

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Inulina como sucedáneo de grasa en la elaboración de yogur. Una
revisión.**

Proyectos de investigación y desarrollo

Ana Lorena Acevedo Dávila

**Francisco Carvajal, Ph.D.
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Quito, julio del 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Inulina como sucedáneo de grasa en la elaboración de yogur. Una
revisión.**

Ana Lorena Acevedo Dávila

Lucía Ramírez, Ph.D.
Directora del programa de Maestría
en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Eduardo Alba Cabrera, Dr.
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Hugo Burgos, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados-

Quito, julio 2021

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombre del estudiante: Ana Lorena Acevedo Dávila

Código del estudiante: 215381

CI: 1716450471

Lugar y fecha: Quito, 22 de julio del 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

A mi pequeña Ana Pau y a Dami, que con sus locuras me animan y fortalecen día a día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fortaleza, la salud y la sabiduría para cumplir esta meta.

A mi esposo Dami y a mi pequeña Ana Pau, por todo su amor y atenciones y por el tiempo que no pasamos juntos durante estos 2 años. Este logro es de los 3, los amo infinitamente.

A mis papis y a mi ñaño, por todos los ánimos que siempre me dieron y por todo el apoyo que nos brindaron día a día.

A mis hermanas de la vida Anita, Vane, Gaby, Sandrita y Joha por ser mis espejos más sinceros, por sus palabras de aliento y sus cariñosos consejos.

A mis “angelitos de la USFQ” por las risas, las bromas y valiosa compañía de siempre. Entre ellos en especial a Gaby e Ibethcita, por su compromiso, su amistad sincera y por ser unas personas inigualables para hacer grupo.

A mis profesores de la USFQ, Lucy, Francisco, Gaby, José, Maité, Germán, Danny, María Elisa, Sonia, por su profesionalismo, pero sobre todo por la generosidad con la que compartieron con nosotros todos sus conocimientos. Volver a las aulas con ustedes fue realmente una experiencia que disfruté mucho y que recordaré siempre.

A Francisco Carvajal, en especial, por su guía y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación, la etapa final de este camino.

RESUMEN

El yogur es un producto lácteo de gran aceptación a nivel mundial debido a sus múltiples beneficios para la salud, a su diversidad de presentaciones, sabores y usos. Sin embargo, las cambiantes tendencias del consumidor demandan productos con menores contenidos de grasa, o incluso sin ella. La grasa desempeña un papel importante en los atributos de textura y sabor, así como en el control de la sinéresis de los yogures, por lo que su sustitución o eliminación requiere de consideraciones técnicas adicionales. En este contexto, se han utilizado diferentes espesantes y estabilizantes, aunque el uso de prebióticos naturales, como la inulina, surge también como una alternativa interesante debido no solo por funcionar como sucedáneo de grasa sino además por su efecto prebiótico y aporte nutricional y funcional para la salud. Sin embargo, ciertas características del yogur podrían verse importantemente afectadas en función de la longitud de cadena de inulina utilizada. Por esa razón, esta revisión investigó los resultados de la adición de inulina, (cadena corta, mediana y larga), como sucedáneo de grasa en la elaboración de yogur reducido en grasa, con especial interés en el efecto en atributos sensoriales y en propiedades fisicoquímicas. El uso de inulina de cadena corta permitiría mejoras en el atributo del sabor sin diferencias considerables en el resto de propiedades. Por otro lado, la adición de inulina de cadena mediana y larga permitiría mejoras en la textura y en la sensación en la boca. Todas las longitudes de cadena influyen el nivel de agrado de los yogures en relación a los controles reducidos en grasa.

Palabras clave: inulina, yogur reducido en grasa, sucedáneo, grasa, propiedades físico-químicas, análisis sensorial

ABSTRACT

Yogurt is a worldwide accepted dairy product due to its multiple health benefits, its diversity of presentations and flavors, and its variable uses. However, changes in consumer trends, demand products with lower fat content, or even without it. Fat plays an important role in the texture and flavor attributes, as well as in controlling the syneresis of yogurts, then its replacement or elimination requires additional technical considerations. In this context, different thickeners and stabilizers have been used, although the use of natural prebiotics, such as inulin, also emerges as a fat substitute due to its prebiotic effect and nutritional and functional contribution to health. However, some yogurt characteristics could be influenced by the length of the inulin used. For this reason, this review investigated the results of the addition of inulin (of short, medium and long chain), as a fat substitute in low-fat yogurts, with special interest in the effect on sensory attributes and physicochemical properties. On one hand, the use of short chain inulin determined improvements in taste without considerable effects in the rest of properties. On the other hand, the addition of medium and long chain inulin produced improvements in texture and mouth felt. All chain lengths influenced the level of liking in regard to the reduced fat controls.

Key words: inulin, reduces-fat yogurt, substitute, fat, physico-chemical properties, sensory analysis

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	11
METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	19
ANÁLISIS DE DATOS	19
Efecto de la adición de inulina en el análisis sensorial del yogur	19
Composición y propiedades físico-químicas de yogures con inulina	28
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	_____	25
Tabla 2	_____	36
Tabla 3	_____	43

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la obesidad es la consecuencia más evidente de estilos de vida poco saludables que se ha relacionado con altos índices de mortalidad y altos costos de salud. Solo en Estados Unidos, aproximadamente 2/3 de la población adulta sufre de sobrepeso y 1/3 de ellos son considerados obesos (Obert et al., 2017). Las estadísticas del 2016 indicaron que más de 1.6 miles de millones de adultos sufrían de sobrepeso y 650 millones padecían obesidad, lo que equivale al 13 % de la población mundial (Siroli et al., 2021).

Este desorden alimenticio está asociado a un estado inflamatorio crónico sistémico de bajo grado, que se caracteriza por la producción anormal de citoquinas inflamatorias y que lo relaciona con patologías metabólicas como la resistencia a la insulina, problemas cardiovasculares, diabetes tipo II, entre otras (Bordoni et al., 2017).

Por otro lado, en la actualidad la industria de alimentos se ha visto influenciada por nuevas tendencias emergentes, que la mantienen en un cambio constante. Los consumidores tienen cada vez mayor conocimiento de la relación entre alimentación y salud (Das et al., 2019). Así, el consumidor está tomando cada vez más consciencia de su alimentación y por ende demanda productos con mejores valores nutricionales e incluso con la incorporación de componentes bioactivos (García-Gómez et al., 2018). Más aún, en la última década, el efecto de la alimentación como modulador de la microbiota del organismo, ha despertado mayor interés en las personas. En este sentido, los productos lácteos representan un grupo importante a considerar ya que la leche es un vector natural para entregar suplementos al organismo humano, tales como prebióticos, probióticos, vitaminas y minerales (Bordoni et al., 2017). Por ejemplo, el yogur, un producto lácteo fermentado, que desempeña un rol importante en la dieta humana por su agradable sabor y textura, así como por su conveniencia y portabilidad (Das et al., 2019). Fue

desarrollado por primera vez en Medio Oriente al almacenar leche en los estómagos de animales, en donde las enzimas presentes naturalmente cuajaban la leche produciendo lo que en esencia era yogur. En el siglo XIX se clasificó a las bacterias responsables de la producción del yogur como ácido-lácticas y se estableció su importante rol en la preservación del producto, el desarrollo de sabor, textura y aroma y el mejoramiento de la calidad nutricional (Hill et al., 2017). Su fermentación ácido-láctica requiere de una proporción 1:1 de las bacterias *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* para alcanzar un efecto simbiótico y obtener así un producto que provee altos niveles de proteína, carbohidratos, calcio y vitamina B (Fayed et al., 2019) así como zinc, magnesio, folato, niacina, riboflavina, tiamina, y fósforo. Adicionalmente, puede ser consumido por aquellas personas intolerantes a la lactosa de la leche ya que durante el proceso de fermentación por el cual es obtenido, la lactosa es convertida en ácido láctico (Das et al., 2019).

El Código de Regulación Federal de Estados Unidos define que el yogur, yogur bajo en grasa y yogur sin grasa deben contener por lo menos 3.25 %; entre 2 y 0.5 % y menos de 0.5 % de grasa de la leche, respectivamente (Aryana & Olson, 2017). Además, deben estar preparados con al menos 8.25 % de sólidos totales no grasos. Sin embargo, los porcentajes típicos se encuentran entre 12 y 15 % y se ajustan por adición de leche en polvo o por evaporación de agua (Hill et al., 2017). Los procesos de obtención modernos de yogur incluyen la homogenización de la leche con el contenido de grasa y de sólidos totales no grasos adecuados según el tipo de yogur que se desea preparar. Posteriormente, la pasteurización de la leche se realiza entre 90 a 95 °C por menos de un minuto o a 85 °C por 30 minutos para luego ser enfriada a una temperatura entre 40 y 45 °C, a la cual se inocula por la adición de las culturas iniciadoras. Seguidamente empieza la incubación hasta alcanzar un pH adecuado de alrededor de 4.5 (Aryana & Olson,

2017). El yogur puede ser aflanado si la coagulación de la leche se ha llevado por completo en el recipiente en que se comercializará o batido si el coágulo se ha roto por agitación en el tanque de incubación y se ha enfriado lentamente. Finalmente se transfieren y almacenan en refrigeración. El yogur obtenido debe tener una apariencia brillante, una textura suave y una consistencia como de natilla (Hill et al., 2017)

Productos derivados del yogurt incluyen yogur congelado, yogur seco, yogur bajo en grasa, bio-yogures (Hill et al., 2017), yogures bebibles, yogures griegos con diferentes porcentajes de grasa, naturales y con fruta añadida y barras de granola cubiertas con yogur (Aryana & Olson, 2017). Debido al contenido de probióticos, el yogur resulta una alternativa funcional para la reducción de los síntomas de infecciones de las vías urinarias, de hiperlipidemia, de intolerancia a la lactosa así como también por la estimulación del sistema inmunológico al mejorar la microbiota y la salud intestinal (Yu et al., 2021). Adicionalmente, su consumo se asocia con un papel importante en la reducción de peso, prevención de enfermedades como la diabetes tipos II, síndrome metabólico y presión arterial alta debido a la presencia de calcio y prebióticos. El calcio reduce la absorción de grasa en el organismo y aumenta su excreción fecal debido a que se une a ella en el intestino, formando compuestos insolubles (Razmpoosh et al., 2020). Esta actividad se ha encontrado tanto en productos con alto contenido de grasa como con bajo contenido (Bordoni et al., 2017).

Se puede incrementar la funcionalidad de un yogur por la adición de probióticos y prebióticos, ya que se liberan péptidos bioactivos encriptados en las proteínas de la leche durante la fermentación láctica de los organismos usados. Entre los varios péptidos liberados, aquellos que presenten la capacidad de inhibir la enzima convertidora de angiotensina son los que más atraen la atención de los investigadores, por su actividad antihipertensiva (Ramchandran & Shah,

2008). Además, se ha reportado que las culturas iniciadoras producen exopolisacáridos que mejoran el cuerpo del yogur al incrementar su viscosidad y reducir así la sinéresis. A la vez se les atribuye efecto prebiótico, actividades inmunoestimuladora, anti-tumoral y de reducción de niveles de colesterol en la sangre (Aryana & Olson, 2017). Para alcanzar los beneficios de salud declarados para los probióticos, un yogur debe mantener un número igual o mayor a $6 \log$ UFC/g (unidades formadoras de colonias) al momento de ser consumido. Sin embargo, muchos probióticos muestran tendencias decrecientes durante su tiempo de vida útil por lo que es de gran interés estimular su crecimiento y viabilidad mediante la adición de factores de crecimiento como proteínas hidrolizadas o prebióticos (Pasephol & Sherkat, 2009).

Por otro lado, se conoce que el consumo excesivo de grasa en la dieta (en especial de grasa saturada y ácidos grasos trans), se asocia con procesos inflamatorios en humanos, como problemas cardiovasculares, obesidad, diabetes y cáncer (Bordoni et al., 2017). Así, la tendencia actual es consumir yogur con bajo contenido de grasa o sin ella. Sin embargo, reducir o sustituir la grasa representa un reto tecnológico ya que su ausencia afecta la textura, sabor y aumenta la tendencia a la sinéresis (García-Gómez et al., 2018).

Con el fin de aumentar la aceptabilidad del yogur muchas veces se añaden espesantes y estabilizantes, como goma gellan o gelatina, para reducir la sinéresis durante el transporte al mejorar la viscosidad; así como para crear y mantener características de apariencia y sensación bucal deseadas (Hill et al., 2017; Yu et al., 2021). Sin embargo, también los prebióticos naturales, como la inulina, están siendo cada más reconocidos no solo como posibles sustitutos para espesantes en yogur, sino también como sucedáneos de grasa y en la elaboración de yogur simbiote que cubra las necesidades del consumidor para su salud (Yu et al., 2021). Además, se

ha evidenciado su efecto prebiótico y su aporte nutricional y funcional para el organismo (El-Kholy et al., 2020).

La inulina es un polisacárido no digerible obtenido de vegetales y frutas, que se utiliza como sucedáneo de grasa, endulzante de bajo contenido calórico y como agente de saciedad, en función de la longitud de su cadena (Arango et al., 2020). Su aporte calórico bajo se ha reportado entre 1 kcal/ g (Mazzaglia et al., 2020) y 1.5 kcal/ g (Das et al., 2019) por lo que quizá podría ser utilizado en productos para diabéticos, para manejar y controlar su nivel de azúcar en la sangre. Además, no requeriría de la hormona insulina para su metabolismo (Rinaldoni et al., 2012). Es considerada una sustancia GRAS, con efectos benéficos que superan los conocidos para las fibras como son la regulación del tránsito intestinal, reducción del colesterol e incremento de absorción de calcio.

La inulina está presente en más de 3000 vegetales como cebollas, ajos, bananas, tubérculos de dalias, yacón, espárragos y raíces de achicoria (Li et al., 2019). La producción industrial de inulina empezó en Bélgica y en los Países Bajos a inicios de los 90s, siendo las raíces de achicoria la principal materia prima por contener inulina en un 15 al 20 % de su peso fresco (Meyer et al., 2011; Paseephol & Sherkat, 2009).

Como carbohidrato no digerible, es resistente a la hidrólisis y a la absorción en las partes superiores del tracto gastrointestinal y puede activar selectivamente la microbiota del colon al ser metabolizada y ocasionar el crecimiento y la activación metabólica de los probióticos, mejorando la flora del colon y consiguientemente sus efectos sistémicos para mejorar la salud del huésped (Aryana et al., 2007; Das et al., 2019; Fayed et al., 2018).

Su estructura se compone por numerosas unidades de fructosa, con enlace β 2-1, y una glucosa terminal. Sus fructanos son resistentes a la digestión enzimática en el organismo y pueden fermentarse por la microflora del colon produciendo ácidos grasos de cadena corta (Crispín-Isidro et al., 2015).

La longitud de la cadena de la inulina se denomina grado de polimerización (DP), que representa el número de monosacáridos que tiene la molécula, unidades de fructosa, y afecta propiedades como: digestibilidad, actividad prebiótica, dulzor, capacidad de retención de agua, entre otros. La inulina de cadena corta presenta un $DP < 10$ y se obtiene de la hidrólisis parcial de la inulina nativa; la de cadena mediana $DP = 10 - 23$ y la de cadena larga, $DP > 23$, se obtienen por la remoción física de moléculas de cadena corta (Pimentel et al., 2013). El grado de polimerización va de 3 a 250 unidades de fructosil, depende de la planta de la que se ha obtenido, del tiempo de cosecha y del proceso de producción (Kip et al., 2006; Li et al., 2019).

La inulina nativa, una mezcla de inulina de cadena corta, media y larga, tiene un grado de polimerización variado, DP de 2 a 60 unidades de monosacárido. El grado de polimerización de la inulina lleva a diferentes efectos en productos alimenticios. Así, generalmente la inulina de cadena larga se usa en la sustitución de grasa, debido a su baja solubilidad y mayor viscosidad, mientras que la inulina de cadena corta contribuye a mejorar la sensación bucal debido a su buena solubilidad y suave dulzor (Meyer et al., 2011). Por su parte, el proceso de entrecruzamiento se puede implementar como estrategia para aumentar el bajo peso molecular de la inulina de cadena corta y evitar así su rápida excreción renal. Este mecanismo, similar al de obtención de almidón modificado, requiere la dispersión de inulina en agua con agitación constante a temperatura de 25 °C por 1 hora. Posteriormente, se añade el entrecruzador hexametáfosfato de sodio y una solución de carbonato de sodio para alcanzar pH básico de 10.

La inulina entrecruzada se precipita con etanol al 95 %, se centrifuga, lava con etanol anhidro y se liofiliza (Li et al., 2019).

La inulina puede ser utilizada en una amplia variedad de productos, debido a su sabor neutro, que deja poco o ningún regusto (Das et al., 2019). Como sucedáneo de grasa, la inulina ha mejorado el potencial funcional de helado de leche de oveja, estabilizado bebidas de suero y mejorado la viabilidad durante el almacenamiento de *Lactobacillus* en yogures prebióticos (Li et al., 2019). Además, en este ámbito, formaría microcristales cuando se mezcla con agua o leche, que no se perciben en la boca pero que interactúan con la matriz de los alimentos para dar una fina textura cremosa (Pimentel et al., 2013), que mejora el sabor y promueve una sensación bucal similar a la de la grasa (Crispín-Isidro et al., 2015; Pimentel et al., 2013).

El grado de polimerización de la inulina está asociado con la velocidad de consumo por parte de organismos probióticos y el uso de inulina de cadena corta se ha relacionado con una mayor producción de biomasa y de lactato y acetato ya que las cadenas cortas son las primeras en ser consumidas (Aryana et al., 2007). Si se utiliza inulina de cadena larga, se obtiene yogur menos firme, que puede deberse a que las moléculas de inulina, así como los glóbulos de grasa, quedan dispersos en el interior de las micelas de caseína interfiriendo en la formación de la matriz proteica, resultando en un gel más suave (Pimentel et al., 2013). Además, la inulina es estable a temperaturas elevadas y condiciones ácidas y tiene alta solubilidad que se incrementa con la temperatura (Ramchandran & Shah, 2008).

Los fructanos de la inulina pueden incrementar las especies de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* de la microbiota del colon fecal humano, lo que se conoce como el efecto prebiótico de la inulina y que tiene efectos benéficos para la salud (Fayed et al., 2018; Kip et al., 2006). Como fibra dietaria no digerible, se le ha atribuido actividad antioxidante, habilidad de

incrementar la microbiota del colon y regular niveles de glucosa y lípidos en la sangre. La inulina de cadena corta tiene el efecto de acelerar la excreción fecal debido a su bajo peso molecular. Por otro lado, el consumo de inulina de cadena larga se ha asociado a inhibición de crecimiento de patógenos en los intestinos, disminución de la incidencia del cáncer de colon (Aryana et al., 2007; Li et al., 2019; Pimentel et al., 2013), incremento de la absorción de calcio, magnesio y hierro; alivio de la constipación y eliminación de toxinas, disminución de la concentración de lípidos séricos, estimulación del sistema inmune y resistencia a infecciones y sensación de llenura con potenciales efectos positivos en el control del peso corporal (Meyer et al., 2011).

Sin embargo, para declarar que un producto contiene fibra dietética a base de inulina se la debería adicionar en un rango de 3 a 6 g / 100 g o 100 ml de producto, mientras que el consumo de entre 3 a 8 g por día sería necesario para asegurar su efecto prebiótico (Meyer et al., 2011; Meyer & Stasse-Wolthuis, 2009). Debido a estos beneficios tecnológicos y nutricionales la inulina se ha utilizado como ingrediente en una gran variedad de productos alimenticios en panadería, confitería, pastas, helados, bebidas y productos lácteos (Rinaldoni et al., 2012).

Así, en el contexto expuesto, esta revisión analizará estudios sobre la adición de inulina en el yogur como sucedáneo de la grasa y analizará diferencias y semejanzas en los resultados obtenidos por sus autores, tabulará la información más relevante con especial énfasis en la composición, evaluación sensorial y características físico-químicas y, cuando sea posible, realizará inferencias y recomendaciones para futuros estudios.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó una revisión bibliográfica, para recopilar una gran variedad de investigaciones acerca del uso de inulina como sucedáneo de la grasa en yogures de bajo contenido de grasa. Se elaboraron tablas comparativas de los diferentes resultados recopilados, organizando la información con base en los resultados presentados en las investigaciones consultadas.

Se recopilaron investigaciones de diversas revistas indexadas, dando preferencia a aquellas publicadas de los últimos 10 años, sin desmerecer o dejar de considerar a las publicaciones relacionadas de años anteriores que presentaran información relevante.

ANÁLISIS DE DATOS

Efecto de la adición de inulina en el análisis sensorial del yogur

Un yogur de buena calidad debe poseer un olor y sabor agradable. Además, debe mantener la integridad de su cuajada, es decir, sin mostrar señales de rupturas, formación de grumos o liberación de suero ya que el defecto de sinéresis se relaciona directamente con la apariencia y la sensación en la boca, por lo que puede provocar efectos adversos en el nivel de agrado del producto. Es por esto que la adición de la cantidad adecuada del sucedáneo de grasa es de gran importancia en el desarrollo de yogur con menor contenido de grasa (Srisuvor et al., 2013). En este contexto, la Tabla 1 presenta los puntajes obtenidos para diversos atributos sensoriales analizados en investigaciones de yogures con adición de inulina como sucedáneo de grasa.

Así, Crispín-Isidro et al. (2015) en pruebas hedónicas con una escala de 7 puntos, realizadas a los 3 días de almacenamiento a 61 panelistas consumidores frecuentes de yogur batido, mostraron que la formulación de yogur reducido en grasa (1.3 % grasa) con la adición de inulina de cadena corta (10 DP) en concentración de 20 g/L obtuvo puntajes mayores al control (elaborado con leche de 2.6 % grasa) en sabor, cuerpo, cremosidad y nivel de agrado. Las formulaciones con inulina de 40 y 60 g/L presentaron puntajes superiores al control entero en sabor, cremosidad, cuerpo y nivel de agrado.

Estos resultados son similares a los encontrados por Aryana et al. (2007) donde la adición de inulina (15 g/L) de cadena corta (4 DP) en yogur sin grasa determinó puntajes de 8 o 9, en una escala hedónica de 10 puntos, en el atributo de sabor en el día 1 de análisis y mantuvo puntuaciones mayores a otras formulaciones con inulina de mayor DP (10 DP y 23 DP) durante los 22 días de almacenamiento. Varios panelistas calificaban a la formulación con inulina de cadena corta como “dulce” en comparación a las demás. Los parámetros de color, apariencia, cuerpo y textura se evaluaron sobre 5 puntos y mostraron puntajes de alrededor de 4, indicando su aceptabilidad.

De igual manera, Li et al. (2019) elaboró yogur usando inulina de cadena corta (4 y 7 DP) y de cadena mediana (11 y 15 DP) adicionadas en una concentración de 20 g/L y los valoraron en una escala hedónica de 10 puntos. El producto obtenido con inulina de cadena corta (4 y 7 DP), fue percibido por los panelistas como más dulce y mostró valores similares al control en los parámetros color, olor y sabor y una mejor valoración en nivel de agrado (Tabla 1). Sin embargo, la formulación con inulina entrecruzada de cadena corta (7 DP) presentó el menor valor en el atributo de cuerpo, lo que es consistente con literatura reportada.

Estos resultados sugerirían que la inulina de cadena corta (entre 4 y 10 DP) desarrollaría en el yogur reducido en grasa algunas propiedades sensoriales similares o ligeramente superiores al producto control, con especial efecto en el atributo de sabor. Respecto al producto elaborado con inulina nativa y con la entrecruzada, tampoco se halla una diferencia importante en los resultados.

Por otro lado, los resultados de Li et al. (2019) usando inulina de cadena mediana (11 y 15 DP) muestran que si existieron diferencias estadísticamente significativas (en algunos parámetros) en comparación con el resto de formulaciones, ya que las puntuaciones obtenidas, tanto con la inulina nativa como con la entrecruzada, fueron las mayores en los atributos de cuerpo y nivel de agrado. Estos productos fueron percibidos por los panelistas como más suaves y cremosos. Contrariamente, las puntuaciones obtenidas por estas muestras no se afectaron significativamente en parámetros de color, olor y sabor.

Respecto a estudios con adición de inulina de cadena larga, los resultados de Pimentel et al. (2013) en pruebas hedónicas de 9 puntos en yogures con prebiótico reducidos en grasa (0.1 %), muestran que la adición de inulina de cadena larga (23 DP) aumenta el puntaje obtenido de brillo (6.62^b) en relación a su control (4.95^c) y al control entero con 3.54 % de grasa (2.51^d). Además, la firmeza de la formulación con inulina (6.45^{ab}) fue también mayor en relación al control entero (5.67^b). Se evidenció también una apariencia más homogénea, con un aroma más ácido y puntaje similar en cremosidad (Tabla 1) (Pimentel et al., 2013). La adición de inulina, en una concentración de 20 g/L, mantuvo niveles de agrado similares e inferiores a los de los controles reducido en grasa y entero respectivamente y contribuyó a aumentar la aceptabilidad de los yogures con prebiótico (73.34 %) y simbiótico (66.67 %) en relación a su control reducido en grasa (65.33 %).

De manera similar, Aryana et al. (2007) determinó, luego de 22 días de almacenamiento en refrigeración, que la formulación con 15 g/L de inulina de cadena larga (DP = 23) recibió puntajes menores o similares al control sin grasa en los parámetros de sabor, color y apariencia, aunque se mantuvieron alrededor de los 4 puntos en una escala del 1 al 5. Esta formulación tuvo un puntaje de 5 en el atributo de textura hasta el día 11 de almacenamiento.

Estos resultados son similares a los de los estudios de Santiago-García et al. (2021), quienes encontraron que la adición de 30 y 60 g/L de inulina de cadena larga (DP no especificado) en la elaboración de yogur reducido en grasa (0.8 %), a los 3 días de almacenamiento, no originó efectos en los atributos sensoriales de apariencia, olor, color, ni sabor. Por otro lado, la cremosidad se vio significativamente incrementada (6.0/10*) por la adición de 60 g/L de inulina en comparación con la formulación reducida en grasa (5.5/10*).

De igual manera, en otro estudio de Kip et al. (2006), un panel entrenado de 8 miembros analizó formulaciones con inulina de 23 DP adicionadas, en 15, 30 y 40 g/L. La sensación cremosa en la boca de yogures reducidos en grasa (0.1 %) se evaluó mediante un análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales, encontrando que el espesor, la pegajosidad y ligereza tienen una estrecha correlación con el contenido de inulina. Por ejemplo, el producto elaborado con la concentración de 30 g de inulina/L es más pegajoso que el control reducido en grasa, con valores de 3.3 a 2.3 respectivamente. Esta característica afecta positivamente la sensación de cremosidad en la boca ya que es esencial la formación de una capa para percibirla. Por otro lado, las formulaciones de inulina no presentaron diferencias significativas en el atributo ligereza, que está relacionado con la velocidad de desintegración percibida en la boca. Finalmente, se determinó como valores óptimos de inulina entre 15 y 40 g/L para el atributo de ligereza y 30 g/L para el atributo de cremosidad.

Por su parte, en los estudios analizados por Srisuvor et al., (2013), la adición de inulina de cadena larga (23 DP) no afectó el sabor ni el olor pero si mostró diferencias significativas en apariencias, textura y nivel de agrado, en una escala hedónica de 7 puntos. En general, las mejores propiedades sensoriales evaluadas se obtuvieron con las concentraciones de inulina de 10 y 20 g/L, las que superaron al control con 1.5 % de grasa (en especial la concentración 10 g/L). La diferencia en los resultados de estos autores, con los otros estudios de cadena larga mencionados, podría deberse a la mayor concentración de grasa de este yogur, que haría contraproducente la adición de mayores concentraciones de inulina como sucedáneo de grasa, como se aprecia en los puntajes de los atributos de la Tabla 1.

Estos resultados indicarían que la inulina de cadena media y larga adicionada en concentraciones (por lo general) de 20 o 30 g/L afectaría principalmente la sensación percibida en la boca, mientras que atributos de sabor, olor y apariencia no se ven significativamente afectados. Es decir, que el uso de estas inulinas y en esas concentraciones podría mimetizar la sensación en la boca de la grasa y podría utilizarse como sucedáneo de la misma, con niveles de agrado deseados.

Entonces, se podría utilizar inulina de cadena larga como sucedáneo de la grasa, porque (en la mayoría de estudios) logra niveles de agrado estadísticamente similares a los de los controles, inclusive (en algunos casos) mayores que los controles elaborados con leche entera, y podría contribuir a mejorar atributos relacionados con la textura, la cremosidad y la sensación en la boca, sin efectos importantes en sabor y parámetros de apariencia. Sin embargo, la concentración de la inulina deberá tomarse en consideración para no tener efectos negativos en esos atributos. Otros estudios como los de El-Kholy et al. (2020); Rinaldoni et al. (2012); Yu et al. (2021) también encontraron que la adición de inulina en concentraciones que van desde 0.1

hasta 70 g/L podría o no afectar positivamente los parámetros sensoriales de yogures entero o reducido en grasa, desafortunadamente al no referir el tipo de inulina usado se hace imposible inferir su efecto.

Tabla 1*Análisis sensorial de yogur con adición de inulina*

DP	Composición g/L	Nivel de agrado	Sabor	Cuerpo/ Textura	Cremosidad	Apariencia	Color	Olor	Referencia
10	FC	5.30 *	5.20 *	5.30 *	5.30 *	ND	ND	ND	(Crispín- Isidro et al., 2015)
	M-IN ₂₀	5.60 *	6.00 *	6.10 *	6.00 *	ND	ND	ND	
	M-IN ₄₀	6.30 *	6.70 *	6.40 *	6.10 *	ND	ND	ND	
	M-IN ₆₀	6.10 *	6.00 *	6.00 *	6.40 *	ND	ND	ND	
4	CC (D1)	ND	8.30 *	4.70 *	ND	4.40 *	4.40 *	ND	(Aryana et al., 2007)
	CC (D22)	ND	7.50 *	4.70 *	ND	4.30 *	4.30 *	ND	
	S-IN ₁₅ (D1)	ND	8.10 *	4.60 *	ND	4.20 *	4.20 *	ND	
	S-IN ₁₅ (D22)	ND	7.60 *	4.60 *	ND	4.30 *	4.30 *	ND	
10	M-IN ₁₅ (D1)	ND	7.50 *	4.80 *	ND	4.30 *	4.30 *	ND	
	M-IN ₁₅ (D22)	ND	7.40 *	4.80*	ND	4.30 *	4.30 *	ND	
23	L-IN ₁₅ (D1)	ND	7.40 *	5.00 *	ND	4.40 *	4.40 *	ND	
	L-IN ₁₅ (D22)	ND	7.30 *	4.10 *	ND	4.40 *	4.40 *	ND	
4	FC	6.98 ± 0.72 ^a	7.47 ± 1.29 ^a	5.15 ± 1.28 _a	ND	ND	8.64 ± 1.20 _a	8.06 ± 1.14 ^a	(Li et al., 2019)
	S-IN ₂₀	7.85 ± 0.52 ^{ab}	7.69 ± 1.38 ^a	7.43 ± 1.35 _b	ND	ND	8.77 ± 1.47 _a	8.07 ± 1.64 ^a	

DP	Composición g/L	Nivel de agrado	Sabor	Cuerpo/ Textura	Cremosidad	Apariencia	Color	Olor	Referencia
7	CS-IN ₂₀	7.01 ± 0.81 ^{ab}	7.02 ± 1.19 ^a	5.69 ± 1.30 ^{ab}	ND	ND	7.78 ± 0.83 ^a	7.69 ± 1.01 ^a	(Li et al., 2019)
11	M-IN ₂₀	8.34 ± 0.89 ^{ab}	7.64 ± 1.49 ^a	8.11 ± 1.49 ^b	ND	ND	8.37 ± 1.03 ^a	8.69 ± 1.13 ^a	
15	CM-IN ₂₀	8.94 ± 0.75 ^b	7.73 ± 1.36 ^a	7.72 ± 1.60 ^{ab}	ND	ND	8.52 ± 1.08 ^a	8.56 ± 1.35 ^a	
23	FC	6.8 ± 1.6 ^a	2.87 ^a	ND	6.91 ^a	2.51 ^d	4.68 ^a	3.47 ^b	(Pimentel et al., 2013)
	C	6.0 ± 1.7 ^b	2.39 ^a	ND	5.92 ^b	4.95 ^c	4.14 ^a	4.68 ^{ab}	
	LF-IN ₂₀	6.2 ± 1.7 ^{ab}	2.42 ^a	ND	5.86 ^b	6.62 ^{ab}	4.61 ^a	5.09 ^a	
	LF- IN ₂₀ PRO	6.1 ± 1.7 ^{ab}	2.04 ^a	ND	5.79 ^b	7.27 ^a	4.81 ^a	5.64 ^a	
23	C	4.62 ± 1.36 ^c	4.76 ± 1.53 ^a	4.57 ± 1.45 ^b	ND	4.44 ± 1.64 ^b	5.18 ± 1.15 ^c	5.08 ± 1.23 ^a	(Srisuvor et al., 2013)
	L-IN ₁₀	5.43 ± 1.29 ^a	5.19 ± 1.38 ^a	5.38 ± 1.43 ^a	ND	5.95 ± 1.08 ^a	5.83 ± 0.88 ^a	5.24 ± 1.21 ^a	
	L-IN ₂₀	5.21 ± 1.20 ^{ab}	5.19 ± 1.50 ^a	5.07 ± 1.30 ^{ab}	ND	4.86 ± 1.62 ^b	5.31 ± 0.90 ^{bc}	4.95 ± 1.17 ^a	
	L-IN ₃₀	4.98 ± 1.20 ^{abc}	5.21 ± 1.20 ^a	4.90 ± 1.38 ^{ab}	ND	4.29 ± 1.80 ^b	5.00 ± 1.13 ^c	4.98 ± 1.18 ^a	

DP	Composición g/L	Nivel de agrado	Sabor	Cuerpo/ Textura	Cremosidad	Apariencia	Color	Olor	Referencia
SD	FC	8.46 ^{ba}	8.30 ^a	ND	8.33 ^a	8.47 ^a	8.73 ^a	ND	(El-Kholy et al., 2020)
	C	7.62 ^c	6.80 ^b	ND	7.50 ^b	7.50 ^c	8.68 ^a	ND	
	IN ₅	8.38 ^{ab}	8.22 ^a	ND	8.30 ^a	8.25 ^{ab}	8.73 ^a	ND	
	IN ₁₀	8.50 ^a	8.37 ^a	ND	8.38 ^a	8.47 ^a	8.77 ^a	ND	
	IN ₂₀	8.31 ^b	8.30 ^a	ND	8.17 ^a	8.00 ^a	8.76 ^a	ND	
SD	FC	3.90 ^{h*}	4.70 ^{e*}	3.60 ^{g*}	ND	6.00 ^{d*}	ND	ND	(Yu et al., 2021)
	IN _{0.1}	4.80 ^{d*}	5.70 ^{b*}	5.20 ^{d*}	ND	6.20 ^{c*}	ND	ND	
	IN ₁	4.70 ^{e*}	4.80 ^{e*}	4.90 ^{e*}	ND	6.30 ^{c*}	ND	ND	
	IN ₁₀	5.00 ^{c*}	5.20 ^{d*}	5.40 ^{c*}	ND	6.00 ^{d*}	ND	ND	

FC = control entero; C = control reducido en grasa; S-IN = Inulina nativa de cadena corta; M-IN = inulina nativa de cadena mediana; L-IN = inulina nativa de cadena larga; CS-IN = inulina entrecruzada de cadena corta; CM-IN = inulina entrecruzada de cadena larga.; LF = bajo en grasa; PRO = probiótico; ND = no disponible; D = día de análisis; * = valores aproximados leídos en gráficos; promedios identificados con diferente superíndice difieren estadísticamente a p <0.05

Composición y propiedades físico-químicas de yogures con inulina

El estudio de la adición de inulina en el yogur es importante porque afectaría también sus propiedades físico-químicas y por ende su calidad, algunos resultados encontrados se presentan en la Tabla 2. Por ejemplo, Paseephol & Sherkat (2009) probaron una concentración de inulina de 40 g/L (4 y 9 DP) en yogures reducidos en grasa (0.9 %) y no encontraron una diferencia importante con el control, en el pH y en la acidez titulable, ni al inicio ni durante el tiempo de almacenamiento.

Al considerar inulina de longitud de cadena mediana (DP 10), Crispín-Isidro et al. (2015) observaron resultados similares en cuanto a la acidez titulable de yogur batido, con adición de 20, 40 y 60 g/L de inulina, ya que sus valores iniciales fueron de 0.80 a 0.86 % y permanecieron prácticamente constantes después de tres días de almacenamiento. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Paseephol & Sherkat (2009), que probaron también una concentración de inulina de 40 g/L, DP = 12, en yogures reducidos en grasa (0.9 %) sin encontrar diferencias importantes en pH y acidez titulable, durante todo el tiempo de almacenamiento. Aryana et al. (2007) reportaron también resultados que concuerdan con lo expuesto, ya que al investigar el efecto de la adición de inulina de cadena mediana (DP 10), en una concentración de 15 g/L, no identificaron un efecto sobre el pH durante 22 días de almacenamiento.

Estos resultados de la acidez, sin embargo, contrastan con el estudio de Li et al. (2019), quienes al analizarla reportan valores estadísticamente mayores en yogures añadidos con 20 g/L de inulina de cadena corta y mediana entrecruzadas, comparadas con el control. Es decir, el proceso de obtención de las inulinas entrecruzadas pudo afectar la acidez de los yogures.

Estos resultados implicarían que la adición de inulina de cadena corta o mediana no influye en el pH ni la acidez titulable de los yogures y por ende no afectarían negativamente su calidad durante el tiempo de almacenamiento, relacionada directamente con estos dos parámetros. El incremento en la acidez reportado en las formulaciones con inulinas entrecruzadas correspondería a la adición de grupos fosfatos por el proceso de entrecruzamiento, posiblemente porque son grupos ácidos y originan cadenas de mayor DP que las inulinas nativas de las que se obtuvieron. En todo caso, el incremento de la acidez en ese estudio es inferior al 15 %.

Srisuvor et al. (2013), determinaron que la variación de inulina de cadena larga (23 DP), en concentraciones de 10 – 30 g / L en yogur aplanado, no afectaba significativamente los valores de acidez titulable y pH, medidos al día siguiente de su producción. Estos hallazgos están en concordancia con los presentados por Aryana et al. (2007) en su investigación con inulina de cadena larga (DP = 23 y 15 g/L), en la que identificaron que el efecto del tratamiento sobre el pH no fue significativo durante el tiempo de 22 días de almacenamiento. Arango et al. (2020) confirmaron también lo expuesto, al probar concentraciones de 16 y 32 g/L de inulina de DP \geq 23 en yogures con diferentes porcentajes de grasa. Así, se evidenció que no hubo diferencias estadísticamente significativas en el pH final de todas las formulaciones y que además todas las curvas de acidificación fueron idénticas hasta llegar a pH 4.6. Sin embargo, si se encontró efecto significativo entre la adición de inulina y el tiempo de acidificación hasta pH de 5.0, que tendió a ser menor mientras se incrementaba el contenido de inulina, lo que podría deberse a su actividad prebiótica, como consecuencia de su hidrólisis parcial.

Ramchandran & Shah (2008) confirmaron también este comportamiento al probar concentraciones de inulina de 20 y 30 g/L (25 DP) y establecer que su adición no ocasionó un

efecto importante en el pH ni en la acidez titulable, como puede apreciarse en la Tabla 2. Sin embargo, si se observó una tendencia creciente de la acidez titulable hasta el día 14 de almacenamiento, que fue coincidente con la disminución del pH en todas las formulaciones hasta ese mismo día. Además, esta inulina permitió alcanzar el pH de 4.5 más rápido que en el control, resultando en menores periodos de fermentación que podrían deberse a un incremento en el crecimiento de los microorganismos.

El estudio realizado por Santiago-García et al. (2021) tampoco identificó que el pH y la acidez titulable fueran influenciadas por la adición de 30 y 60 g/L de inulina de cadena larga extraída de agaves (DP no especificado). Específicamente, la acidez titulable registró valores entre 0.75 y 0.80 % y se mantuvo prácticamente constante luego de 11 días de almacenamiento en refrigeración.

Por otro lado, Pimentel et al. (2012) en un estudio en yogur batido almacenado en refrigeración durante 28 días, si encontraron disminuciones significativas en el pH y aumentos en la acidez titulable de yogures adicionados con inulina de cadena larga (23 DP). Sin embargo, la variación fue inferior al 10 %. Estos dos parámetros mantienen una estrecha relación entre sí ya que la disminución del pH ocurre por la fermentación continua de lactosa por las bacterias ácido lácticas, lo que origina un incremento de la acidez titulable. El yogur prebiótico, LF-IN₂₀, presentó menor acidez titulable que el control reducido en grasa y mayor que el control entero. Este parámetro afecta el tiempo de vida útil del producto, ya que suele estar limitado por excesiva acidificación durante el almacenamiento. Entonces, la adición del prebiótico de cadena larga puede incrementar el tiempo de vida útil de los yogures reducidos en grasa, debido a su menor acidez. Por otro lado, al analizar solo la adición del probiótico (LF-PRO), no se

determinaron diferencias significativas en el pH y acidez titulable en comparación con el control reducido en grasa.

Con base en los resultados descritos, resulta evidente que la inulina de cadena larga tampoco tiene un efecto significativo en el pH y acidez titulable. Las variaciones existentes se han justificado por ser formulaciones que cuentan con algún probiótico adicional añadido, cuyo metabolismo originaría la disminución del pH y un aumento de acidez. De todas maneras, la variación constituye un porcentaje pequeño.

En general, la inulina de cadena corta, media o larga no tendría un efecto mayor al 10 o 15% en el pH y la acidez titulable de los yogures reducidos en grasa. Su uso como sucedáneo de grasa no alteraría el tiempo de vida útil del producto lácteo, ya que la acidez permanecería prácticamente constante durante el tiempo de almacenamiento.

Respecto a la adición de inulina y su efecto en la sinéresis y en la capacidad de retención de agua del yogur, propiedades importantes relacionadas con la calidad del producto, se han obtenido diferentes resultados en yogures reducidos en grasa (Tabla 3). Por ejemplo, Li et al. (2019) reportaron un aumento de la sinéresis durante el tiempo de almacenamiento al estudiar la adición de 20 g/L de 4 tipos de inulina de cadena corta (4 y 7 DP) y mediana (11 y 15 DP). Sin embargo, en todos los casos la inulina disminuyó la sinéresis respecto al control al final del tiempo de almacenamiento, gracias a la habilidad del prebiótico de unir moléculas de agua y prevenir su libre movimiento. Entre las diferentes formulaciones estudiadas, el yogur con inulina de cadena mediana entrecruzada, (15 DP), presentó valores menores de sinéresis, lo que podría sugerir que tiene una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor DP.

Por su parte, las investigaciones de Crispín-Isidro et al. (2015) en yogur reducido en grasa (1.3 %) con 20, 40 y 60 g/L de inulina de cadena mediana (DP 10), determinaron también una disminución de la sinéresis en el día 3 en relación al control elaborado con leche de 2.6 % de grasa. De manera similar, la adición de 15 g/L de inulina de DP = 10 si evidenció un efecto significativo hasta el día 22, ya que se obtuvieron yogures con menor sinéresis que el control sin grasa (Aryana et al., 2007).

Se podría decir que la inulina, de cadena corta y mediana, contribuiría a la disminución de sinéresis de yogur comparada con sus respectivos controles por lo que mejoraría esta importante propiedad en yogures reducidos en grasa.

Al analizar el efecto de la inulina de cadena larga, no se produjo un efecto significativo en la sinéresis de yogur aplanado reducido en grasa (1.5 %) en un estudio con concentraciones de 10 a 30 g/L de inulina, DP = 23 (Srisuvor et al., 2013). Este comportamiento pudo deberse a que tampoco existió un efecto significativo de la acidez titulable, que hubiera ocasionado una mayor expulsión de suero. Además, se observó una disminución significativa de la capacidad de retención de agua en relación al control reducido en grasa independientemente de la concentración añadida de inulina. Esta disminución respondería posiblemente al contenido de 4.5 % de proteínas del yogur, que resultaría insuficiente para la formación de complejos que ligan el agua, mediante puentes de hidrógeno. Además, considerando los datos de la Tabla 2, podría deberse también a un exceso de sólidos totales y una falta de homogenización.

Por su parte, la investigación de Ramchandran & Shah (2008), coincidió en que la adición de inulina de cadena larga (25 DP) en concentraciones de 20 y 30 g/L no tuvo un efecto importante en la sinéresis durante un periodo de almacenamiento de 28 días. La similitud en la tendencia, podría deberse a que ambos yogures se obtuvieron con temperaturas de

pasteurización, inoculación, incubación y enfriamiento similares. Además, ninguno contó con homogenización en su proceso de obtención y los DP de las inulinas utilizados son muy cercanos entre sí.

Santiago-García et al. (2021) encontraron un efecto significativo tanto en sinéresis como en capacidad de retención de agua, al estudiar el efecto de la adición de 30 y 60 g/L de inulina de cadena larga (DP no especificado) en la elaboración de yogur reducido en grasa (0.8 %). Los valores de sinéresis fueron menores que el control reducido en grasa y se encontró que a mayor concentración del fructano existió mayor reducción de sinéresis. La capacidad de retención de agua de todas las formulaciones con prebiótico fue mayor que la del control entero (4 % de grasa). Sin embargo, solo la concentración del 60 g/L resultó significativamente diferente con el control reducido en grasa. Estos resultados coinciden con los de Aryana et al. (2007), quienes evidenciaron una disminución significativa de la sinéresis de yogur con inulina de cadena larga (23 DP) en relación al control sin grasa durante 22 días de almacenamiento (Tabla 3). La explicación a los resultados obtenidos pudiera ser la interacción entre el prebiótico y la matriz proteica, formando complejos de agregados de caseína, que le confiere estabilidad a la red. Además, podría deberse a que esta inulina de cadena larga tiene mejor capacidad de retención de agua.

Por otro lado, Arango et al. (2020) determinó que la sinéresis espontánea aumenta con respecto a los controles con la adición de 16 y 32 g/L de inulina de cadena larga ($DP \geq 23$) en yogures con 0.4; 1.6 y 3.6 % de grasa en el mismo día de elaboración. Por ejemplo, se encontró que la sinéresis para los yogures con 0.4 % de grasa fueron mayores (4.01 y 4.70 %, respectivamente para las 2 concentraciones de inulina estudiadas) a la sinéresis del control entero (3.56 %). Este comportamiento podría deberse a que la adición de inulina origina geles más

fuertes y con poros más grandes, incrementando la permeabilidad y la sinéresis. Por otro lado, no se encontró diferencia en la capacidad de retención de agua, determinada por centrifugación, que se mantuvo prácticamente constante entre las muestras con inulina (36.0 y 36.4 %) y el control entero (33.6 %). Este resultado podría deberse a que este parámetro se calculó con una modificación de la relación matemática habitual empleada, al considerar que la adición de inulina aumenta los sólidos totales y disminuye desde el inicio el contenido de agua.

Por su parte el estudio de Pimentel et al. (2012) sugeriría que el uso de inulina de cadena larga (23 DP), en una concentración de 20 g/L, interferiría en la formación de la estructura tridimensional de la caseína, produciendo un gel más débil incapaz de retener agua, reflejado en un aumento significativo en la sinéresis durante el periodo de 28 días de almacenamiento. Estos resultados están relacionados con la disminución del pH y consiguiente aumento de la acidez explicados anteriormente y que ocasiona la contracción de la matriz de micelas de caseína, incrementando la expulsión de suero. Sin embargo, la formulación con probiótico, LF-PRO, alcanzó los menores valores de sinéresis entre todos los yogures estudiados. Este comportamiento podría estar relacionado con la producción de exopolisacáridos producidos por los probióticos, que se asocian con la estabilidad de la estructura del gel. Esto quiere decir que, el uso de una cultura probiótica adicional ayudaría al mantenimiento de la adecuada estructura de yogur, relacionada con la buena calidad del mismo.

Los resultados expuestos no permiten identificar un efecto concreto de la inulina de cadena larga puesto que, pese a que la mayoría de los DP estudiados son similares al igual que algunos parámetros de su proceso de elaboración (Tabla 3), se han reportado tanto aumentos como disminuciones de sinéresis y capacidad de retención de agua, e incluso efectos no significativos. Los resultados contradictorios podrían deberse además a la variabilidad de

métodos utilizados para evaluar la sinéresis y la capacidad de retención de agua. Sin embargo, si se puede apreciar que la tendencia de disminución de sinéresis se evidencia en variadas concentraciones de inulina, que van desde 16 – 60 g/L. Otros parámetros como composición de la fórmula y características del proceso (presiones de homogenización, temperatura y tiempos de procesos, condiciones de ruptura del coágulo) y tipos y concentraciones de inóculos se deberían incluir en los resultados de las investigaciones a fin de poder entender mejor el proceso de sinéresis en yogur con inulina.

Tabla 2*pH y acidez titulable en yogures con adición de inulina como sucedáneo de grasa*

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
aflanado	16 % (ST)	0.9 %		1	C	4.40 *	1.09 *	(Paseephol & Sherkat, 2009)
				7		4.30 *	1.09 *	
				14		4.30 *	1.11 *	
				21		4.20 *	1.15 *	
				28		4.20 *	1.20 *	
	12 % (ST)		4	1	S ₄ -IN ₄₀	4.20 *	0.90 *	
				7		4.20 *	0.95 *	
				14		4.20 *	1.06 *	
				21		4.10 *	1.15 *	
				28		4.10 *	1.15 *	
			9	1	S ₉ -IN ₄₀	4.30 *	1.08 *	
				7		4.30 *	1.09 *	
				14		4.20 *	1.15 *	
				21		4.10 *	1.16 *	
				28		4.10 *	1.15 *	
		12	1	M ₁₂ -IN ₄₀	4.50 *	0.85 *		

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
				7		4.50 *	0.88 *	(Paseephol & Sherkat, 2009)
				14		4.50 *	0.95 *	
				21		4.40 *	0.97 *	
				28		4.40 *	1.08 *	
aflonado	16.0 % (NG)	Sin grasa		1	CC	4.58 ± 0.02 ^{b,e}	ND	(Aryana et al., 2007)
	14.5 % (NG)			23	L-IN ₁₅	4.54 ± 0.01 ^{b,f}	ND	
				10	M-IN ₁₅	4.53 ± 0.01 ^{b,f}	ND	
	16.0 % (NG)			11	CC	4.55 ± 0.01 ^{c,e}	ND	
	14.5 % (NG)			23	L-IN ₁₅	4.51 ± 0.02 ^{c,f}	ND	
				10	M-IN ₁₅	4.49 ± 0.02 ^{c,f}	ND	
	16.0 % (NG)			22	CC	4.51 ± 0.01 ^{d,e}	ND	
	14.5 % (NG)			23	L-IN ₁₅	4.47 ± 0.02 ^{d,f}	ND	
			10	M-IN ₁₅	4.45 ± 0.02 ^{d,f}	ND		
aflonado	16.0 % w/w leche en polvo 8 % azúcar	ND		1	FC	ND	0.86 ± 0.01 ^{dC}	(Li et al., 2019)
				7		ND	0.87 ± 0.02 ^{cC}	
				11		ND	0.90 ± 0.01 ^{cB}	
				14		ND	0.93 ± 0.02 ^A	

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
6 % azúcar	16.0 % w/w	ND	4	1	S-IN ₂₀	ND	0.89 ± 0.01 ^{bcB}	(Li et al., 2019)
				7		ND	0.89 ± 0.01 ^{cB}	
				11		ND	0.98 ± 0.01 ^{bA}	
				14		ND	0.99 ± 0.02 ^{bA}	
			7	1	CS-IN ₂₀	ND	0.94 ± 0.01 ^{aD}	
				7		ND	0.96 ± 0.01 ^{aC}	
				11		ND	1.07 ± 0.01 ^{aB}	
				14		ND	1.10 ± 0.01 ^{aA}	
			11	1	M-IN ₂₀	ND	0.88 ± 0.01 ^{cC}	
				7		ND	0.93 ± 0.01 ^{bB}	
				11		ND	0.97 ± 0.01 ^{bA}	
				14		ND	0.93 ± 0.01 ^{cB}	
			15	1	CM-IN ₂₀	ND	0.90 ± 0.01 ^{bC}	
				7		ND	0.95 ± 0.01 ^{abB}	
				11		ND	0.98 ± 0.01 ^{bA}	
				14		ND	0.97 ± 0.01 ^{bA}	

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
aflonado	21.24 ± 0.42 ^d	1.5	23	2	C	4.34 ± 0.18 ^a	1.22 ± 0.08 ^a	(Srisuvor et al., 2013)
	21.88 ± 0.24 ^{cd}				L-IN ₁₀	4.51 ± 0.23 ^a	1.12 ± 0.01 ^a	
	22.84 ± 0.38 ^{bc}				L-IN ₂₀	4.45 ± 0.18 ^a	1.15 ± 0.02 ^a	
	24.20 ± 1.13 ^a				L-IN ₃₀	4.37 ± 0.08 ^a	1.19 ± 0.04 ^a	
aflonado	12 % (ST)	LF	25	1	C	4.48 *	1.15 x 10 ⁻³ aA	(Ramchandran & Shah, 2008)
					L-IN ₂₀	4.50 *	1.06 x 10 ⁻³ aB	
					L-IN ₃₀	4.51 *	1.10 x 10 ⁻³ aB	
				7	C	4.36 *	1.23 x 10 ⁻³ bA	
					L-IN ₂₀	4.39 *	1.14 x 10 ⁻³ bB	
					L-IN ₃₀	4.41 *	1.14 x 10 ⁻³ aB	
				14	C	4.29 *	1.29 x 10 ⁻³ cA	
					L-IN ₂₀	4.25 *	1.23 x 10 ⁻³ bcAB	
					L-IN ₃₀	4.28 *	1.19 x 10 ⁻³ baB	
				21	C	4.26 *	1.22 x 10 ⁻³ bA	
					L-IN ₂₀	4.26 *	1.17 x 10 ⁻³ bA	
					L-IN ₃₀	4.30 *	1.21 x 10 ⁻³ bA	
28	C	4.27 *	1.31 x 10 ⁻³ cA					
	L-IN ₂₀	4.28 *	1.22 x 10 ⁻³ bcB					
	L-IN ₃₀	4.28 *	1.22 x 10 ⁻³ bB					

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
batido	4.0 ± 0.08^b	17.75 ± 0.45^a	L-IN	1	CC	4.22 *	ND	(Santiago-García et al., 2021)
				5		4.10 *	ND	
				11		4.00 *	0.85 *	
	0.8 ± 0.10^a	16.05 ± 1.28^a		1	C	4.00 *	ND	
				5		4.17 *	ND	
				11		4.07 *	0.87 *	
	0.8 ± 0.10^a	17.90 ± 1.79^b		1	LF-L-INAA ₃₀	4.37 *	ND	
				5		4.25 *	ND	
				11		4.20 *	0.82 *	
	1.0 ± 0.12^a	20.07 ± 2.03^c		1	LF-L-INAA ₆₀	4.57 *	ND	
				5		4.41 *	ND	
				11		4.30 *	0.75 *	
	0.9 ± 0.09^a	18.37 ± 2.16^b		1	LF-L-INAP ₃₀	4.28 *	ND	
				5		4.22 *	ND	
				11		4.11 *	0.86 *	
	1.0 ± 0.09^a	19.49 ± 2.49^b		1	LF-L-INAP ₆₀	4.31 *	ND	
				5		4.24 *	ND	
				11		4.16 *	0.81 *	

Tipo	Sólidos	Grasa (%)	DP	Días de análisis	Tipo y cantidad de inulina g/L	pH	Acidez titulable (%)	Referencia
batido	15.88 a 16.11 % (ST)	3.54 %	23	1	FC	4.47 ± 0.01 ^{Aa}	0.99 ± 0.07 ^{Bc}	(Pimentel et al., 2012)
				7		4.40 ± 0.01 ^{Ba}	1.04 ± 0.08 ^{Bc}	
				14		4.35 ± 0.01 ^{Ca}	1.07 ± 0.13 ^{Ac}	
				21		4.28 ± 0.01 ^{Da}	1.09 ± 0.12 ^{Ac}	
				28		4.26 ± 0.01 ^{Ea}	1.08 ± 0.09 ^{Ac}	
				1		0.1 %	C	
	7	4.37 ± 0.01 ^{Bc}	1.23 ± 0.04 ^{Ba}					
	14	4.33 ± 0.01 ^{Cc}	1.28 ± 0.03 ^{Aa}					
	21	4.26 ± 0.01 ^{Dc}	1.27 ± 0.05 ^{Aa}					
	28	4.24 ± 0.01 ^{Ec}	1.27 ± 0.04 ^{Aa}					
	1	LF-IN ₂₀		4.45 ± 0.01 ^{Ab}	1.07 ± 0.03 ^{Bb}			
	7			4.38 ± 0.01 ^{Bb}	1.10 ± 0.05 ^{Bb}			
	14			4.33 ± 0.01 ^{Cb}	1.11 ± 0.03 ^{Ab}			
	21			4.26 ± 0.01 ^{Db}	1.13 ± 0.02 ^{Ab}			
	28			4.24 ± 0.00 ^{Eb}	1.15 ± 0.03 ^{Ab}			
	1			LF-PRO		4.44 ± 0.01 ^{Ac}	1.25 ± 0.03 ^{Ba}	
	7	4.37 ± 0.01 ^{Bc}	1.30 ± 0.01 ^{Ba}					
	14	4.32 ± 0.01 ^{Cc}	1.31 ± 0.03 ^{Aa}					
21	4.25 ± 0.01 ^{Dc}	1.31 ± 0.04 ^{Aa}						

28		4.23 ± 0.01 ^{Ec}	1.31 ± 0.04 ^{Aa}
1	LF-IN ₂₀ PRO	4.45 ± 0.01 ^{Ab}	1.10 ± 0.03 ^{Bb}
7		4.38 ± 0.01 ^{Bb}	1.10 ± 0.01 ^{Bb}
14		4.33 ± 0.01 ^{Cb}	1.14 ± 0.06 ^{Ab}
21		4.26 ± 0.01 ^{Db}	1.13 ± 0.03 ^{Ab}
28		4.24 ± 0.01 ^{Eb}	1.16 ± 0.03 ^{Ab}

DP = grado de polimerización, FC= control entero; C = control reducido en grasa; CC = control sin grasa; LF = reducido en grasa, PRO = probiótico; ND = no disponible; S-IN= Inulina nativa de cadena corta; M-IN = inulina nativa de cadena mediana; L-IN = inulina nativa de cadena larga; CS-IN = inulina entrecruzada de cadena corta; CL-IN = inulina entrecruzada de cadena larga; NG = sólidos no grasos; ST = sólidos totales; * = valores aproximados leídos en gráficos; promedios identificados con diferente letra mayúscula difieren estadísticamente a $p \leq 0.05$ para cada formulación en función al día de almacenamiento; promedios identificados con diferente letra minúscula difieren estadísticamente a $p \leq 0.05$ entre formulaciones en el mismo día de almacenamiento

Tabla 3*Sinéresis y capacidad de retención de agua en yogures con adición de inulina como sucedáneo de grasa*

Tipo	Proceso	Sólidos (%)	Grasa (%)	DP	Concentración de inulina	Días de análisis	Sinéresis (%)	CRA (%)	Referencia
aflanado	Homogenización: 20 Mpa y 60 CM				FC	1	19.31	ND	(Li et al., 2019)
						7	21.08	ND	
						11	23.16	ND	
						14	25.50	ND	
	Pasteurización: 95 °C, 15 min			4	S-IN ₂₀	1	15.93	ND	
						7	17.89	ND	
						11	17.57	ND	
						14	19.20	ND	
	T inoc: 45 °C			7	CS-IN ₂₀	1	14.01	ND	
	T incub: 42 °C					7	16.29	ND	
	T refrig: 4 °C					11	17.91	ND	
						14	18.98	ND	
				11	M-IN ₂₀	1	13.67	ND	
						7	14.87	ND	
						11	17.28	ND	
14		18.46	ND						
	15	CM-IN ₂₀	1	12.54	ND				

Tipo	Proceso	Sólidos (%)	Grasa (%)	DP	Concentración de inulina	Días de análisis	Sinéresis (%)	CRA (%)	Referencia	
						7	14.57	ND	(Li et al., 2019)	
						11	15.02	ND		
						14	15.06	ND		
batido	Homogenización: 4000 rpm, 2 min	17.4 ± 0.2 ^a	2.6 ± 0.1 ^b	10	FC	3	9.9 ± 0.6 ^c	ND	(Crispín-Isidro et al., 2015)	
		20.1 ± 0.1 ^b	1.3 ± 0.0 ^a		IN ₂₀		9.2 ± 0.9 ^c	ND		
	Pasteurización: 80 °C, 10 min	20.9 ± 0.4 ^{bc}	1.3 ± 0.0 ^a		IN ₄₀		5.3 ± 0.5 ^b	ND		
		T inoc: 45 °C	22.5 ± 0.4 ^d		1.3 ± 0.0 ^a		IN ₆₀	5.1 ± 0.1 ^b		ND
							T incub: 45 °C			
T refri: 4 °C										
aflanado	Homogenización: 10.3 MPa (1era) 3.45 Mpa (2da)	16.0 % (NG)	Sin grasa		CC	1	68.0 ± 0.3 ^{De}	ND	(Aryana et al., 2007)	
		14.5 % (NG)		23	L-IN ₁₅		55 ± 1 ^{Df}	ND		
				10	M-IN ₁₅		55 ± 1 ^{Df}	ND		
	Pasteurización: 85 °C, 30 min	16.0 % (NG)		CC	11	69.4 ± 0.6 ^{Ce}	ND			
		T inoc: 40 °C	14.5 % (NG)	23		L-IN ₁₅	58 ± 0.5 ^{Cf}	ND		
	T incub: 40 °C		10	M-IN ₁₅	59 ± 0.3 ^{Cf}	ND				
	T refrig: 4 °C	16.0 % (NG)		CC	22	72 ± 0.5 ^{Be}	ND			
		14.5 % (NG)	23	L-IN ₁₅		61 ± 0.4 ^{Bf}	ND			
10			M-IN ₁₅	62 ± 1 ^{Bf}		ND				

Tipo	Proceso	Sólidos (%)	Grasa (%)	DP	Concentración de inulina	Días de análisis	Sinéresis (%)	CRA (%)	Referencia
bebible	Pasteurización: 80 °C, 15 min	17.75 ± 0.45 a	4.0 ± 0.08 b	SD	CC	3	0.15 ± 0.07 ^a	0.870 ± 0.06 ^a	(Santiago-García et al., 2021)
	T inoc.: 45 °C	16.05 ± 1.28 a	0.8 ± 0.10 a	L- IN	C		3.01 ± 0.82 ^b	3.615 ± 0.01 ^c	
	T incub: 45 °C	17.90 ± 1.79 b	0.8 ± 0.10 a		LF-L-INAA ₃₀		0.85 ± 0.14 ^a	2.686 ± 0.01 ^{bc}	
	T refrig: 4 °C	20.07 ± 2.03 c	1.0 ± 0.12 a		LF-L-INAA ₆₀		0.75 ± 0.12 ^a	2.300 ± 0.01 ^b	
		18.37 ± 2.16 b	0.9 ± 0.09 a		LF-L-INAP ₃₀		0.66 ± 0.13 ^a	2.799 ± 0.00 ^{bc}	
		19.49 ± 2.49 b	1.0 ± 0.09 a		LF-L-INAP ₆₀		0.55 ± 0.11 ^a	2.310 ± 0.02 ^b	
aflanado	Pasteurización: 85 °C, 30 min	ND	ND	23	FC	1	25.99 ± 1.83 ^{Db}	ND	(Pimentel et al., 2012)
						7	29.70 ± 1.24 ^{Cb}	ND	
						14	29.32 ± 0.20 ^{Bb}	ND	
						21	29.77 ± 2.16 ^{Bb}	ND	
						28	35.51 ± 2.65 ^{Ab}	ND	
	T inoc: 42 °C	ND	ND	C	1	24.11 ± 1.67 ^{Dc}	ND		
					7	24.25 ± 0.28 ^{Cc}	ND		
					14	26.59 ± 0.74 ^{Bc}	ND		
					21	26.80 ± 1.71 ^{Bc}	ND		

Tipo	Proceso	Sólidos (%)	Grasa (%)	Concentración de inulina	Días de análisis	Sinéresis (%)	CRA (%)	Referencia				
aflanado	ND	ND	ND	LF-IN ₂₀	28	27.74 ± 0.53 ^{Ac}	ND	(Pimentel et al., 2012)				
					1	29.94 ± 3.31 ^{Da}	ND					
					7	30.87 ± 2.09 ^{Ca}	ND					
					14	33.51 ± 2.30 ^{Ba}	ND					
					21	34.29 ± 3.69 ^{Ba}	ND					
					28	34.94 ± 3.30 ^{Aa}	ND					
					ND	ND	ND		LF-PRO	1	21.38 ± 1.23 ^{Dd}	ND
										7	23.05 ± 1.66 ^{Cd}	ND
										14	25.07 ± 4.29 ^{Bd}	ND
										21	23.67 ± 1.55 ^{Bd}	ND
	28	26.65 ± 0.56 ^{Ad}	ND									
	ND	ND	ND	LF-IN ₂₀ PRO				1		25.15 ± 2.44 ^{Db}	ND	
					7	28.21 ± 2.86 ^{Cb}	ND					
					14	29.75 ± 3.01 ^{Bb}	ND					
					21	32.65 ± 1.68 ^{Bb}	ND					
						28	32.07 ± 2.21 ^{Ab}	ND				

DP = grado de polimerización, CRA = capacidad de retención de agua; T inoc = Temperatura de inoculación; T incub = Temperatura de incubación; T refrig = Temperatura de refrigeración; FC= control entero; C = control reducido en grasa; CC = control sin grasa; LF = reducido en grasa, PRO = probiótico; ND = no disponible; S-IN= Inulina nativa de cadena corta; M = inulina nativa de cadena mediana; L-

IN = inulina nativa de cadena larga; CS-IN = inulina entrecruzada de cadena corta; CM-IN = inulina entrecruzada de cadena mediana; NG = no grasos; ST = sólidos totales; * = valores aproximados leídos en gráficas; AA = *Agave angustifolia* Haw.; AP = *Agave potatorum* Zucc.; promedios identificados con diferente letra mayúscula difieren estadísticamente a $p \leq 0.05$ para cada formulación en función al día de almacenamiento; promedios identificados con diferente letra minúscula difieren estadísticamente a $p \leq 0.05$ entre formulaciones en el mismo día de almacenamiento.

CONCLUSIONES

El desarrollo de productos de bajo contenido calórico está motivado por el actual crecimiento de la obesidad y la demanda de productos alimenticios que apoyen a su tratamiento. Es así que la inulina se ha convertido en un ingrediente importante para proporcionar nuevas alternativas en la obtención y desarrollo de productos lácteos que satisfagan las necesidades del consumidor. La adición de inulina, como sucedáneo de grasa en yogures reducidos en grasa, permitiría desarrollar yogures con propiedades similares y en algunos casos mejores a las del yogur reducido en grasa incrementando además su aporte funcional. Sin embargo, el grado de polimerización de la inulina es un factor importante a considerar según el fin que se busque alcanzar en el producto.

La inulina de cadena corta serviría para mejorar la percepción del sabor debido a que sus propiedades son similares a las de los azúcares, con mayor solubilidad y dulzor. No afectaría sustancialmente ni el pH ni la acidez y contribuiría a la disminución de sinéresis, por lo que su tiempo de vida útil no se vería negativamente alterado. La adición podría incluir concentraciones desde 15 – 60 g/L, siendo la de 20 g/L la más común.

La inulina de cadena mediana y larga podrían actuar como modificadores de textura, al ser más viscosas y menos solubles que la inulina de cadena corta. Además, su adición no afectaría considerablemente parámetros como apariencia, color, sabor y podría mejorar los niveles de agrado. Por otro lado, el tiempo de vida útil tampoco se vería afectado porque la acidez permanecería prácticamente constante y el pH sufriría variaciones menores al 15 %.

En todos los casos, para alcanzar los claims de fibra dietaria a base de inulina, o el efecto prebiótico que se le atribuye, la concentración añadida debería ser de al menos 30 g/L.

RECOMENDACIONES

Para mejorar la aceptación de los yogures reducidos en grasa se deben optimizar características como apariencia, textura y homogeneidad, que son considerados conductores de muestras desagradables.

Además, en futuros estudios se podría evaluar el efecto de la adición de inulina, de diferente longitud de cadena, manteniendo constantes la concentración de sólidos totales y proteína.

De igual manera, se podría optimizar la concentración de inulina añadida según el porcentaje de reducción de grasa de los yogures que se produzcan.

Por otro lado, se podría evaluar el impacto de la adición de una o varias culturas probióticas adicionales en la elaboración de yogures simbióticos reducidos en grasa.

Se podría evaluar también el efecto de estudiar otras variables del proceso como la fórmula utilizada, el tipo y concentración del inóculo, la homogenización y las temperaturas y tiempos de pasteurización, de inoculación e incubación, así como las condiciones de batido.

REFERENCIAS

- Arango, O., Trujillo, A. J., & Castillo, M. (2020). Influence of fat substitution by inulin on fermentation process and physical properties of set yoghurt evaluated by an optical sensor. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.020>
- Aryana, K. J., Plauche, S., Rao, R. M., McGrew, P., & Shah, N. P. (2007). Fat-free plain yogurt manufactured with inulins of various chain lengths and *Lactobacillus acidophilus*. *Journal of Food Science*, 72(3), 79–84. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00302.x>
- Aryana, Kayanush J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9987–10013. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>
- Bordoni, A., Danesi, F., Dardevet, D., Dupont, D., Fernandez, A. S., Gille, D., Nunes dos Santos, C., Pinto, P., Re, R., Rémond, D., Shahar, D. R., & Vergères, G. (2017). Dairy products and inflammation: A review of the clinical evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2497–2525. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.967385>
- Crispín-Isidro, G., Lobato-Calleros, C., Espinosa-Andrews, H., Alvarez-Ramirez, J., & Vernon-Carter, E. J. (2015). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 438–444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.042>
- Das, K., Choudhary, R., & Thompson-Witrick, K. A. (2019). Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt. *Lwt*, 108(February), 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.058>
- El-Kholy, W. M., Aamer, R. A., & Ali, A. N. A. (2020). Utilization of inulin extracted from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots to improve the properties of low-fat synbiotic yoghurt. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2020.02.002>
- Fayed, B., Abood, A., El-Sayed, H. S., Hashem, A. M., & Mehanna, N. S. H. (2018). A synbiotic multiparticulate microcapsule for enhancing inulin intestinal release and *Bifidobacterium* gastro-intestinal survivability. *Carbohydrate Polymers*, 193(February), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.068>
- Fayed, B., El-Sayed, H. S., Abood, A., Hashem, A. M., & Mehanna, N. S. H. (2019). The application of multi-particulate microcapsule containing probiotic bacteria and inulin nanoparticles in enhancing the probiotic survivability in yoghurt. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22(September), 101391. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101391>
- García-Gómez, B., Romero-Rodríguez, Á., Vázquez-Odériz, L., Muñoz-Ferreiro, N., & Vázquez, M. (2018). Physicochemical evaluation of low-fat yoghurt produced with microbial transglutaminase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(14), 5479–5485. <https://doi.org/doi.org/10.1002/jsfa.9092>
- Hill, D., Ross, R. P., Arendt, E., & Stanton, C. (2017). Microbiology of yogurt and bio-yogurts

- containing probiotics and prebiotics. In *Yogurt in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00004-3>
- Kip, P., Meyer, D., & Jellema, R. H. (2006). Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, *16*(9), 1098–1103. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.10.011>
- Li, Y., Shabani, K. I., Qin, X., Yang, R., Jin, X., Ma, X., & Liu, X. (2019). Effects of cross-linked inulin with different polymerisation degrees on physicochemical and sensory properties of set-style yoghurt. *International Dairy Journal*, *94*, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.009>
- Mazzaglia, A., Legarová, V., Giaquinta, R., Lanza, C. M., & Restuccia, C. (2020). The influence of almond flour, inulin and whey protein on the sensory and microbiological quality of goat milk yogurt. *Lwt*, *124*(January 2018), 109138. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109138>
- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., & Costell, E. (2011). Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, *25*(8), 1881–1890. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.012>
- Meyer, D., & Stasse-Wolthuis, M. (2009). The bifidogenic effect of inulin and oligofructose and its consequences for gut health. *European Journal of Clinical Nutrition*, *63*(11), 1277–1289. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.64>
- Obert, J., Pearlman, M., Obert, L., & Chapin, S. (2017). Popular Weight Loss Strategies: a Review of Four Weight Loss Techniques. *Current Gastroenterology Reports*, *19*(12), 17–20. <https://doi.org/10.1007/s11894-017-0603-8>
- Paseephol, T., & Sherkat, F. (2009). Probiotic stability of yoghurts containing Jerusalem artichoke inulins during refrigerated storage. *Journal of Functional Foods*, *1*(3), 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.07.001>
- Pimentel, T. C., Cruz, A. G., & Prudencio, S. H. (2013). Short communication: Influence of long-chain inulin and *Lactobacillus paracasei* subspecies *paracasei* on the sensory profile and acceptance of a traditional yogurt. *Journal of Dairy Science*, *96*(10), 6233–6241. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6695>
- Pimentel, Tatiana C., Garcia, S., & Prudêncio, S. H. (2012). Effect of long-chain inulin on the texture profile and survival of *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* in set yoghurts during refrigerated storage. *International Journal of Dairy Technology*, *65*(1), 104–110. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00739.x>
- Ramchandran, L., & Shah, N. P. (2008). Growth, proteolytic, and ACE-I activities of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* and rheological properties of low-fat yogurt as influenced by the addition of Raftiline HP®. *Journal of Food Science*, *73*(7). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00889.x>
- Razmpoosh, E., Zare, S., Fallahzadeh, H., Safi, S., & Nadjarzadeh, A. (2020). Effect of a low energy diet, containing a high protein, probiotic condensed yogurt, on biochemical and anthropometric measurements among women with overweight/obesity: A randomised controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN*, *35*, 194–200.

<https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.10.001>

- Rinaldoni, A. N., Campderrós, M. E., & Pérez Padilla, A. (2012). Physico-chemical and sensory properties of yogurt from ultrafiltered soy milk concentrate added with inulin. *LWT - Food Science and Technology*, *45*(2), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.009>
- Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., Dzul-Cauich, J. G., López, M. G., & García-Vieyra, M. I. (2021). Fructans (agavins) from *Agave angustifolia* and *Agave potatorum* as fat replacement in yogurt: Effects on physicochemical, rheological, and sensory properties. *Lwt*, *140*(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110846>
- Siroli, L., Burns, P., Borgo, F., Puntillo, M., Drago, S., Forzani, L., D' Alessandro, M. E., Reinheimer, J., Perotti, C., & Vinderola, G. (2021). Sex-dependent effects of a yoghurt enriched with proteins in a mouse model of diet-induced obesity. *International Dairy Journal*, *114*, 104914. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104914>
- Srisuvor, N., Chinprahast, N., Prakitchaiwattana, C., & Subhimaros, S. (2013). Effects of inulin and polydextrose on physicochemical and sensory properties of low-fat set yoghurt with probiotic-cultured banana purée. *LWT - Food Science and Technology*, *51*(1), 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.018>
- Yu, D., Kwon, G., An, J., Lim, Y. S., Jhoo, J. W., & Chung, D. (2021). Influence of prebiotic biopolymers on physicochemical and sensory characteristics of yoghurt. *International Dairy Journal*, *115*, 104915. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104915>