



XVIII CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

IX SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

VII SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE HIGIENE Y CALIDAD DE ALIMENTOS

V SIMPOSIO DE INNOVACIÓN EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Libro de trabajos completos

XVIII CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

XVIII CyTAL[®] 2023

Innovación, sustentabilidad y productividad
en la transformación del sistema alimentario



Asociación Argentina
de Tecnólogos Alimentarios



FACULTAD DE INGENIERÍA
Y CIENCIAS AGRARIAS



Agencia I+D+i

Libro de trabajos completos XVIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos XVIII CyTAL® 2023 / Stella Maris Alzamora, María del Pilar Buera, Ricardo Castellano, Paula Sol Pok, Silvia Mónica Raffellini, Emilia Elisabeth Raimondo, Susana Emilia Socolovsky, Sergio Ramón Vaudagna, Susana Leontina Vidales, Angela Zuleta

1a ed compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios - AATA, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-47615-4-5

1. Tecnología de los Alimentos. I. Alzamora, Stella Maris [et al.].

CDD 641.3002

ISBN 978-987-47615-4-5



9 789874 761545

1028. POTENCIAL APLICACIÓN DE FIBRA DE ZANAHORIA EN LA ELABORACIÓN DE YOGUR INCREMENTADO EN PROTEÍNAS. EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS, TEXTURALES Y PERFILES DE FERMENTACIÓN Y VOLÁTILES

Beret, M. Victoria¹; Robert, Natalia¹; Spotti, Laura²; Quintero Ceron, Juan P.²; Rebechi, Silvina¹; Manuale, Débora³; Quiberoni, Andrea¹; Wolf, I. Verónica; Vénica¹, Claudia I.¹; Perotti, M. Cristina¹

1. *Instituto de Lactología Industrial (UNL-CONICET). Facultad de Ingeniería Química. Santa Fe. Argentina*
2. *Instituto de Tecnología de Alimentos (FIQ-UNL). Facultad de Ingeniería Química. Santa Fe. Argentina.*
3. *Facultad de Ingeniería Química (UNL). Santa Fe. Argentina.*

E-mail: cperotti@fiq.unl.edu.ar

RESUMEN

El yogur es un producto lácteo muy popular, con un buen perfil nutricional, pero carente de fibra. Dado los efectos beneficiosos de las fibras, su incorporación en yogur es un tópico de interés. Por otra parte, el aumento del contenido proteico contribuye a incrementar la saciedad. Ambos factores pueden afectar la fermentación, los parámetros fisicoquímicos y atributos de calidad. En este trabajo se investigó la influencia del agregado de una fibra de zanahoria y el aumento del nivel proteico en la elaboración de yogur de diferentes variedades: deslactosado (D) con una β -galactosidasa y tradicional (T). Los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez titulable -AT-), perfiles de fermentación y compuestos volátiles, sinéresis, viscosidad, perfil de textura (dureza y cohesividad), microestructura y composición global (proteínas, grasa, cenizas, sólidos totales), fueron evaluados. Los yogures se elaboraron a escala laboratorio (500 mL). Se ensayaron dos niveles proteicos (1 y 2) y se estudió el agregado o no de la fibra (F), obteniéndose 4 yogures diferentes para cada variedad: T1, T2, T1F, T2F, y D1, D2, D1F, D2F. Los productos fueron almacenados por 21 días a 8 °C. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de dos vías ($p < 0.05$) y análisis de componentes principales de 2 componentes (PCA) para los compuestos volátiles.

La incorporación de la fibra y el contenido proteico no afectaron la evolución de pH durante la fermentación; el pH target (4.75) se alcanzó en 4 1/2 h. Los factores estudiados no impactaron en la acidez (pH: 4.50-4.61 para T y 4.56-4.67 para D, y AT: 128.9-139.9°D para T y 120.2-131.9°D para D). Se observó un incremento en los contenidos de cenizas, sólidos totales y sinéresis inducida para ambos factores, y para los yogures D y T. Los contenidos de proteínas fueron 5.7 y 6.7 g/100g.

Mayor concentración de lactosa se obtuvo para las leches con mayor contenido proteico, asociado a los ingredientes de la formulación. En general, los perfiles de

fermentación durante el almacenamiento no sufrieron cambios para ambos factores; la reducción de lactosa en los productos D condujo a valores finales de 1.2-1.5 g/100g vs. 6.1-7.5 g/100g en T. Los niveles de ácido láctico fueron 1294.2-1588.2 mg/100g y 1189.3-1436.5 mg/100g para los yogures T y D, respectivamente.

La adición de fibra y el incremento de proteínas produjeron cambios en la dureza y viscosidad para ambas variedades, mientras que el agregado de fibra tuvo efecto en la cohesividad. Las micrográficas mostraron ligeras diferencias entre los productos con y sin fibra; la fibra produjo una interrupción regular de la estructura proteica.

El PCA de los compuestos volátiles mostró para los yogures T, una clara separación entre los yogures con fibra, caracterizados por dicetonas (diacetilo y 2,3-pentanodiona), y los sin fibra, cercanos al acetaldehído y metilcetonas. Una tendencia similar se observó en los productos deslactosados.

La incorporación de este nuevo ingrediente de fibra de zanahoria y el incremento proteico, en la formulación de dos variedades de yogures, serían estrategias prometedoras para aumentar las propiedades saludables de este alimento.

Palabras clave: Fibra de zanahoria, yogur, composición, fermentación, volátiles, textura

1. Introducción

El yogur es uno de los alimentos lácteos fermentados más populares en Argentina y en el mundo (Aryana y Olson, 2017; ocla.org.ar/portafolio/6/#cbp=/Grafico/10599589). Su importancia nutricional radica, principalmente, en su contenido de proteínas de alto valor biológico, su aporte de minerales (calcio, fósforo, magnesio y zinc), vitaminas del grupo B, además puede tener un impacto positivo en la microbiota intestinal (Gahrue y col., 2015). Sin embargo, es un alimento carente naturalmente de fibra dietaria (FD). La FD está constituida por las partes comestibles de plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano y que pueden ser fermentados total o parcialmente en el intestino grueso (AACC, 2001). El incremento del consumo de FD ha cobrado relevancia en los últimos años dadas sus propiedades benéficas para la salud (Dhingra y col., 2012). A la vez, su incorporación como ingrediente alimentario trae otras ventajas, como la capacidad de retención de agua y de aceite, adsorción de glucosa y de colesterol (He y col., 2022). La incorporación de fibras de distintos orígenes en yogur ha sido estudiada (Sendra y col., 2010; Bakirci y col., 2017; Pontonio y col., 2020), entre las que se reporta la fibra de zanahoria, constituyéndose en una alternativa accesible (McCann y col., 2011; Vénica y col., 2019).

Por otra parte, el aumento del contenido proteico también representa una estrategia de interés para magnificar las propiedades nutricionales del yogur, aumentando la disponibilidad de aminoácidos plasmáticos para la formación de masa muscular en el organismo y generando un producto más saciante. La concentración de proteínas en yogur

puede ser incrementada empleando distintas estrategias tecnológicas; entre ellas, la incorporación de proteína de suero es ampliamente utilizada (Jorgensen y col., 2019).

Tanto el agregado de fibra de zanahoria como el incremento proteico pueden afectar el proceso de fermentación y las características del producto. Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo fue investigar la influencia del agregado de un ingrediente rico en fibra, proveniente del procesamiento del descarte de zanahorias, y el aumento del nivel proteico en la elaboración de yogur deslactosado (D) con una β -galactosidasa y tradicional (T), en los parámetros fisicoquímicos, perfiles de fermentación y compuestos volátiles, sinéresis, viscosidad, perfil de textura y microestructura.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

El polvo de fibra de zanahoria contenía 74% de fibra total, 12% de humedad y un tamaño de partículas < 100 Mesh. Los ingredientes lácteos empleados para la elaboración de yogur fueron leche UHT parcialmente descremada (1% grasa), concentrado de proteínas de suero en polvo al 35% (WPC35) (Tregar, Argentina), y leche en polvo descremada (LPD) (Ilolay, Argentina). Se utilizó un fermento de adición directa compuesto por cepas de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruekii* subsp. *bulgaricus* (YF-L811, Hansen, Dinamarca) y una β -galactosidasa (GODO-YNL2, Danisco, Dinamarca). Los productos fueron endulzados con Stevia (Stevia REB-A 98, Steviva Brands, USA).

2.2. Elaboración del yogur

Se elaboraron dos variedades de yogur: deslactosado (D) y tradicional (T), a escala laboratorio (500 mL), según el protocolo de Vénica y col. (2019). Para cada variedad se ensayaron dos factores a dos niveles: F1, agregado o no de fibra (F, 2%) y F2, formulación proteica (1: 6% p/p; 2: 7% p/p), obteniéndose 8 productos, 4 yogures deslactosados (D1, D2, D1F, D2F) y 4 tradicionales (T1, T2, T1F, T2F). En todos los casos se incorporó 0.01% p/p de Stevia. Para los productos D, se adicionó la β -galactosidasa (0.03% p/v). La fermentación transcurrió a 42 ± 1 °C hasta alcanzar un pH de 4.75 ± 0.5 . Los yogures se almacenaron en refrigeración (8°C) por 21 días. Se analizó el pH al inicio y durante la fermentación. A los 21 días se determinaron: pH, acidez titulable (AT), composición global (proteína, grasa, cenizas, sólidos totales [ST]), recuentos microbiológicos (bacterias lácticas totales [BAL], hongos y levaduras), capacidad de retención de agua (CRA), perfil de textura, comportamiento reológico, microestructura, perfiles de carbohidratos, ácido láctico y compuestos volátiles. Las elaboraciones se realizaron por

triplicado.

2.3. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

El pH y la AT se midieron con un electrodo y titulador automático (Metrohm, Suiza). Para la AT se empleó solución de NaOH N/9, se registró el volumen gastado a pH 8.3 y expresó en grados Dornic (International Dairy Federation, IDF 150:2012). Los contenidos de proteína, ST, grasa y cenizas fueron determinados según métodos normalizados (IDF 020-1/2:2001, IDF 151:2005, IDF 1D:1996, AOAC 945.46-19454:2007, respectivamente). La CRA se determinó por pesada del suero liberado por centrifugación en condiciones estandarizadas (20 °C/5000 rcf/10 min.) (Vénica y col., 2019).

El recuento de BAL se realizó en medio APC (Britania, Argentina) con el agregado de leche en polvo (10% p/v), por siembra en superficie e incubación en microaerofilia a 37 °C por 48 h. Para el recuento de mohos y levaduras se empleó el medio extracto de levadura-glucosa-cloranfenicol agarizado (Biokar, Francia) por siembra en profundidad e incubación a 25°C por 5 días (Vinderola y col., 2000).

2.4. Perfil de carbohidratos y ácidos orgánicos

Las concentraciones de lactosa, glucosa, galactosa y ácido láctico en las mezclas de leche y en yogur con 21 d, fueron determinadas por cromatografía líquida de alta presión (HPLC-UV-IR, Perkin Elmer, USA) según Vénica y col. (2014). Los resultados se expresaron en g/100 para los azúcares y en mg/100g para el ácido láctico.

2.5. Perfil de compuestos volátiles

Los compuestos volátiles fueron extraídos de las muestras por microextracción en fase sólida (HS-SPME) y analizados por cromatografía gaseosa (GC) acoplado a un detector FID y a un espectrómetro de masas (MS), de acuerdo al procedimiento descrito en Vénica y col. (2019). Los resultados se expresaron en áreas (unidades arbitrarias). Los análisis se realizaron por duplicado.

2.6. Análisis reológico y perfil de textura

Se obtuvieron las curvas de flujo (esfuerzo de corte vs. velocidad de corte) y viscosidad dinámica (viscosidad aparente vs. velocidad de corte) por reometría rotacional con geometría de cilindros concéntricos a temperatura controlada (10±0.1 °C) (HAAKE MARS 40, Thermo Scientific, USA). Las curvas de flujo fueron obtenidas a velocidad de corte ascendente (0-300 s⁻¹) y descendente (300-0 s⁻¹). La adquisición y análisis de los datos se realizó con el software RheoWin® (Thermo Scientific, USA). La viscosidad aparente (η_a , Pa.s) fue calculada a una velocidad de corte de 50 s⁻¹ considerado como un valor aproximado al que se alcanza en la boca durante la masticación (Bourne, 2002).

Los parámetros de textura firmeza y cohesividad fueron evaluados por test de penetración en una máquina universal de ensayos INSTRON 3344 (Instron, USA) (Puvanenthiran y col., 2002). Se realizaron dos ciclos de penetración sucesivos (con una sonda cilíndrica de 17.2 mm de diámetro), con intervalo de 5 seg, a un nivel de deformación del 30%. La fuerza de contacto fue de 0.05N a una velocidad de 1 mm/s. La muestra de yogur se colocó en un vial de 35 mm de diámetro y 30 mm de altura y se estabilizó a 10 °C por 10 min. Los análisis se realizaron por duplicado.

2.7. Microestructura

La microestructura fue estudiada por microscopía confocal láser de barrido (CLSM) mediante un microscopio confocal invertido (Leica, model TCS SP8, Alemania). Se empleó Rodamina B como fluoróforo para la tinción de la proteína (Körzendörfer y col., 2019). La muestra fue diluida en agua destilada (0.5% p/p) y una gota fue dispuesta en un portaobjetos plano de vidrio, cubierta con un cubreobjetos y observada en seco con una lente 10x a la longitud de onda de excitación de la Rodamina B (568 nm).

2.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el software IBM SPSS Statistics 25, aplicando ANOVA de dos vías ($P < 0.05$) para detectar la influencia de los factores estudiados y sus interacciones ($F1 \times F2$) sobre las variables estudiadas. Los perfiles de compuestos volátiles fueron analizados por componentes principales (PCA).

3. Resultados y discusión

3.1. Características fisicoquímicas y recuentos microbiológicos

El pH durante la fermentación no mostró diferencias y todos los yogures alcanzaron el pH target en 4 ½ h. Resultados similares fueron reportados por Vénica y col. (2019), para yogures con 1 y 2% de fibra de zanahoria y 4.2 g/100g de proteína (pH final a las ~4 h), sin diferencias entre ellos ni con un control sin fibra. Los valores de pH, AT, grasa, proteínas, ST, cenizas y CRA de los yogures se muestran en la **Tabla 1**. La concentración de proteína fue mayor ($P < 0.05$) en los yogures con nivel 2 de proteína, alcanzándose concentraciones de ~6.7 g/100g para los productos T y de ~6.3 g/100g para D, sin influencia del agregado de fibra. El contenido de grasa no fue afectado por ninguno de los factores (aprox. 1.2 g/100g). Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) para ambos factores en ST, cenizas y CRA, con iguales tendencias en los productos T y D; mayores valores se obtuvieron en los yogures con fibra y con nivel 2 de proteína. Mayor CRA también fue observada por Vénica y col. (2019) en yogures con fibra de zanahoria respecto a un

control y esto se atribuyó a la capacidad de enlazar agua que tuvo la fibra. El pH y la AT no fueron afectados por los factores estudiados y se observaron rangos de 4.50-4.61 y 129-140 °D en T y de 4.56-4.67 y 120-132 °D en D, respectivamente. Al igual que en este trabajo, Bakirci y col. (2017) no detectaron diferencias en el pH de yogures (4.4-4.8 g/100g de proteína) con distintos niveles de fibra de zapallo respecto a un control sin la fibra, pero sí encontraron diferencias en la AT. El recuento de BAL fue de 7.7±0.6, 7.5±1.2, 8.2±0.1 y 8.2±0.1 log UFC/g para T1, T2, T1F y T2F, respectivamente, y de 8.2±0.2, 8.2±0.1, 8.1±0.2 y 8.1±0.1 log UFC/g para D1, D2, D1F y D2F, respectivamente, sin diferencias para ninguno de los factores. No se detectaron mohos y levaduras en los yogures (<1 log UFC/g). Estos resultados indican que la incorporación de la fibra de zanahoria no impactó en la actividad ni en la viabilidad del fermento utilizado.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de los yogures tradicionales (T) y deslactosados (D) a los 21 d (8°C) (valores medios ± desviación estándar, tres réplicas de elaboración).

Yogur	Parámetro	Formulación 1		Formulación 2		Significancia (p<0,05)		
		T1	T1F	T2	T2F	F1	F2	F1xF2
T	Proteína (g/100g)	5.70±0.07 ^B	5.71±0.06 ^B	6.35±0.14 ^A	6.65±0.42 ^A	NS	*	NS
	Grasa (g/100g)	1.22±0.10	1.21±0.03	1.05±0.12	1.21±0.01	NS	NS	NS
	Cenizas (g/100g)	1.32±0.04 ^{b,B}	1.40±0.03 ^{a,B}	1.51±0.05 ^{b,A}	1.54±0.03 ^{a,A}	*	*	NS
	ST (g/100g)	17.57±0.31 ^{b,B}	18.15±0.27 ^{a,B}	19.06±0.14 ^{b,A}	19.80±0.25 ^{a,A}	*	*	NS
	pH	4.50±0.11	4.52±0.10	4.57±0.06	4.61±0.9	NS	NS	NS
	AT (°D)	128.9±4.2	129.8±11.1	139.9±9.5	137.0±8.7	NS	NS	NS
	CRA (%)	43.8±1.1 ^{b,B}	55.3±2.8 ^{a,B}	47.2±1.4 ^{b,A}	61.1±4.8 ^{a,A}	*	*	NS
D		D1	D1F	D2	D2F			
	Proteína (g/100g)	5.80±0.19 ^B	5.92±0.21 ^B	6.25±0.29 ^A	6.21±0.11 ^A	NS	*	NS
	Grasa (g/100 g)	1.08±0.08	1.17±0.04	1.13±0.18	1.21±0.10	NS	NS	NS
	Cenizas (g/100 g)	1.35±0.02 ^{b,B}	1.42±0.06 ^{a,B}	1.49±0.04 ^{b,A}	1.52±0.02 ^{a,A}	*	*	NS
	ST (g/100g)	17.29±0.11 ^{b,B}	18.31±0.81 ^{a,B}	18.84±0.25 ^{b,A}	19.83±0.54 ^{a,A}	*	*	NS
	pH	4.56±0.11	4.57±0.10	4.57±0.12	4.67±0.08	NS	NS	NS
	AT (°D)	120.2±6.5	127.0±6.8	128.6±9.0	131.9±6.5	NS	NS	NS
CRA (%)	44.5±2.0 ^{b,B}	54.4±3.3 ^{a,B}	45.9±1.8 ^{b,A}	62.8±1.8 ^{a,A}	*	*	NS	

*, valores dentro de la misma fila difieren significativamente (p<0.05); NS, valores dentro de la misma fila no difieren significativamente. Letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas para F1 (letras minúsculas) y para F2 (letras mayúsculas).

3.2. Perfiles de carbohidratos y ácido láctico

Las concentraciones de lactosa en las mezclas de leche de los productos T oscilaron entre 7.91±0.11 y 9.33±0.13 g/100g, y fueron afectadas (P<0.05) por el nivel proteico (T2~T2F>T1~T1F) y por la presencia de la fibra (T2F~T1F>T2~T1), sin interacción entre los factores. En las mezclas de leche de los productos D los valores estuvieron entre

7.71±0.22 y 8.97±0.58 g/100g y las diferencias ($P < 0.05$) fueron dadas por el nivel proteico ($D2 \sim D2F > D1 \sim D1F$). En todos los casos, se encontró baja concentración de glucosa (~0.3 g/100g) y sin diferencias por los factores, y no se detectó galactosa.

A los 21 d, las concentraciones de lactosa fueron 6.30±0.48, 6.06±0.40, 6.49±0.27 y 6.82±0.40 g/100g para T1, T1F, T2 y T2F, respectivamente; sólo se detectó diferencias ($P < 0.05$) por el nivel proteico ($T2 \sim T2F > T1 \sim T1F$). En los yogures D, la lactosa osciló entre 1.18 y 1.50 g/100g, sin diferencias por los factores estudiados. La glucosa no fue afectada por ninguno de los factores y los niveles estuvieron entre 0.53 y 0.61 g/100g en T y entre 2.78 y 3.15 g/100g en D. La galactosa tampoco mostró diferencias entre los yogures y los valores fueron ~1.30 g/100g en T y ~3.07 g/100g en D. Por otro lado, la concentración de ácido láctico estuvo entre 1343.1 y 1588.2 mg/100g, para los yogures T y entre 1189.3 y 1436.5 mg/100g para los D, sin encontrarse diferencias entre los factores.

Estos resultados revelan que los factores estudiados no modificaron sustancialmente los perfiles de fermentación ya que todos los yogures arribaron a similares valores a los 21 días, lo que pondría de manifiesto que el agregado de la fibra y la formulación proteica no impactaron en la actividad acidificante de las BAL que componen el fermento, como fue reportado por Vénica y col., 2019.

3.3. Compuestos volátiles

Se identificaron compuestos pertenecientes a las familias químicas de los aldehídos (3), cetonas (10) y ácidos (9). El perfil de volátiles fue similar desde el punto de vista cualitativo (tipo de compuestos), pero se detectaron diferencias de tipo cuantitativas. Para todos los yogures se observó un predominio de los ácidos y las cetonas (entre el 40 y 55%), seguido por los aldehídos (entre 4 y 8%). Los ácidos más abundantes fueron hexanoico, octanoico y butanoico. El grupo de las cetonas se caracterizó por la presencia de metilcetonas (C3 a C11), dicetonas (2,3-butanodiona o diacetilo y 2,3-pentanodiona) y una hidroxiketona (3-hidroxi 2-butanona o acetoína). Desde el punto de vista cuantitativo, el diacetilo y la acetoína resultaron mayoritarios, seguido de la propanona. Dentro de los aldehídos se identificaron el acetaldehído, el nonanal y el benzaldehído. En todas las muestras, el acetaldehído resultó mayoritario. Todos los volátiles encontrados han sido reportados como característicos de yogur (Vénica y col., 2019).

Los compuestos individuales se analizaron por PCA, para cada variedad de yogur, a fin de poder visualizar posibles agrupamientos de las muestras. Para los yogures T, PC1 y PC2 explicaron el 65% de la varianza. Las muestras sin fibra (T1, T2) de las réplicas 1 y 2 se agruparon en el extremo negativo de PC1, sin diferenciarse por el nivel proteico y se

caracterizaron por propanona, butanona, 2-pentanona y el ácido butírico. Los yogures de la réplica 3 aparecieron desplazados hacia el extremo positivo de PC2, caracterizándose por acetaldehído, 2-heptanona, ácidos hexanoico y octanoico. Los yogures con fibra mostraron una mayor dispersión, diferenciándose además por el nivel proteico; las muestras T2F de las réplicas 1 y 2 se agruparon en el extremo negativo de PC2, caracterizándose por el diacetilo, en tanto que las muestras T1F se ubicaron más próximo al origen de coordenadas. La réplica 3 se encontró desplazada hacia el extremo positivo de PC1, la muestra T1F se caracterizó por la 2,3-pentanodiona y la muestra T2F se caracterizó por la contribución de otros compuestos. Para los yogures D, PC1 y PC2 explicaron el 58% de la varianza. Al igual que en los productos T, la réplica 3 mostró un comportamiento diferente al resto. Las muestras se agruparon principalmente por la presencia de la fibra independientemente del contenido proteico. Los yogures D1 y D2 de las réplicas 1 y 2 se ubicaron en el extremo negativo del PC1, y de modo similar a los yogures T análogos se caracterizaron por propanona, butanona y 2-pentanona. Los mismos yogures de la réplica 3 se ubicaron en el extremo positivo de PC2, con la prevalencia de 2-heptanona y ácido hexanoico. Los yogures D1F y D2F de las réplicas 1 y 2 se ubicaron en el extremo negativo de PC2, caracterizándose por la acetoína. La réplica 3 se encontró desplazada hacia el extremo positivo de PC1, caracterizándose por la presencia de las dicetonas, diacetilo y 2,3-pentanodiona.

3.4. Comportamiento reológico y perfil de textura

La viscosidad dinámica a 50 s^{-1} (Pa.s) en los yogures T mostró diferencias ($P < 0.05$) para ambos factores (sin interacción); los valores fueron 1.18 ± 0.13 , 2.13 ± 0.05 , 1.47 ± 0.05 y 2.86 ± 0.42 para T1, T1F, T2 y T2F, respectivamente ($T1F \sim T2F > T1 \sim T2$ para el factor fibra y $T2 \sim T2F > T1 \sim T1F$ para el factor nivel de proteína). En los productos D, hubo diferencias ($P < 0.05$) por el agregado de fibra, teniéndose los mayores valores D1F y D2F (1.21 ± 0.05 , 1.97 ± 0.44 , 1.40 ± 0.07 y 2.51 ± 0.32 Pa.s en D1, D1F, D2 y D2F, respectivamente). La firmeza (N) en ambas variedades de yogur también se vio afectada por ambos factores ($P < 0.05$), sin detectarse interacción. En T, la tendencia fue similar a la viscosidad y los mayores valores se observaron en los productos con fibra y en aquellos con nivel 2 de proteína (0.10 ± 0.01 , 0.25 ± 0.03 , 0.16 ± 0.02 y 0.34 ± 0.03 en T1, T1F, T2 y T2F, respectivamente). En D, se observó el mismo comportamiento y los valores fueron 0.09 ± 0.01 , 0.18 ± 0.02 , 0.17 ± 0.02 y 0.29 ± 0.04 en D1, D1F, D2 y D2F, respectivamente. Por último, la cohesividad arrojó valores de 0.52 ± 0.02 , 0.61 ± 0.01 , 0.55 ± 0.02 y 0.56 ± 0.07 para T1, T1F, T2 y T2F respectivamente, obteniéndose mayores valores ($P < 0.05$) en los

productos con fibra; en los yogures D, los valores estuvieron entre 0.51 y 0.57, sin diferencias significativas para ningún factor. Según Vénica y col. (2019) no hubo diferencias en la viscosidad a 50 s^{-1} por el agregado de fibra de zanahoria, aunque sí a mayores velocidades de corte. El aumento de la viscosidad y firmeza ha sido explicado por el aumento de sólidos totales en yogur, y ha demostrado dependencia con el tipo de ingrediente proteicos empleado (Jorgensen y col., 2019).

3.5. Microestructura

Los yogures con nivel 1 de proteína mostraron menor densidad de partículas proteicas y poros de mayor tamaño que aquellos con nivel 2 de proteína, y estos últimos presentaron aglomerados de mayor tamaño conformando la red proteica. Esto puede relacionarse con los resultados de CRA, que fue mayor en los yogures con nivel 2 de proteína, y podría inferirse que en una red donde las partículas de proteína están más interrelacionadas la retención de suero es mejor. También se vincula con los mayores niveles de viscosidad y firmeza observados en los yogures con nivel 2 de proteína, explicados por una mayor cantidad de proteína puesta en juego en la formación de la red proteica. No se apreciaron diferencias en el tamaño y organización de las partículas proteicas entre los yogures T y D, pero sí se observaron estructuras particulares en los yogures con fibra y un tramado distinto en los aglomerados proteicos de mayor tamaño asociados a este ingrediente. Bakirci y col. (2017) también encontraron diferencias en la microestructura y detectaron estructuras particulares en yogures con fibra de zapallo en comparación a yogures sin la fibra. McCann y col. (2011) desarrollaron yogures con agregado de partículas de la pared celular de zanahoria; según las micrografías, observaron que las partículas vegetales se intercalan en la red proteica sin impedir su formación, como ocurrió en nuestro trabajo. En la **Figura 1** se presentan, a modo de ejemplo, algunas micrografías CLSM de los yogures.

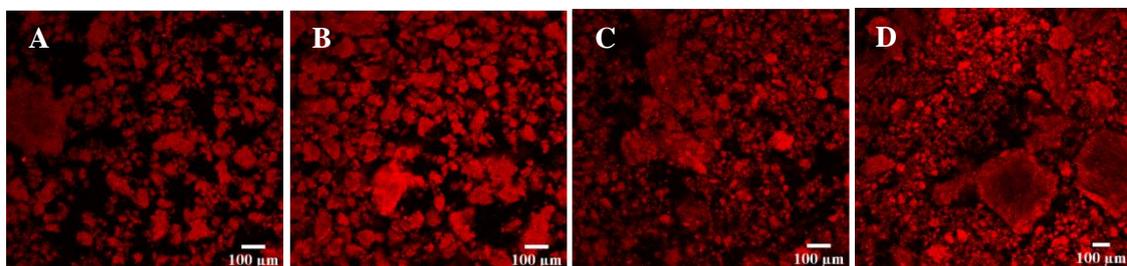


Fig. 1: Micrografías CLSM de los yogures T2 (A), D2 (B), T2F (C) y D2F (D), los 21d (8°C).

4. Conclusiones

En general, la incorporación de 2% de una fibra obtenida del procesamiento del descarte

de zanahorias, en yogures con contenido proteico incrementado (5.7-6.7 g/100g) y con diferentes contenidos de lactosa mostró efectos significativos en algunos parámetros composicionales y una mejora en las características estructurales de los productos como la capacidad de retención de agua, la viscosidad, la firmeza, la cohesividad y la microestructura. Los resultados demostraron que las estrategias estudiadas para conseguir yogures incrementados en proteínas, con diferentes niveles de lactosa, sin azúcares agregados, reducidos en grasa y con fibra, fueron adecuadas en un entorno de prueba de concepto. Alimentos con alta capacidad saciante y con un perfil nutricional mejorado que podrían beneficiar la salud intestinal son ausentes en el mercado local, por lo que resulta ser un área que tiene espacio para innovar. Para su adopción a nivel industrial, la validación a escala piloto resulta indispensable, lo que se propone para estudios futuros.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a CONICET por la beca doctoral de M. V. Beret, y a García Hermanos Agroindustrial SRL y Grupo Saporiti S.A. quienes donaron algunos ingredientes. Se agradece el apoyo financiero del Proyecto Ciencia y Tecnología contra el Hambre 2020 (Código A126).

6. Referencias

- Aryana, K. J. y Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9987–10013.
- Bakirci, S., Dagdemir, E., Boran, O. S. y Hayaloglu, A. A. (2017). The effect of pumpkin fibre on quality and storage stability of reduced-fat set-type yogurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 180–187.
- Bourne, M. C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement (2nd Ed). *Academic Press*, UK.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266.
- Gahrue, H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G. y Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1–8.
- He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X. y Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11 (1), 1–10.
- International Dairy Federation. IDF 1D: 1996; IDF 020-1 / 2: 2001; IDF 150: 2012; IDF 151: 2005.
- Jørgensen, C. E., Abrahamsen, R. K., Rukke, E. O., Hoffmann, T. K., Johansen, A. G. y Skeie, S. B. (2019). Processing of high-protein yoghurt – A review. *International Dairy Journal*, 88, 42–59.
- Körzendörfer, A., Schäfer, J., Hinrichs, J., y Nöbel, S. (2019). Power ultrasound as a tool to improve the processability of protein-enriched fermented milk gels for Greek yogurt manufacture. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7826-7837.
- McCann, T. H., Fabre, F., y Day, L. (2011). Microstructure, rheology and storage stability of low-fat yoghurt structured by carrot cell wall particles. *Food Research International*, 44 (4), 884–892.
- Pontonio, E., Raho, S., Dingo, C., Centrone, D., Carofiglio, V. E. y Rizzello, C. G. (2020). Nutritional, Functional, and

Technological Characterization of a Novel Gluten- and Lactose-Free Yogurt-Style Snack Produced with Selected Lactic Acid Bacteria and Leguminosae Flours. *Frontiers in Microbiology*, 11 (1664), 1-12.

Puvanenthiran, A., Williams, R. P. W., y 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.

Sendra, E., Kuri, V., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Navarro, C. y Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Viscoelastic properties of orange fiber enriched yogurt as a function of fiber dose, size and thermal treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 43 (4), 708–714.

Vénica, C. I., Perotti, M. C. y Bergamini, C. V. (2014). Organic acids profiles in lactose-hydrolyzed yogurt with different matrix composition. *Dairy Science and Technology*, 94 (6), 561–580.

Vénica, C. I., Spotti, M. J., Pavón, Y. L., Molli, J. S. y Perotti, M. C. (2019). 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.

Vinderola, C. G., Bailo, N. y Reinheimer, J. A. (2000). Survival of probiotic microflora in Argentinian yoghurts during refrigerated storage. *Food Research International*, 33, 97-102.