

Congreso Latinoamericano

# CLICAP

Ingeniería y Ciencias Aplicadas

# 2022

# MEMORIAS

## 6, 7 Y 8 DE ABRIL

SAN RAFAEL MENDOZA REPUBLICA ARGENTINA



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
**CIENCIAS APLICADAS  
A LA INDUSTRIA**



**CLICAP 2022**  
Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas  
San Rafael – Mendoza – Argentina  
06, 07 y 08 de Abril de 2022

**Universidad Nacional de Cuyo**

(Mendoza, República Argentina)

Rector: Ing. Agr. Daniel Ricardo Pizzi

Vicerrector: Dr. Prof. Jorge Horacio Barón

**Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria**

(San Rafael, Mendoza, República Argentina)

Decano: Dr. Ing. Daniel Alfredo Castro

Vicedecano: Mgter. Ing. Rogelio Oscar Di Santo



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE  
**CIENCIAS APLICADAS  
A LA INDUSTRIA**

**C** Congreso Latinoamericano  
**CLICAP**  
Ingeniería y Ciencias Aplicadas

San Rafael – Mendoza –Argentina  
2022

Universidad Nacional de Cuyo- Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria  
CLICAP 2022: Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas / compilación de  
Mónica Beatriz Barrera ... [et al.]. - 1a ed. - San Rafael: Facultad de Ciencias Aplicadas a la  
Industria de la Universidad Nacional de Cuyo, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN 978-987-46333-3-0

1. Ingeniería. 2. Congreso. I. Barrera, Mónica Beatriz, comp. II. Título.  
CDD 607.1

Fecha de catalogación: 04/03/2022

San Rafael, Mendoza, 1ª Edición 2022.

ISBN: 978-987-46333-3-0  
Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria  
Bernardo de Irigoyen 375, 5600. San Rafael, Mendoza, Argentina

## **Autoridades Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria**

### ***Decano***

Dr. Ing. Daniel Alfredo CASTRO  
[dcastro@fcai.uncu.edu.ar](mailto:dcastro@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Vicedecano***

Mgter. Ing. Rogelio Oscar DI SANTO  
[rdisanto@fcai.uncu.edu.ar](mailto:rdisanto@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría Académica***

Esp. Ing. María Eugenia CASTRO - [mecastro@fcai.uncu.edu.ar](mailto:mecastro@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado***

Dra. Ing. Silvia Cristina CLAVIJO - [scclavijo@fcai.uncu.edu.ar](mailto:scclavijo@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría de Asuntos Estudiantiles***

Ing. Yanina Nahir ALÍAS - [ynalias@fcai.uncu.edu.ar](mailto:ynalias@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría Administrativa Financiera***

Cont. Liliana Rosa PÉREZ - [liperez@fcai.uncu.edu.ar](mailto:liperez@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría de Comunicaciones e Informática***

Ing. Fabián Rafael TALIO - [ftalio@fcai.uncu.edu.ar](mailto:ftalio@fcai.uncu.edu.ar)

### ***Secretaría de Extensión y Vinculación***

Ing. Martín A. MOYANO - [mamoyano@fcai.uncu.edu.ar](mailto:mamoyano@fcai.uncu.edu.ar)

## Comité Científico

- Dra. María Esther Balanza
- Dr. Aldo Roberto Boccaccini
- Dra. María Silvina Cabeza
- Dr. Daniel Alfredo Castro
- Dra. Lidia Catalán
- Dr. Andrés Ciolino
- Dra. Silvia Cristina Clavijo
- Dra. Sonia Concari
- Dra. Diana Constenla
- Dr. Guillermo Crapiste
- Dra. María Guadalupe Cuitiño
- Mgter. Jorge De Ondarra
- Dr. Martín Leandro Fanzone
- Dra. Gabriela Feresin
- Dra. Cecilia Adriana Flores
- Dra. Carina Llano
- Dr. Rodrigo Javier López Plantey
- Mgter. Laura Lucero
- Dra. María Eugenia Márquez
- Dra. María Carolina Martín
- Dr. Carlos Martínez
- Dr. Rodolfo Mascheroni
- Dra. María Gabriela Merín
- Dr. Daniel Millán
- Dr. Marcelo Molina
- Dra. Vilma Morata
- Dra. Verónica Cecilia Musale
- Esp. Ing. Laura Najjar
- Dr. Claudio Narambuena
- Dr. Mario Ninago
- Dra. Alicia Ordóñez
- Dra. Nora Beatríz Pece
- Dra. María Élide Pirovani
- Dra. Luciana Prendes
- Dra. Ana Gabriela Qüesta
- Dr. Franco Leonardo Redondo
- Dra. Andrea Ridolfi
- Dr. Augusto Roggiero
- Dra. Carina Rubau
- Mgter. Graciela Serrano
- Dra. Delia Paola Urfalino
- Dr. Marcelo Villar
- Dra. Noemí Zaritzky

## Comité Organizador

### Presidente de la Organización:

- Dra. Silvia Cristina Clavijo

### Integrantes:

- Prof. Mónica Barrera
- Ing. Marianela del Carmen Bignert
- Ing. Raúl Carrión
- Ing. Enrique Cerioni
- Tec. Luis Finocchio
- Ing. Daniela Funes
- Ing. María Carolina Giaroli
- Dra. María Carolina Martín
- Ing. Silvana Martínez
- Ing. Martín Moyano
- Prof. Camila Macarena Muñoz
- Dra. Verónica Cecilia Musale
- Dr. Mario Ninago
- Dra. Alicia Ordóñez
- Lic. Andrés Peñasco
- Cont. Liliana Pérez
- Lic. Guillermo Poblete
- Ing. Heber Noé Possa
- Dr. Augusto Roggiero
- Ing. Alicia María Sánchez
- Mgter. Graciela Serrano
- Ing. Sergio Sini
- Ing. Fabián Talio
- Dra. Delia Paola Urfalino



## **Presentación**

*Bienvenidos a la 6° Edición del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas “CLICAP 2022” y su evento asociado el 5° Encuentro AUSAL, que se desarrollará, los días 6, 7 y 8 de Abril de 2022, en la sede de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria de la Universidad Nacional de Cuyo, sede San Rafael.*

*El momento que vivimos hoy muestra la relevancia de impulsar un evento como este, en el país, reuniendo a reconocidos especialistas de diferentes partes del mundo, con el fin de encontrar soluciones que contribuyan a la recuperación que tanto necesita el sector industrial.*

*La edición anterior del CLICAP contó con la asistencia de investigadores provenientes de Universidades e Institutos científicos de BRASIL, CHILE, COLOMBIA, VENEZUELA, ECUADOR, ARGENTINA, ESPAÑA con la presentación de 281 ponencias orales de trabajos de investigación, seis mesas redondas y cuatro conferencias contando con más de 400 inscriptos.*

*La Institución se encuentra movilizada esperando una gran concurrencia de investigadores, alumnos y profesionales sumando conocimiento, desarrollo e innovación a los desafíos por venir.*

*Deseamos que el evento supere ampliamente las expectativas y que disfruten de la cordialidad de nuestra casa de estudios.*

**Comisión Organizadora**

**CLICAP 2022**

## Estrategias tecnológicas para obtener yogur alto en proteínas. Influencia sobre parámetros fisicoquímicos y de textura.

### Technological strategies for the production of high-protein yogurt. Effects on physicochemical and texture parameters.

M. Victoria Beret<sup>1</sup>, Claudia I. Vénica<sup>1,2</sup>, Silvina Rebechi<sup>1,2</sup>, M. Soledad Caballero<sup>1</sup>, Leila Pozza<sup>1</sup>, M. Laura Spotti<sup>3</sup>, Juan P. Quintero<sup>3</sup>, I. Verónica Wolf<sup>1,2</sup>, M. Cristina Perotti<sup>1,2</sup>

1. Instituto de Lactología Industrial (UNL-CONICET). Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina. 2. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral (FIQ-UNL). Santiago del Estero 2829, Santa Fe, Argentina. 3. Instituto de Tecnología de los Alimentos (FIQ-UNL). 1° de Mayo 3250, Santa Fe, Argentina. [mvb2321@gmail.com](mailto:mvb2321@gmail.com)

#### Resumen

Se elaboraron yogures altos en proteínas utilizando leche concentrada por ultrafiltración como único componente o en combinación con polvos lácteos (concentrados de proteína de suero al 35 y 80% y leche en polvo descremada) para la formulación de la leche base. Se monitoreó el pH y formación del gel durante la fermentación. La acidez, la composición global y la capacidad de retención de agua fueron evaluadas a los 21 días de almacenamiento. Además, se obtuvieron micrografías por microscopía confocal de barrido para caracterizar la microestructura y se analizó el perfil de textura por compresión de los productos al final del almacenamiento. Los yogures obtenidos alcanzaron niveles de proteína entre 6,6 y 8,3% y entre 15,4 y 17,5% de sólidos totales. Los tiempos de coagulación fueron variables según las distintas composiciones (entre 126 y 210 min), al igual que los tiempos de fermentación (270-300 min). Las características del gel durante la fermentación se correlacionaron con los parámetros de textura a los 21 días, que también difirieron según las distintas composiciones de los yogures. Las micrografías permitieron detectar la distribución de los agregados de proteínas formados según cada formulación.

Yogur alta proteína, formación del gel, textura, microestructura

#### Abstract

High protein yogurts were made using milk concentrated by ultrafiltration, as the only component, or in combination with dairy powders (35 and 80% whey protein concentrates and skim milk powder), for the base milk formulation. pH and gel formation were monitored during fermentation. Acidification, global composition and water holding capacity were evaluated after 21 days of storage. In addition, scanning confocal microscopy micrographs were obtained to characterize the microstructure of the yogurts and the texture profile by compression was analyzed on the final products. Yogurts reached protein levels between 6.6 and 8.3% and between 15.4 and 17.5% of total solids. The coagulation times were variable according to the different formulations (between 126 and 210 min), as well as the fermentation times (270-300 min). The characteristics of the gel during fermentation were well correlated with the texture parameters of yogurts at 21 days, which also differed according to the different formulations of milk base employed for the yogurt making. The micrographs allowed to detect the distribution of the protein aggregates formed according to each formulation.

High protein yogurt, gel formation, texture, microstructure.

#### 1. Introducción

El yogur es uno de los productos lácteos fermentados más comúnmente consumidos a nivel mundial (Brodziak *et al.*, 2020). Es un alimento muy nutritivo ya que contiene proteínas de alto valor biológico, minerales (Ca, P) y otros importantes nutrientes (Jin *et al.*, 2016). Típicamente, la

elaboración de yogur involucra la fortificación de la leche base para aumentar el contenido proteico y de sólidos totales, y para mejorar las características sensoriales del producto (Moghaddas *et al.*, 2018). Para tal fin, se puede fortificar la leche con ingredientes lácteos (leche en polvo, concentrados o hidrolizados de proteínas lácteas), y no lácteos (polisacáridos, etc.), o concentrar la leche por

evaporación o procesos de membranas (Chandan, 2017). Particularmente, la ultrafiltración (UF) es una de las tecnologías de membranas más utilizadas en la industria. La estrategia empleada para fortificar la leche afecta la composición, en cuanto al contenido de lactosa, principal sustrato de la fermentación láctica, y de los otros macro y microcomponentes, y por lo tanto en el proceso de fermentación (formación del gel/coágulo, pH de gelificación y cinética de acidificación), lo que finalmente impactará en las características de textura y flavor del producto obtenido (Chandan, 2017; Oliveira *et al.*, 2001). También influirán en las características del producto final el tratamiento térmico aplicado a la leche base o mezcla de partida, la homogeneización, la temperatura/tiempo de incubación, el tipo y propiedades del starter, la velocidad de acidificación, condiciones de almacenamiento, entre otros (Heck *et al.*, 2021). Específicamente, la textura es uno de los atributos más importantes que influyen en la calidad y aceptación por parte del consumidor. La consistencia cremosa y suave y la ausencia de sinéresis son atributos muy apreciados (Delikanli y Ozcan, 2017).

En las últimas décadas han cobrado especial interés los lácteos incrementados en proteínas como por ej. el yogur estilo Griego (7-10% proteínas y 0,2-5% grasa) y las bebidas fortificadas con proteínas, en consonancia con las nuevas tendencias del mercado (Chandan, 2017). Estos productos se caracterizan por tener mayor firmeza, viscosidad y  $G'$  (módulo elástico o de almacenamiento) dado que hay mayor cantidad de proteínas participando en la formación de la red tridimensional del gel. Además, son beneficiosos desde el punto de vista nutricional debido a la capacidad de las proteínas lácteas de aumentar la cantidad y variedad de aminoácidos plasmáticos y de desencadenar la síntesis de proteínas musculares (Jørgensen *et al.*, 2019). Asimismo, la ingestión de proteínas en la dieta tiene un mayor efecto sobre la saciedad que la obtenida a partir de grasas o carbohidratos (Benelam, 2009).

Jørgensen *et al.* (2015) estudiaron los efectos de la desnaturalización de las proteínas de suero, mediante distintos tratamientos térmicos, y de la relación proteínas de suero/caseína en la estructura, propiedades reológicas y sensoriales en yogures con alto contenido proteico (~8%) y bajos niveles de grasa (~0,3%), formulados a partir de un concentrado de caseína (obtenido por microfiltración) y proteínas de suero nativas. Mediante la combinación de relaciones proteínas de suero/ caseína, bajas o intermedias, y un tratamiento suave (75°C-5min) obtuvieron yogures con menor firmeza, menor  $G'$  y con mejores características sensoriales. Por otra parte, Puvanenthiran *et al.* (2002) analizaron la evolución del módulo  $G'$  durante la fermentación de yogures (aprox. 4,2% de

proteínas), elaborados con leche en polvo descremada y concentrados de proteínas de suero en polvo (25, 40, 51, 63 y 80% de proteína), de manera de tener distintas relaciones de caseínas/proteínas de suero, y manteniendo los sólidos totales entre 9 y 15%. Se observó que al disminuir la relación caseínas/proteínas de suero la fuerza del gel formado fue mayor, la sinéresis se redujo y los yogures fueron menos viscosos. Además, los geles con menores proporciones de caseínas mostraron una microestructura más fina, con numerosos poros pequeños y una red más entrecruzada y densa. Narayana y Gupta (2018) informaron mayor capacidad de retención de agua, un aumento en los niveles de acetaldehído (compuesto característico del volatilo de yogur) y una textura mejorada en yogur (1,5% de grasa y 4,6% proteínas) elaborado con retentado de UF, y no se observó efecto sobre la carga microbiana. Magenis *et al.* (2006) estudiaron las propiedades de flujo, el perfil de textura y la sinéresis en yogures descremados (0,5% materia grasa) y con 3,3 - 3,5% de proteína formulados completamente con leche concentrada por UF y con la combinación de suero de queso concentrado UF y leche concentrada por UF (80:20, respectivamente). Los productos que tenían concentrado de suero mostraron menor viscosidad aparente, mayor tixotropía, menor firmeza, menor adhesividad, mayor cohesividad y mayor índice de sinéresis que los elaborados solamente con leche concentrada.

Particularmente, estudios que evalúen el seguimiento de la formación del gel durante la fermentación de yogures mediante la medición del módulo de almacenamiento y de pérdida ( $G'$  y  $G''$ ), y el efecto de diferentes ingredientes y tecnologías son abundantes (Haque *et al.*, 2001; Puvanenthiran *et al.*, 2002; Peng *et al.*, 2009). Sin embargo, esta caracterización en yogures altos en proteínas y a través de mediciones no reométricas es escasa (Serra *et al.*, 2007).

El objetivo de este trabajo fue estudiar diversas estrategias para incrementar el contenido proteico en yogur y analizar su efecto en la formación del gel/coágulo durante la fermentación y en las características fisicoquímicas, de textura y microestructura de los productos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

Los ingredientes: leche concentrada por ultrafiltración y su respectivo permeado (MC, 8,5% p/v proteínas y MP, 0,1% p/v proteínas), crema de leche (C, 46% p/v grasa), leche en polvo descremada (SMP) y concentrados de proteínas de suero al 35 y 80% (WPC35 y WPC80, respectivamente), fueron

provistos por Milkaut S.A. (Franck, Argentina). La pectina fue suministrada por Saporiti S. A. (Buenos Aires, Argentina). El fermento clásico de yogur (YF-L811), compuesto por *S. thermophilus* y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, fue provisto por Hansen (Buenos Aires, Argentina).

## 2.2. Elaboración de los yogures

Se prepararon 4 bases lácteas distintas con los ingredientes mencionados en diferentes proporciones para conseguir yogures con 6-8% p/v de proteínas y aprox. 1,5% p/v de grasa; en todos los casos se adicionó pectina (0,15% p/v).

Se elaboraron 4 tipos de yogures: Y1 (MC+C), Y2 (MC+WPC80+C), Y3 (MC+WPC35+C) y Y4 (MC+WPC80+SMP+C), a escala laboratorio (500 mL). Se utilizó un protocolo estandarizado para yogur tipo batido (Vénica *et al.*, 2019) que consistió en hidratar los ingredientes en condiciones de refrigeración, homogeneización, tratamiento térmico (85°C/ 30 min.), enfriamiento a la temperatura de fermentación, inoculación con el fermento e incubación a 42°C en baño termostático hasta alcanzar el pH final (4,75±0,05), enfriamiento a 18-20°C y almacenamiento a 5°C por 21 días. Se midió la acidez titulable (AT) y el pH de las leches base, y el seguimiento de la fermentación se realizó con mediciones de pH. Simultáneamente, se evaluó el proceso de gelificación/coagulación durante la fermentación por IR cercano, según lo detallado a continuación. A los yogures con 21 días, se les evaluó la acidez (pH y AT), la capacidad de retención de agua (CRA) y la composición global, y se analizó el perfil de textura y la microestructura. Las elaboraciones se ensayaron por triplicado.

## 2.3. Evaluación de las propiedades de gelificación/coagulación

Se analizó la evolución de la formación del gel o coágulo durante la fermentación empleando un equipo Optigraph® (Alliance, Francia). El método se basa en la medición de la atenuación de la señal óptica en el IR cercano durante el proceso fermentativo. El equipo está provisto por 10 cubetas, en las que se colocaron las leches bases (10 mL), por duplicado, inmediatamente después de la inoculación con el fermento. La temperatura se configuró en 42±2°C y el tiempo total de monitoreo fue de 5 h.

A partir de las curvas de coagulación (%intensidad de luz emitida vs tiempo) se obtuvieron cuatro parámetros: TC, tiempo correspondiente al comienzo de la coagulación (min), dado por el máximo de la primera derivada de la curva; F<sub>f</sub>, firmeza final del gel (Volts); DG, índice de

densidad del gel al final de la coagulación (% intensidad de luz emitida), calculado como la diferencia entre la firmeza final y la firmeza inicial (F<sub>i</sub>), y VA, velocidad de agregación (% intensidad de luz emitida/min) representada por la pendiente de la región lineal de la curva (Serra *et al.*, 2007).

## 2.4. Análisis fisicoquímicos

Se midió el pH con pHmetro digital (Orion 3 star benchtop, Thermo Fisher Scientific Inc., EEUU) (Bradley *et al.*, 1992). La acidez titulable (AT) fue determinada por titulación con solución de NaOH N/9, expresándose los resultados en grados Dornic (1 °D = 1 mg ácido láctico/10 mL leche) (International Dairy Federation, IDF 150:2012). La determinación de los contenidos de proteínas, sólidos totales y materia grasa se llevaron a cabo por métodos normalizados (International Dairy Federation, IDF 020-1/2:2001, IDF 151:2005, IDF 1D:1996, respectivamente). También se determinó la capacidad de retención de agua (CRA) del gel de yogur por pesada del suero liberado luego de la centrifugación de la muestra en condiciones estandarizadas (20 °C/5000 g/10 min) (Akalin *et al.*, 2012). Los análisis se realizaron por duplicado.

## 2.5. Análisis de perfil de textura por compresión

El ensayo de perfil de textura se realizó de acuerdo a lo descrito en Casa-Aléncaster y Pardo-García (2005) en una máquina universal de ensayos INSTRON Modelo 3344 (Instron, EEUU) realizando dos ciclos de compresión a un nivel de deformación del 30%. La muestra de yogur (35 mm de diámetro y 30 mm de altura) se estabilizó previamente a 10 °C por 30 min. Se utilizó una fuerza de contacto de 0,05 N, a una velocidad de 1 mm/s y un tiempo de espera entre el primer y el segundo ciclo de 5 s.

A partir de la curva fuerza-tiempo se obtuvieron los siguientes parámetros: **dureza**, fuerza máxima en el primer ciclo de compresión; **índice de recuperación elástica instantánea (IREI)**, cociente de la distancia recuperada por la muestra durante la descompresión del primer ciclo sobre la distancia comprimida; **índice de recuperación elástica retardada (IRER)**, cociente de la distancia recuperada por la muestra entre el término de la compresión del primer ciclo y el inicio de la compresión del segundo ciclo sobre el área positiva del primer ciclo; **masticabilidad**, producto de la dureza, la cohesividad y IRER; **cohesividad**, relación del área positiva del segundo ciclo de compresión sobre el área positiva del primer ciclo; **resiliencia**, relación entre el área de descompresión y el área de compresión del primer ciclo, y **adhesividad**, área negativa luego del primer

ciclo de compresión. Los ensayos se realizaron por duplicado.

## 2.6. Microestructura

La microestructura de los yogures fue estudiada mediante microscopía confocal de barrido, con un microscopio tipo confocal invertido con sistema de detección espectral SP de alta sensibilidad (Leica, modelo TCS SP8, Alemania). Se empleó rodamina B como fluoróforo para la tinción de las proteínas. La longitud de onda de excitación fue de 568 nm.

## 2.7. Análisis estadístico

Se aplicó ANOVA de una vía con un nivel de significancia  $p < 0,05$ . La comparación de medias fue realizada mediante test de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Se empleó el software Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc., EEUU).

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Evolución de la fermentación y seguimiento de la coagulación

El pH y la AT de las leches base se muestran en la Tabla 1.

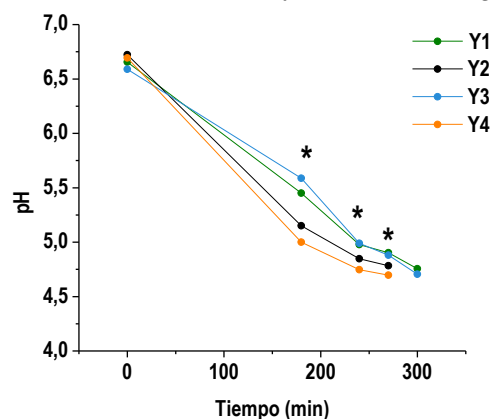
**Tabla 1. pH y AT de leches bases**

	pH	AT (°D)
Y1	6,66±0,05 <sup>a,b</sup>	22,17±0,93 <sup>a,b</sup>
Y2	6,72±0,01 <sup>a</sup>	21,79±1,36 <sup>b</sup>
Y3	6,59±0,05 <sup>b</sup>	25,00±0,80 <sup>a</sup>
Y4	6,69±0,04 <sup>a</sup>	23,91±2,08 <sup>a,b</sup>

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas

El pH de la formulación Y3 fue menor ( $p < 0,05$ ) respecto a Y2 y Y4, aunque no se observaron diferencias ( $p > 0,05$ ) con Y1; estos resultados se correlacionaron con mayores valores ( $p < 0,05$ ) de AT en Y3 respecto a Y2.

El pH target (4,70-4,80) fue alcanzado entre 270 y 300 minutos de incubación a 42°C. En general, las fermentaciones Y1 y Y3 fueron más lentas que las restantes (Figura 1). Y3 mantuvo el mayor nivel de pH hasta los 180 min respecto al resto, seguido por Y1, y ambos superando a Y2 y Y4 ( $p < 0,05$ ). A los 240 min Y1~Y3>Y2>Y4 ( $p < 0,05$ ). A los 270 min concluyó la fermentación de Y2 y Y4, mientras que Y1 y Y3 demoraron 300 minutos en alcanzar el pH final. Se ha reportado que formulaciones con elevado contenido proteico tienen mayor capacidad buffer, lo que se traduce en un mayor tiempo de fermentación (Jorgensen *et al.*, 2019). En efecto, Jorgensen *et al.* (2015) observaron diferencias en los tiempos de fermentación de yogures altos en



**Figura 1. Evolución del pH durante la fermentación. (\*) indica diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).**

proteína (~8%) con distintos contenidos y relaciones caseínas/proteínas de suero: los mayores tiempos de fermentación se dieron en aquellas formulaciones que no tenían proteínas de suero adicionadas, con una relación caseínas/proteínas de suero de 90:10. También detectaron que a menor relación caseínas/proteínas de suero los tiempos de fermentación fueron menores, con una diferencia de 100 minutos entre yogures con 90:10 respecto a otros con relación 55:45. Estas diferencias se atribuyeron a la capacidad buffer, aminoácidos liberados y otros compuestos solubles presentes (fosfato de calcio y citrato).

En la Figura 2 se muestra una curva típica obtenida durante la formación del gel de yogur en el equipo Optigraph. Los parámetros obtenidos se muestran en la Tabla 2. El yogur Y1 requirió un tiempo mayor ( $p < 0,05$ ) que el resto de los yogures para comenzar a coagular/gelificar, en coincidencia con el mayor tiempo de fermentación respecto a los yogures Y2 y Y4. Puvanenthiran *et al.* (2002) también observaron un retardo en el comienzo de la coagulación a través de medidas reológicas en aquellos yogures que más tiempo demoraron en alcanzar el pH final, los que se formularon manteniendo constante la concentración de proteína (4,18%) y con distintas relaciones caseínas/proteínas de suero.

La firmeza de los yogures fue variable y se correlacionó con la densidad del gel: Y1>Y2>Y3~Y4. Si bien el índice de densidad del gel da idea de la interacción entre las partículas y la densidad de la red formada, no representa exactamente la textura del yogur. Además, a la temperatura de la realización de la medición (42°C)

**Tabla 2. Parámetros de coagulación**

	Y1	Y2	Y3	Y4
TC (min)	210,13±8,52 <sup>a</sup>	126,55±5,66 <sup>b</sup>	128,25±0,42 <sup>b</sup>	127,10±2,75 <sup>b</sup>
F <sub>i</sub> (V)	29,79±1,11 <sup>a</sup>	18,24±1,21 <sup>b</sup>	6,53±0,65 <sup>c</sup>	8,62±0,28 <sup>c</sup>
DG (%intensidad)	79,57±5,44 <sup>a</sup>	37,51±2,38 <sup>b</sup>	13,40±1,63 <sup>c</sup>	15,70±0,94 <sup>c</sup>
VA (%intensidad/min)	0,06±0,02 <sup>c</sup>	0,30±0,12 <sup>b</sup>	ND	1,15±0,04 <sup>a</sup>

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas

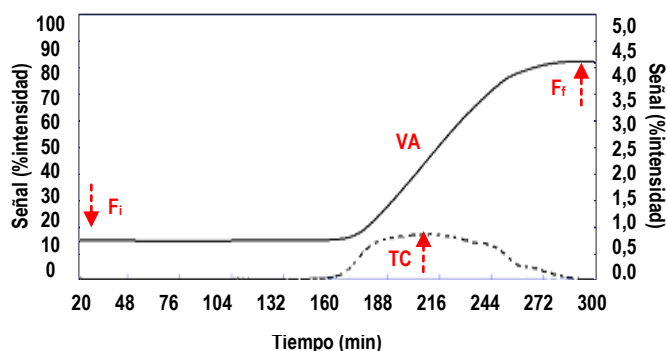


Figura 2. Curva típica señal vs tiempo durante la coagulación del yogur (Serra et al., 2007).

la materia grasa se encuentra en estado líquido. Asimismo, el volumen y forma de las micelas de caseína se ven afectados al disminuir la temperatura. Ambos factores influyen en la textura del producto (Serra et al., 2007). La mayor velocidad de agregación se dio en Y4 y la menor en Y1 ( $p<0,05$ ), niveles intermedios se observaron en Y2. Para Y3 no se pudo calcular este parámetro, ya que la pendiente de la curva fue muy suave, lo que podría asociarse a una muy baja velocidad de agregación. Estos resultados coincidieron con los tiempos de fermentación observados.

### 3.2. Parámetros fisicoquímicos de los yogures

La composición global de los yogures se muestra en la Tabla 3. Los contenidos de proteínas fueron similares entre Y1 y Y2 y mayores que en Y3 y Y4 ( $p<0,05$ ). Los niveles de materia grasa fueron equivalentes en todas las muestras ( $p>0,05$ ). Por otra parte, los sólidos totales fueron significativamente mayores en Y3 que en el resto de los yogures ( $p<0,05$ ). Las diferencias encontradas en este último parámetro podrían ser atribuidas a diferentes niveles de lactosa incorporada a través de los ingredientes en polvo.

Los valores de pH y CRA (Tabla 4) no mostraron diferencias significativas entre las muestras ( $p>0,05$ ), mientras que la AT fue mayor en Y1 y Y3 y menor en Y2 ( $p<0,05$ ). La acidez titulable estuvo dentro del rango establecido por la Legislación Argentina (CAA 2019). Los valores de estos tres parámetros fueron similares a los reportados por Vénica et al. (2020) para yogures con contenidos proteicos entre 4,13 y 5,54% y bajos en grasa (~1,5%), formulados con la incorporación de distintos ingredientes lácteos (SMP, WPC40, WPC80, hidrolizado y aislado de proteínas de suero

Tabla 3. Composición global

	Proteína (%)	Grasa (%)	Sólidos totales (%)
Y1	8,30±0,11 <sup>a</sup>	1,46±0,12 <sup>a</sup>	15,42±0,64 <sup>b</sup>
Y2	8,44±0,08 <sup>a</sup>	1,26±0,09 <sup>a</sup>	15,40±0,40 <sup>b</sup>
Y3	7,96±0,07 <sup>b</sup>	1,34±0,04 <sup>a</sup>	17,55±0,35 <sup>a</sup>
Y4	6,64±0,16 <sup>c</sup>	1,39±0,08 <sup>a</sup>	15,61±0,24 <sup>b</sup>

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas

y suero desmineralizado) tras 21 días de almacenamiento. Particularmente, Narayana y Gupta (2016) hallaron valores similares de CRA a los de este trabajo, para yogures elaborados con leche concentrada por UF (factor de concentración, 1,5), con ~5,3% de proteínas; asimismo, estos resultados superaron a los obtenidos para yogures formulados con leche sin concentrar.

Tabla 4. pH, acidez y CRA

	pH	AT (°D)	CRA (%)
Y1	4,37±0,06 <sup>a</sup>	150,25±4,10 <sup>a</sup>	57,56±2,03 <sup>a</sup>
Y2	4,36±0,06 <sup>a</sup>	128,10±8,65 <sup>b</sup>	59,32±2,35 <sup>a</sup>
Y3	4,45±0,08 <sup>a</sup>	148,57±9,35 <sup>a</sup>	56,25±3,87 <sup>a</sup>
Y4	4,35±0,04 <sup>a</sup>	134,30±5,50 <sup>a,b</sup>	56,43±1,94 <sup>a</sup>

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas

### 3.3. Perfil de textura

En la Figura 3 se muestran los resultados del análisis de perfil de textura de los yogures y en la Tabla 5 los valores medios correspondientes a cada parámetro estudiado.

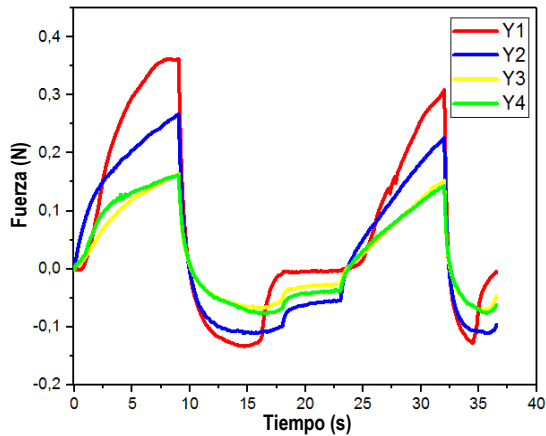
El yogur Y1 presentó la mayor dureza seguido por Y2, encontrándose diferencias significativas entre ambos ( $p<0,05$ ). Estas dos formulaciones se diferenciaron de Y3 y Y4, que presentaron una dureza similar ( $p>0,05$ ) y significativamente más baja que Y1 (más del 50%) y Y2 (un 40% aprox.). Otros parámetros en los cuales se encontraron diferencias significativas fueron la masticabilidad y la adhesividad. El primero es directamente proporcional a la dureza, por lo tanto, la masticabilidad fue mayor en los yogures Y1 y Y2, y menor en Y3 y Y4 en consonancia con la firmeza obtenida. En cuanto a la adhesividad, Y1 y Y2 mostraron valores significativamente mayores respecto a los otros dos yogures ( $p<0,05$ ).

Luego de la deformación aplicada en el ensayo, los yogures exhibieron un alto índice de recuperación elástica instantánea (IREI), que es prácticamente igual al índice de recuperación elástica retardada (IRER), lo que indica que los yogures presentaron alta elasticidad, se recuperaron fácilmente luego del esfuerzo aplicado y no sufrieron deformación permanente en las condiciones del ensayo. No se encontraron diferencias significativas en la cohesividad para las cuatro formulaciones y lo

Tabla 5. Parámetros del perfil de textura

	Y1	Y2	Y3	Y4
Dureza (N)	0,34±0,05 <sup>c</sup>	0,25±0,02 <sup>b</sup>	0,16±0,03 <sup>a</sup>	0,15±0,02 <sup>a</sup>
IREI	0,27±0,02 <sup>a</sup>	0,30±0,05 <sup>b,a</sup>	0,37±0,03 <sup>c</sup>	0,34±0,02 <sup>c,b</sup>
IRER	0,40±0,01 <sup>a</sup>	0,39±0,02 <sup>a</sup>	0,39±0,01 <sup>a</sup>	0,39±0,01 <sup>a</sup>
Cohesividad	0,59±0,02 <sup>a</sup>	0,59±0,07 <sup>a</sup>	0,63±0,05 <sup>a</sup>	0,65±0,05 <sup>a</sup>
Resiliencia	0,06±0,01 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>a</sup>	0,07±0,02 <sup>a</sup>	0,08±0,02 <sup>a</sup>
Masticabilidad (N)	0,08±0,01 <sup>b</sup>	0,06±0,01 <sup>a</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>
Adhesividad (J)	0,79±0,15 <sup>b</sup>	0,70±0,11 <sup>b</sup>	0,42±0,12 <sup>a</sup>	0,37±0,07 <sup>a</sup>

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas



**Figura 3. Curvas de análisis de perfil de textura por compresión.**

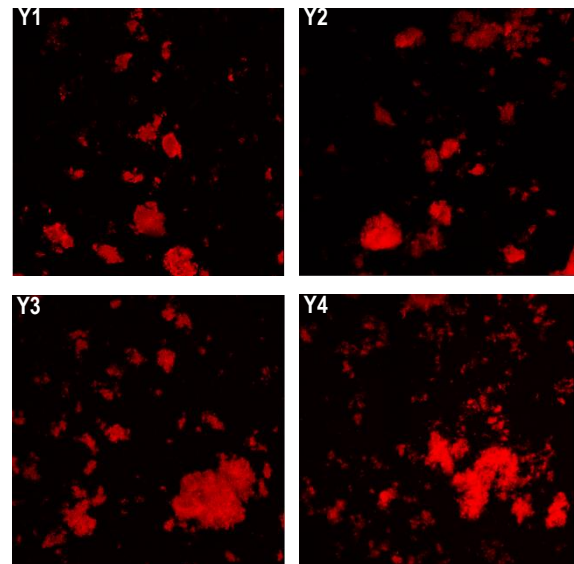
mismo para la resiliencia, que tuvo valores bajos para todas las muestras.

La dureza es uno de los parámetros más importantes para medir la textura del yogur. Se define como la fuerza necesaria para lograr una determinada deformación (Mugdil *et al.*, 2017), la cual depende del contenido de sólidos totales, de la concentración y del tipo de proteínas que contenga, entre otros factores (Magenis *et al.*, 2006). La adhesividad se considera la fuerza necesaria para eliminar el material adherido en la boca al comer. Se considera como una medida de la pegajosidad del yogur. La cohesividad es el nivel al que un material puede deformarse antes de que se rompa y es una medida de la fuerza de los enlaces internos (Mugdil *et al.*, 2017). Oliveira *et al.* (2001) hallaron diferencias en la firmeza en leches fermentadas con alto contenido proteico (6,5%, 11,9% y 17,2%) y cantidades estandarizadas de sólidos totales (15,5%), cuyas composiciones difirieron en la fortificación de la leche base con distintos ingredientes en polvo (suero, hidrolizado de caseína y concentrado de proteínas de leche). La firmeza fue mayor en la formulación con mayor contenido de proteínas que provenía del concentrado de proteínas de leche, y la menor firmeza se observó en el yogur fortificado con suero en polvo. Delikanli y Ozcan (2017) observaron diferencias entre los parámetros de textura en yogures con distintos ingredientes lácteos (caseinato de sodio, caseinato de calcio y concentrado de proteínas de leche) y niveles de proteínas entre 4,6 y 5%. En general, la adición de caseinatos (y el consecuente aumento de la relación caseínas/proteínas de suero) y concentrado de proteínas de leche causó mayor dureza y adhesividad en comparación a un yogur sin fortificación. Además, Narayana y Gupta (2016) observaron diferencias en los valores para todos los parámetros del perfil de textura, en yogures elaborados con leche concentrada por UF, siendo mayor la firmeza y la adhesividad a mayor factor de concentración.

Es importante destacar que los valores de firmeza y densidad del gel determinados con el equipo Optigraph al final de la fermentación (Tabla 2) coincidieron con la dureza de los yogures a los 21 días. El seguimiento de la formación del gel de yogur por medidas ópticas mediante el equipo Optigraph y la posterior caracterización del perfil de textura del producto final no han sido previamente reportados.

#### 3.4. Microestructura

Las imágenes de microscopía confocal muestran los agregados proteicos (color rojo) formados en los yogures (Figura 4). Se pueden distinguir agregados de diferente tamaño en todos los casos. En Y3 y Y4 se puede observar mayor densidad de agregados de menor tamaño que en Y1 y Y2, que presentan agregados más grandes y se encuentran más dispersos. De manera similar, Jørgensen *et al.* (2015) detectaron grandes agregados proteicos y poros de gran tamaño en yogures (~8% proteínas) formulados con concentrados de caseínas. Los yogures tipo batido presentan grandes agrupaciones de caseínas, originadas por la colisión y el esfuerzo que ocurre durante el mezclado. La red tridimensional del gel que podría observarse en un yogur tipo firme desaparece en el batido. En efecto, el yogur batido se caracteriza por una red débil, siendo difícil encontrar partículas individuales ya que se asocian formando clusters de proteínas para formar la red del gel (Lee y Lucey, 2010).



**Figura 4. Micrografías de los yogures.**

#### 4. Conclusiones

La utilización de leche concentrada por UF y la fortificación con ingredientes en polvo permitió obtener yogures incrementados en contenido proteico y descremados, con características fisicoquímicas adecuadas. Las características evaluadas durante la formación del gel mostraron una buena correlación con los parámetros observados en el análisis de textura del producto final. La microestructura de los yogures permitió diferenciar distintos tamaños de agregados proteicos según las distintas composiciones de los yogures, lo que impactó en la textura del producto final.

#### 5. Referencias

Akalin, A. S.; Unal, G.; Dinkci, N.; Hayaloglu, A. A. (2012). *Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate*. Journal of Dairy Science, 95(7), 3617–3628.

Benelam, B. (2009). *Satiation, satiety and their effects on eating behaviour*. In Nutrition Bulletin (Vol. 34, Issue 4, pp. 412–416).

Bradley, R.; Arnold, E.; Barbano, D.; Semerad, R.; Smith, D.; Vines, B. (1992) *Chemical and physical methods*. In: Marshall RT (ed) Standard methods for the examination of dairy products. American Public Health Association (APHA), Washington, USA.

Bradley, R. L.; Arnold, E.; Barbano, D. M.; Semerad, R. G.; Smith, D. E.; Vines, B. (1993). *Chemical and physical methods*. In R. Marshall (Ed.), Standard Methods for the Examination of Dairy Product (pp. 433–531). American Public Health Association.

Brodziak, A.; Król, J.; Barłowska, J.; Teter, A.; Florek, M. (2020). *Changes in the Physicochemical Parameters of Yoghurts with Added Whey Protein in Relation to the Starter Bacteria Strains and Storage Time*. Animals, 10(8), 1350.

Casas-Alencáster, N. B.; Pardo-García, D. G. (2005). *Análisis de perfil de textura y propiedades de relajación de geles de mezclas almidón de maíz ceroso entrecruzado-gelana*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 4(1), 107–121.

Chandan, R. C. (2017). *An overview of yogurt production and composition*. In Yogurt in Health and Disease Prevention. Elsevier Inc.

Código Alimentario Argentino (ANMAT). Capítulo VII: alimentos lácteos.

Delikanli, B.; Ozcan, T. (2017). *Improving the Textural Properties of Yogurt Fortified with Milk Proteins*. Journal of Food Processing and Preservation, 41(5).

Haque, A.; Richardson, R. K.; Morris, E. R. (2001). *Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt*. Food Hydrocolloids, 15(4–6), 593–602.

Heck, A.J.; Schafer, J.; Nobel, S.; Hinrichs, J. (2021) *Fat-free fermented concentrated milk products as milk protein-based microgel dispersions: Particle characteristics as key drivers of textural properties*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 1-32.

IDF 020-1/2:2001 - Milk - Determination of nitrogen content - Part 1/2: Determination of nitrogen content using the Kjeldahl method.

IDF 150:2012. Fermented milks - Determination of titratable acidity - Potentiometric method

IDF 151:2005. Yogurt – Determination of total solid content (Reference method).

IDF-FIL, 1996. International Standard 1D. Determination of Fat Content-Gravimetric Method (Rose-Gottlieb Reference Method).

Jin, Y.; Yu, Y.; Qi, Y.; Wang, F.; Yan, J.; Zou, H. (2016). *Peptide profiling and the bioactivity character of yogurt in the simulated gastrointestinal digestion*. Journal of Proteomics, 141, 24–46.

Jørgensen, C. E.; Abrahamsen, R. K.; Rukke, E. O.; Hoffmann, T. K.; Johansen, A. G.; Skeie, S. B. (2019). *Processing of high-protein yoghurt – A review*. International Dairy Journal, 88, 42–59.

Jørgensen, C. E.; Abrahamsen, R. K.; Rukke, E. O.; Johansen, A. G.; Schüller, R. B.; Skeie, S. B. (2015). *Improving the structure and rheology of high protein, low fat yoghurt with undenatured whey proteins*. International Dairy Journal, 47, 6–18.

Lee, W. J.; Lucey, J. A. (2010). *Formation and physical properties of Yogurt*. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 23(9), 1127–1136.

Magenis, R. B.; Prudêncio, E. S.; Amboni, R. D. M. C.; Cerqueira, N. G.; Oliveira, R. V. B.; Soldi, V.; Benedet, H. D. (2006). *Compositional and physical properties of yogurts manufactured from milk and*



*whey cheese concentrated by ultrafiltration.* International Journal of Food Science and Technology, 41(5), 560–568.

Moghaddas Kia, E.; Ghasempour, Z.; Ghanbari, S.; Pirmohammadi, R.; Ehsani, A. (2018). *Development of probiotic yogurt by incorporation of milk protein concentrate (MPC) and microencapsulated Lactobacillus paracasei in gellan-caseinate mixture.* British Food Journal, 120(7), 1516–1528.

Mudgil, D.; Barak, S.; Khatkar, B. S. (2017). *Texture profile analysis of yogurt as influenced by partially hydrolyzed guar gum and process variables.* Journal of Food Science and Technology, 54(12), 3810–3817.

Narayana N.; Gupta V. (2018). *Storage Changes and shelf Life Of Strawberry Set Yogurt Made By Milk Standardized Using Ultrafiltered Skim Milk Retentate.* International Journal of Scientific & Technology Research 7 (8), 261-268.

Narayana, N. M. N. K.; Gupta, V. K. (2016). *Quality of Plain Set Yoghurt as affected by Levels of Ultrafiltration Concentration of Milk and Inoculum of Yoghurt Culture.* Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 4(6), 508-514.

Oliveira, M. N.; Sodini, I.; Remeuf, F.; Corrieu, G. (2001). *Effect of milk supplementation and culture composition on acidification, textural properties and microbiological stability of fermented milks containing probiotic bacteria.* International Dairy Journal, 11(11–12), 935–942.

Peng, Y.; Serra, M.; Horne, D. S.; Lucey, J. A. (2009). *Effect of fortification with various types of milk proteins on the rheological properties and permeability of nonfat set yogurt.* Journal of Food Science, 74(9).

Puvanenthiran, A.; Williams, R. P. W.; Augustin, M. A. (2002). *Structure and visco-elastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios.* International Dairy Journal, 12(4), 383–391.

Serra, M.; Trujillo, A. J.; Quevedo, J. M.; Guamis, B.; Ferragut, V. (2007). *Acid coagulation properties and suitability for yogurt production of cows' milk treated by high-pressure homogenisation.* International Dairy Journal, 17(7), 782–790.

Vénica, C I.; Bergamini, C. V.; Capra, M. L.; Binetti, A.; Perotti, M. C. (2019). *Desarrollo de un yogur incrementado en proteínas, efecto de la composición de la matriz láctea en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y perfiles de*

*fermentación.* Tecnología Láctea Latinoamericana, 109, 44–49.

Vénica, C. I.; Spotti, M. J.; Pavón, Y. L.; Molli, J. S.; Perotti, M. C. (2020). *Influence of carrot fibre powder addition on rheological, microstructure and sensory characteristics of stirred-type yogurt.* International Journal of Food Science and Technology, 55(5), 1916–1923.