predichos por los modelos obtenidos para dicha composición óptima junto a los medidos en la caracterización del yogur bebible comercial (Tabla 9).

**TABLA 9.** Valores óptimos predichos de viscosidad aparente, límite de fluencia, índice de consistencia, índice de comportamiento e índice de tixotropía en función de las concentraciones de almidón, gelatina y gomas guar y garrofin (codificadas).

Muestra	Respuestas							
	$\mu_{50}$ [Pa.s]	$\mu_{100}$ [Pa.s]	$\mu_{150}$ [Pa.s]	$\mu_{200}$ [Pa.s]	$t_0$ [Pa]	K	n	IT [Pa.s <sup>-1</sup> ]
Bebida óptima experimental	0,169	0,116	0,089	0,074	0,022	2,140	0,366	577,2
Yogur bebible	0,167	0,116	0,094	0,081	0,076	1,380	0,462	306,5
Variación porcentual	1,20 %	0,00 %	5,32 %	8,64 %	71,1 %	55,1 %	20,8 %	88,3 %

$\mu_{50}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 50 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{100}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 100 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{150}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 150 s<sup>-1</sup>;  $\mu_{200}$ : Viscosidad a gradiente de deformación 200 s<sup>-1</sup>;  $t_0$ : límite de fluencia; K: Índice de consistencia; n: Índice de comportamiento; IT: Índice de tixotropía.

Como se puede apreciar, el optimizado logró obtener valores muy cercanos a los deseados para la viscosidad aparente, en todo el rango de gradiente de deformación, lo mismo que para el índice de comportamiento.

El límite de fluencia, índice de consistencia e índice de tixotropía difieren en mayor medida de los parámetros del yogur comercial.

En cuanto al IT, considerando que el resultado objetivo (del yogur comercial) no se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos en cada uno de los tratamientos, no es posible obtener valores dentro de los límites esperados. No obstante, se minimizó esta variable con el fin de obtener los valores más bajos. Se observó que para obtener una bebida con un carácter menos tixotrópico una potencial alternativa es ampliar el rango de concentración estudiado. Dicha diferencia se puede atribuir a que en los yogures convencionales, además de usar algunos hidrocoloides, la acción propia de los exopolisacáridos generados por los microorganismos inherentes al yogur pueden otorgarle esta propiedad (Baglio, 2014).

Como complemento a la presente investigación, en trabajos posteriores se realizarán estudios de análisis sensorial con un panel entrenado y de aceptabilidad con consumidores, de manera tal de tener una mayor valoración del producto obtenido. Otros potenciales factores para estudiar son la influencia sobre el comportamiento reológico ocasionados por procesos de homogeneización, variación de pH y tiempos y temperaturas de los tratamientos térmicos.

Otros aportes de alta importancia para el producto final resultarían de estudiar cómo la estabilidad microbiológica y fisicoquímica de las presentes bebidas son afectadas al variar las composiciones de los hidrocoloides, cantidad de sólidos totales y sorbato de potasio (agente estabilizante). Este último podría ajustarse de modo que la bebida cumpla con los requisitos de estabilidad requeridos para una satisfactoria comercialización.

## CONCLUSIONES

- La combinación de los distintos hidrocoloides influye notoriamente sobre el comportamiento reológico, lo cual permite obtener una variedad de bebidas a partir de una misma formulación base. El aprovechamiento de los efectos sinérgicos permitió utilizar una concentración global de hidrocoloides alrededor de 8 veces menor a los encontrados en el mercado.
- La mezcla de gomas son el factor que gobierna la viscosidad del producto estudiado; al aumentar su concentración, se incrementa notoriamente la viscosidad aparente. Este factor tiene un efecto un 75 % mayor sobre la viscosidad aparente promedio que el otorgado por la gelatina.
- El almidón tiene una influencia sobre la viscosidad aparente similar al de las gomas a bajos gradientes de deformación, pero cuando aumenta pierde su influencia, asemejándose más al efecto de la gelatina. En promedio, influye un 29 % más que la gelatina sobre la viscosidad aparente. Además, es el hidrocoloide de mayor influencia sobre todos los parámetros de los modelos reológicos, actuando de forma directa para el límite de fluencia, índice de consistencia e índice de tixotropía y de forma indirecta sobre el índice de comportamiento.
- La gelatina es el hidrocoloide que menos influye sobre la viscosidad aparente y los parámetros reológicos dentro del rango experimental estudiado; no obstante, para la obtención del producto esperado se requiere del efecto combinado de todos los hidrocoloides. Para la obtención de un bajo IT, se recomiendan mayores concentraciones de gelatina.
- Se evidenció que las bebidas lácteas a base de lactosuero estudiadas son fluidos no newtonianos, debido a que exhiben una curva de esfuerzo de corte vs. gradiente de deformación no lineal ( $n \neq 1$ ).
- La investigación realizada demostró que la elaboración de bebidas lácteas a base de lactosuero utilizando almidón modificado, gelatina y mezcla de gomas guar y garrofín como hidrocoloides resulta una alternativa viable para las micro y pequeñas industrias lácteas, principalmente queseras, ya que permite aumentar su sustentabilidad y rentabilidad a través de la revalorización del suero como materia prima, evitando el

- impacto ambiental que genera su vuelco y aprovechando los macro y micronutrientes que posee.
- El producto presenta un muy elevado valor agregado, y además de utilizarse posteriormente a la obtención de suero líquido puede elaborarse también a partir de materias primas sólidas, propuesta de muy alto interés en regiones con poco o nulo desarrollo de la industria láctea.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Litoral, proyecto CAI+D "Uso de lactosuero en el desarrollo de alimentos con alta demanda como estrategia de sustentabilidad y sostenibilidad en las pymes lácteas" (código: 21820210100042LI). Y especialmente al Instituto de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y sus diferentes áreas, principalmente al área de Leche y Productos Lácteos.

A las industrias Lácteos La Cristina S.A., Milkaut S.A., Sancor CUL, Tregar S.R.L, PB Leiner, Glutal S.A., Heladerías Veneto S.A., Nutralia S.R.L., Simes S.A., La Raiz S.A., Chr-Hansen, Grupo Saporiti, Sacco S.R.L. y Tate & Lyle S.A., por proveer las materias primas necesarias para la formulación de las bebidas lácteas y otros productos a base de lactosuero.

## REFERENCIAS

- AOAC International, 1984. *Official Methods of Analysis*. 14aed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 16.036.
- AOAC International, 2000. *Official Methods of Analysis*, 17aed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.124.
- Argentina. Ministerio de Salud, 1996. *Código alimentario argentino*. Cap. VIII. Buenos Aires: ANMAT.
- Baglio, E., 2014. *Chemistry and technology of yoghurt fermentation*. Berlín: Springer.
- Balcázar, M.E.V., 2011. *Elaboración y aplicación gastronómica del yogur*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- BeMiller, J.N., 2011. Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations. En: *Carbohydrate Polymers*, 86, pp. 386-423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064>
- Brighenti, M.; Govindasamy-Lucey, S.; Jaeggi, J.J.; Johnson, M.E. y Lucey, J.A., 2020. Behavior of stabilizers in acidified solutions and their effect on the textural, rheological, and sensory properties of cream cheese. En: *Journal of Dairy Science*, 103, pp. 2065-2076. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17487>
- Carvalho, F.; Prazeres, A.R. y Rivas, J., 2013. Cheese whey wastewater: characterization and treatment. En: *Science of The Total Environment*, 445-446, pp. 385-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.038>
- Chandan, R.C.; White, C.H.; Kilara, A. y Hui, Y.H., 2008. *Manufacturing yogurt and fermented milks*. New Jersey: John Wiley & Sons.

- Delmonte, A.; Cortez-Latorre, J.D. y Rozycki, S.D., 2022. Whey revalorization through the development of spreadable cheeses. En: *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M*, 2(1), pp. 228–244. DOI: <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11197>
- Derringer, G. y Suich, R., 1980. Simultaneous optimization of several response variables. En: *Journal of Quality Technology*, 12, pp. 214–219. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>
- Elejalde, C.C. y Kokini, J.L., 1992. The psychophysics of pouring, spreading and in-mouth viscosity. En: *Journal of Texture Studies*, 23(3), pp. 315–336. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1992.tb00528.x>
- FAO, s.d. *Leche y productos lácteos* [En línea]. Roma: FAO. [Consulta: 24 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/es/>
- Federación Internacional de Lechería, 1981. FIL 105: *Leche: determinación de contenido graso*. Bruselas: FIL.
- Federación Internacional de Lechería, 1982. FIL 4a: *Quesos y quesos procesados: determinación del contenido de sólidos totales*. Bruselas: FIL.
- Hugunin, A.; Lucey, J.A. y Verdes, S.K., 2009. *US whey ingredients in yogurt and yogurt beverages*. Washington: US Dairy Export Council.
- INDEC, s.d. *Producción agropecuaria* [En línea]. Buenos Aires: INDEC. [Consulta: 25 de Julio de 2022]. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-89>
- Joyner, H.S. y Damiano, H., 2015. Influence of various hydrocolloids on cottage cheese cream dressing stability. En: *International Dairy Journal*, 51, pp. 24–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.06.007>
- Larenas, M., 2010. *Modelos en reología y aplicaciones a fluidos* [En línea]. Santiago: Universidad de Chile. [Consulta: 13 de Julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103837>
- Marcotte, M.; Taherian Hoshahili, A.R. y Ramaswamy, H.S., 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. En: *Food Research International*, 34, pp. 695–703. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00091-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00091-6)
- Mordor Intelligence, s.d. *Mercado de Bebidas a Base de Lácteos: crecimiento, tendencias, impacto de covid-19 y pronósticos (2023-2028)* [En línea]. Hyderabad: Mordor Intelligence. [Consulta: 17 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/dairy-based-beverages-market>
- Mudgil, D. y Barak, S., 2019. Dairy-based functional beverages. En: Grumezescu, A.M. y Holban, A.M., eds. *Milk-based beverages*. Sawston: Woodhead Publishing. pp. 67–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815504-2.00003-7>
- Pang, B.; Wang, S.; Chen, W.; Hassan, M. y Lu, H., 2019. Effects of flow behavior index and consistency coefficient on hydrodynamics of power-law fluids and particles in fluidized beds. En: *Powder Technology*, 366, pp. 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.01.061>
- Pavón, Y.L.; Lazzaroni, S.M.; Sabbag, N.G. y Rozycki, S.D., 2014. Simultaneous effects of gelatin and espina corona gum on rheological, physical and sensory properties of cholesterol-reduced probiotic yoghurts. En: *International Journal of Food Science and Technology*, 49(10), pp. 2245–2251. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12538>

- Priyanka, R.M.; Sarma, M. y Mukesh, K., 2022. Non-enzymatically hydrolyzed guar gum and orange peel fibre together stabilize the low-fat, set-type yogurt: A techno-functional study. En: *Food Hydrocolloids*, 122, 107100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107100>
- Rozycki, S.D. y Seguro, E.F., 1995. Yogur: cuantificación e influencia de los parámetros reológicos. En: *Revista Argentina de Lactología*, 7, pp. 39–56.
- StatPoint Technologies, Inc., 2009. *STATGRAPHICS Centurion XVI*. [En línea]. Vers. 16.2.04. The Plains: StatPoint Technologies, Inc. [Consulta: 10 de Abril de 2022]. Disponible: <https://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>
- StatPoint Technologies, Inc., 2010. *STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual*. Estados Unidos. [Consulta: 25 de julio de 2022]. Disponible: <https://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2015/03/Centurion-XVI-Manual-Principal.pdf>
- Sarboon, N.M.; Badii, F. y Howell, N.K., 2015. The effect of chicken skin gelatin and whey protein interactions on rheological and thermal properties. En: *Food Hydrocolloids*, 45, pp. 83–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.008>
- Smithers, G.W., 2008. Whey and whey proteins - From 'gutter-to-gold.' En: *International Dairy Journal*, 18, pp. 695–704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Sun, S.; Xu, X.; Liang, L.; Wang, X.; Bai, X., Zhu, L. y Zhao, J., 2021. Lactic acid-producing probiotic *Saccharomyces cerevisiae* attenuates ulcerative colitis via suppressing macrophage pyroptosis and modulating gut microbiota. En: *Frontiers in Immunology*, 12, 777665. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.777665>
- Yousefi, M. y Jafari, S.M., 2019. Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. En: *Trends in Food Science & Technology*, 88, pp. 468–483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.015>