

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**FRUCTANOS DE AGAVE EN LA CALIDAD DEL QUESO PANELA, SU  
LACTOSUERO Y REQUESÓN**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN  
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTA:**

**ING. ZAYD ELIUD RANGEL NAVA**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**MARZO DE 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**FRUCTANOS DE AGAVE EN LA CALIDAD DEL QUESO PANELA, SU  
LACTOSUERO Y REQUESÓN**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN  
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTA:**

**ING. ZAYD ELIUD RANGEL NAVA**

**GENERAL ESCOBEDO, N.L.**

**MARZO DE 2024**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN  
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

COMITÉ PARTICULAR



---

D.Ph. Gerardo Méndez Zamora  
Director de Tesis



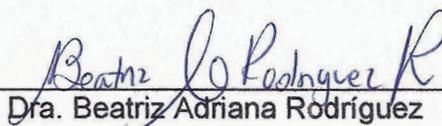
---

Dra. Sugey Ramón Sinagawa  
García  
Asesora de Tesis



---

Ph.D. Alejandro Isabel Luna  
Maldonado  
Co-Director de Tesis



---

Dra. Beatriz Adriana Rodríguez  
Romero  
Asesora de Tesis



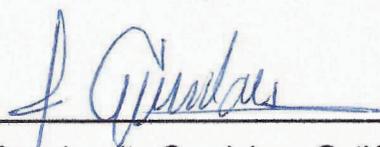
---

Dra. Daniela Sarai Rico Costilla  
Asesora Externa de Tesis



---

Dr. Emmanuel Flores Girón  
Asesor Externo de Tesis



---

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto  
Subdirectora de Posgrado e Investigación

ESTA TESIS FUE APROBADA EN FORMATO, POR EL COMITÉ DE POSGRADO,  
ATENDIENDO A EL ARTÍCULO 123, DEL REGLAMENTO GENERAL DEL  
SISTEMA DE POSGRADO DE LA UANL.

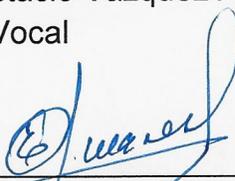
COMITÉ DE POSGRADO

  
Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto  
Presidenta

  
Dr. Celestino García Gómez  
Secretario

  
Dra. Lidia Rosaura Salas Cruz  
Vocal

  
Ph.D. Rigoberto Eustacio Vázquez Alvarado  
Vocal

  
Ph.D. Emilio Olivares Sáenz  
Vocal

  
Dra. Sughey Ramona Sinagawa García  
Vocal

  
Dr. Guillermo Niño Medina  
Vocal

## DEDICATORIA

A mis seres queridos por su incondicional apoyo durante esta etapa de mi vida, les dedico los frutos de un arduo trabajo, mi tesis, ¡gracias! por sus aportes durante cada etapa de esta investigación, por su comprensión y disponibilidad para apoyar cuando más lo necesité.

A mí, por permitirme volver a las aulas y laboratorios para seguir aprendiendo, actualizarme y así ser un profesionalista más competitivo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Agronomía, por el apoyo brindado como trabajador para seguir superándome.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi jefe directo, el Dr. Alejandro I. Luna Maldonado, por darme todas las facilidades para poder asistir a clases y ejecutar mi investigación; al Dr. Gerardo Méndez Zamora por todo el apoyo y aceptar ser mi director de tesis.

A mis asesores por la guía y permitirme usar sus instalaciones.

Al personal de los laboratorios por brindarme todas las facilidades necesarias para concluir este trabajo.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca otorgada y al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 89-CAT-2022, por su colaboración para la adquisición de los materiales empleados en esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 2.    | HIPÓTESIS .....   | 3  |
| 3.    | OBJETIVOS .....   | 4  |
| 3.1   | Objetivo General .....  | 4  |
| 3.1.1 | Objetivos Específicos .....   | 4  |
| 4.    | REVISIÓN DE LITERATURA.....   | 5  |
| 4.1   | Leche de Vaca .....   | 5  |
| 4.2   | Queso.....  | 5  |
| 4.3   | Queso Panela .....  | 6  |
| 4.4   | Lactosuero .....  | 7  |
| 4.5   | Requesón.....   | 8  |
| 4.6   | Alimentos Funcionales .....   | 8  |
| 4.7   | Fructanos .....   | 9  |
| 4.7.1 | Fructanos de Agave.....   | 11 |
| 4.8   | Perfil de Textura .....   | 12 |
| 4.9   | Colorimetría.....   | 13 |
| 4.10  | Atributos Sensoriales .....   | 13 |
| 4.11  | Antioxidantes .....   | 14 |
| 4.12  | Digestibilidad <i>In vitro</i> .....                                      | 14 |
| 5.    | MATERIALES Y MÉTODOS .....  | 15 |
| 5.1   | Ubicación del Estudio.....  | 15 |
| 5.2   | Ingredientes Experimentales.....  | 15 |
| 5.3   | Diseño Experimental .....   | 15 |
| 5.4   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica de la Leche .....    | 16 |
| 5.4.1 | Elaboración de leche con Fructanos de Agave .....                         | 16 |
| 5.4.2 | Medición de pH y Acidez Titulable.....                                    | 17 |
| 5.4.3 | Color en Leche .....  | 17 |
| 5.4.4 | Composición Bromatológica .....   | 17 |
| 5.5   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Queso Panela.... | 18 |
| 5.5.1 | Elaboración de los Quesos Panela Experimentales .....                     | 18 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.5.2 | Rendimiento y pH .....   | 19 |
| 5.5.3 | Color .....  | 19 |
| 5.5.4 | Composición Bromatológica .....  | 19 |
| 5.5.5 | Determinación de Fructanos de Agave en Queso Panela .....                              | 20 |
| 5.5.6 | Índice de Desintegración del Queso Panela por Digestión Gástrica <i>In vitro</i><br>21 |    |
| 5.5.7 | Capacidad Antioxidante .....   | 22 |
| 5.5.8 | Análisis de Perfil de Textura .....  | 22 |
| 5.5.9 | Evaluación Sensorial .....   | 23 |
| 5.6   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisiocoquímica del Lactosuero .....             | 23 |
| 5.6.1 | Obtención del Lactosuero .....   | 23 |
| 5.6.2 | Rendimiento, pH y °Brix.....   | 23 |
| 5.6.3 | Color .....  | 24 |
| 5.6.4 | Composición Bromatológica .....  | 24 |
| 5.7   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisiocoquímica del Requesón .....               | 24 |
| 5.7.1 | Obtención del Requesón .....   | 24 |
| 5.7.2 | Rendimiento y pH .....   | 25 |
| 5.7.3 | Color .....  | 26 |
| 5.7.4 | Composición Bromatológica .....  | 26 |
| 5.7.5 | Análisis de Fructanos de Agave en Requesón .....                                       | 26 |
| 5.7.6 | Capacidad Antioxidante .....   | 28 |
| 5.7.7 | Evaluación Sensorial .....   | 28 |
| 5.8   | Análisis de Datos .....  | 28 |
| 6.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 30 |
| 6.1   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisiocoquímica de la Leche .....                | 30 |
| 6.1.1 | pH y Acidez .....  | 30 |
| 6.1.2 | Color .....  | 31 |
| 6.2   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisiocoquímica del Queso Panela....             | 33 |
| 6.2.1 | Rendimiento y pH .....   | 33 |
| 6.2.2 | Color .....  | 34 |
| 6.2.3 | Composición Bromatológica .....  | 35 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.2.4 | Determinación de Fructanos de Agave en el Queso Panela .....                                | 37 |
| 6.2.5 | Índice de Desintegración del Queso Panela por Digestión Gástrica <i>In vitro</i> .<br>..... | 37 |
| 6.2.6 | Capacidad Antioxidante.....   | 39 |
| 6.2.7 | Análisis de Perfil de Textura .....   | 40 |
| 6.2.8 | Evaluación Sensorial .....  | 41 |
| 6.3   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Lactosuero .....                   | 42 |
| 6.3.1 | Rendimiento, pH y °Brix.....  | 42 |
| 6.3.2 | Color .....   | 44 |
| 6.3.3 | Composición Bromatológica .....   | 44 |
| 6.4   | Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Requesón .....                     | 46 |
| 6.4.1 | Rendimiento y pH .....  | 46 |
| 6.4.2 | 4.4.2 Color .....   | 47 |
| 6.4.3 | Composición Bromatológica .....   | 48 |
| 6.4.4 | Fructanos de Agave en el Requesón.....  | 50 |
| 6.4.5 | Capacidad Antioxidante.....   | 51 |
| 6.4.6 | Evaluación Sensorial .....  | 52 |
| 7.    | CONCLUSIONES .....  | 56 |
| 8.    | RECOMENDACIONES .....   | 57 |
| 9.    | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 58 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro  | Página |
|---|--------|
| <b>Cuadro 1.</b> Clasificación del queso basada en la composición.....  | 6      |
| <b>Cuadro 2.</b> Producción de los principales quesos producidos en México (miles de ton).<br>.....   | 7      |
| <b>Cuadro 3.</b> Concentraciones de fructanos de agave definidos en el desarrollo experimental.....   | 16     |
| <b>Cuadro 4.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave en el pH y acidez de la leche.....  | 30     |
| <b>Cuadro 5.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave en el color de la leche.<br>.....   | 31     |
| <b>Cuadro 6.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave en la composición bromatológica de leche. ....                                  | 32     |
| <b>Cuadro 7.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche para elaborar el queso panela en su rendimiento y pH. .... | 34     |
| <b>Cuadro 8.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche sobre el color del queso panela.....                       | 35     |
| <b>Cuadro 9.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave añadidos en leche sobre las propiedades bromatológicas del queso panela.....    | 36     |
| <b>Cuadro 10.</b> Contenido de fructanos de agave incorporados en leche en la estructura de queso panela.....                                     | 37     |
| <b>Cuadro 11.</b> Efecto de los fructanos de agave agregados en leche en la digestión gástrica del queso panela.....                              | 38     |
| <b>Cuadro 12.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche sobre la capacidad antioxidante del queso panela.....     | 39     |
| <b>Cuadro 13.</b> Efecto de los niveles de fructanos de agave adicionados en leche sobre la textura del queso panela. ....                        | 40     |
| <b>Cuadro 14.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche sobre los atributos sensoriales del queso panela.....       | 42     |
| <b>Cuadro 15.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave suministrados en leche en el rendimiento, pH y °Brix del lactosuero.....       | 43     |

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 16.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche sobre el color del lactosuero.....                          | 44 |
| <b>Cuadro 17.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche sobre la composición bromatológicas del lactosuero. .... | 45 |
| <b>Cuadro 18.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche en el rendimiento y pH del requesón.....                 | 47 |
| <b>Cuadro 19.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche en el color de requesón.....                                | 48 |
| <b>Cuadro 20.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche sobre la composición bromatológica del requesón.....     | 49 |
| <b>Cuadro 21.</b> Contenido de fructanos de agave en el requesón.....   | 50 |
| <b>Cuadro 22.</b> Efecto de la concentración de fructanos de agave en leche sobre la capacidad antioxidante del requesón. ....                    | 51 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura  | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.</b> Micrografías electrónicas de quesos panela después de 48 h de producción (12000x 5 µm). .....                                | 10     |
| <b>Figura 2.</b> Estructura química de los fructanos de agave.....  | 12     |
| <b>Figura 3.</b> Leche de vaca pasteurizada con 0, 5, 10 ,15 y 20 % de fructanos de agave. ....   | 17     |
| <b>Figura 4.</b> Quesos panelas hechos con 0, 5, 10, 15 y 20 % de fructanos de agave en leche para elaborar el queso panela. ....             | 19     |
| <b>Figura 5.</b> Obtención de requesón con 0, 5, 10, 15 y 20 % de fructanos de agave adicionados en leche para elaborar el queso panela. .... | 25     |
| <b>Figura 6.</b> Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón en 0 % de fructanos de agave en leche. ....                  | 52     |
| <b>Figura 7.</b> Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón con 5 % de fructanos de agave en leche. ....                 | 53     |
| <b>Figura 8.</b> Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 10 % de fructanos de agave en leche. ....                 | 53     |
| <b>Figura 9.</b> Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 15 % de fructanos de agave en leche. ....                 | 54     |
| <b>Figura 10.</b> Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 20 % fructanos de agave en leche. ....                   | 54     |

## RESUMEN

Los fructanos de la especie *Agave tequilana* han demostrado mejorar los productos lácteos al ser utilizados como ingredientes funcionales para aportar fibra dietética, ser usado como sustituto de grasa, edulcorantes y texturizantes. Por lo que, el objetivo de esta investigación fue el evaluar el efecto de los fructanos de agave (FA) en leche de vaca hasta el procesamiento de queso panela, su lactosuero y requesón por medio de estudios fisicoquímicos, digestivos, nutrimentales, antioxidantes, texturales y organolépticos. FA se añadieron a la leche de vaca comercial a distintas concentraciones: 0, 5, 10, 15 y 20 %. En la leche no se vio afectado el pH y acidez ( $p>0.05$ ), mientras que el color se afectó ( $p<0.05$ ). Los componentes nutricionales cambiaron ( $p<0.05$ ) con la adición de FA, a excepción de la proteína ( $p>0.05$ ). El queso panela incrementó ( $p<0.05$ ) en rendimiento, el pH no se afectó ( $p>0.05$ ), mientras que el color se modificó ( $p<0.05$ ). La proteína, grasa, carbohidratos y ceniza disminuyeron ( $p<0.05$ ), mientras que la humedad no se afectó ( $p>0.05$ ). Los FA se detectaron en el queso, pero en la digestión gástrica no se modificó ( $p>0.05$ ); la capacidad antioxidante aumentó ( $p<0.05$ ). La textura del queso disminuyó en dureza (más suave;  $p<0.05$ ) y los atributos sensoriales no se afectaron ( $p>0.05$ ). El rendimiento del lactosuero no mejoró ( $p>0.05$ ) mientras que el color y °Brix variaron ( $p<0.05$ ). La composición bromatológica fue afectada ( $p<0.05$ ) a excepción de la proteína. El rendimiento del requesón no mejoró ( $p>0.05$ ), pero el pH y el color cambiaron ( $p<0.05$ ), mientras que en la composición bromatológica disminuyó ( $p<0.05$ ) la proteína, grasa y humedad, pero los carbohidratos aumentaron ( $p<0.05$ ). Así mismo, los FA se detectaron en el requesón, y su capacidad antioxidante aumentó ( $p<0.05$ ). Respecto a los atributos sensoriales, estos se prefirieron ( $p<0.05$ ) en concentraciones menores de FA. Los FA pueden modificar las propiedades fisicoquímicas, nutrimentales y organolépticas en los productos lácteos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria ha diseñado productos procesados para mayor practicidad del consumidor, debido al acelerado ritmo de vida. Los productos alimenticios procesados listos para consumir están siendo más comunes a nivel mundial (Monteiro *et al.*, 2013), constituyendo la mayoría de las calorías consumidas en América (Martínez *et al.*, 2016) pero han sido asociados con problemas de salud (Fiolet *et al.*, 2018); sin embargo, los productos procesados tienen sus ventajas y son difíciles de reemplazar, estos son baratos, tienen una vida de anaquel larga, se mantienen inocuos por mucho tiempo y están listos para comer o listos para calentar (Hall *et al.*, 2019). Esta practicidad los ha hecho parte de la dieta diaria de la población. En adición, el nivel de la población crece año con año y México cuenta con una población de 129 millones de habitantes al primer trimestre de 2023, tres millones más que la población registrada en el censo de población y vivienda 2020, y solo del año 2010 a 2020, la población se incrementó casi en 17 millones de habitantes (INEGI, 2023). Por esto, la industria alimentaria debe brindar un alimento sano, inocuo y económico. Esto genera una oportunidad para proporcionar a los productos mayor funcionalidad, que además del valor agregado nutricional pueda atender deficiencias en la salud. Por lo que, investigar aditivos alimentarios para mejorar las propiedades fisicoquímicas, textura, funcionalidad y sensorial de productos procesados es un tema de interés en los alimentos.

El estudio de componentes activos para mejorar la calidad de los alimentos ha incrementado. Ejemplo de estos componentes son los fructanos obtenidos de la especie *Agave tequilana* pertenecientes a la familia Asparagaceae, los cuales han demostrado mejorar las matrices alimenticias y sus procesos (Meyer *et al.*, 2011). A nivel mundial los fructanos comercializados se extraen de la planta *Cichorium intybus* L.; sin embargo, en México los fructanos de agave están siendo estudiados y comercializados (Crispín *et al.*, 2015).

Los fructanos extraídos del *Agave tequilana* (fructanos de agave; FA) tienen una estructura diferente con respecto a los fructanos de la inulina achicoria, ya que los polímeros de agave cuentan con unidades de fructosil en  $\beta$  (2-1) y  $\beta$  (2-6) con un grado

de polimerización de 3 a 30 (Arrizon *et al.*, 2006), mientras que la achicoria tiene cadenas lineales con  $\beta$  (2-1) enlaces de fructosa y un grado de polimerización entre 3 y 60 (Meyer *et al.*, 2011). Diversos estudios han encontrado mejoras en productos lácteos adicionados con fructanos de agave (FA) (Reza *et al.*, 2015). Los FA, conocidos como inulina de agave de manera comercial, usados en formulaciones de yogur bajo en grasa disminuye la sinéresis, fortalece el efecto prebiótico y funciona como texturizante (García *et al.*, 2021). El queso crema con fructanos promueve un efecto simbiótico (Alves *et al.*, 2012). Así mismo, la adición de FA en quesos reducidos en grasa mantiene la textura y retención de proteína respecto a quesos hechos con leche entera (Palatnik *et al.*, 2016). Así, la presencia de inulina en la estructura de un producto lácteo interrumpe la red de caseína resultando un efecto suavizante (Salvatore *et al.*, 2013), considerándose un producto con potencial simbiótico, texturizador y sustituto de grasa (Reza *et al.*, 2015).

Sánchez-Zamora *et al.* (2022) reportaron que la leche y sus derivados son importantes por el aporte nutrimental. En la actualidad, se busca que este tipo de alimentos aporten funcionalidad, además de valor nutrimental; esta funcionalidad puede adquirirse por medio de los FA, que al ser adicionados durante el procesamiento pudieran dar un valor funcional a productos lácteos más allá de su aporte nutrimental. La producción de queso fresco como el queso panela en México ha crecido en años recientes, es uno de los quesos más consumidos en México (Secretaría de Economía, 2012), haciéndolo óptimo como unidad experimental. Los FA han demostrado beneficios significativos en productos lácteos, por lo que, esta investigación se enfocará en analizar y demostrar los efectos que este polisacárido pudiera tener en el queso panela, así como su efecto en el lactosuero y requesón.

## **2. HIPÓTESIS**

Los fructanos de agave en el proceso de elaboración del queso panela, su lactosuero y requesón beneficiarán las características fisicoquímicas, digestivas, nutrimentales y organolépticas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de fructanos de agave adicionados en leche para obtener queso panela, su lactosuero y requesón en sus características fisicoquímicas, digestivas, nutrimentales y organolépticas.

##### **3.1.1 Objetivos Específicos**

1. Evaluar las leches experimentales con fructanos de agave por medio de análisis de composición bromatológica, color, pH y acidez titulable.
2. Evaluar el efecto de los fructanos de agave adicionados en leche para elaborar queso panela y requesón con análisis de rendimiento, pH, color, composición bromatológica y capacidad antioxidante.
3. Evaluar el lactosuero obtenido de la leche con fructanos de agave mediante análisis de rendimiento, pH, color, composición bromatológica y °Brix.
4. Analizar el perfil de textura del queso panela obtenidos con la adición de fructanos de agave en la leche.
5. Determinar el efecto de los fructanos de agave en los atributos sensoriales del queso panela y requesón con una prueba afectiva
6. Evaluar el índice de desintegración del queso panela obtenido con diferentes concentraciones de fructanos de agave por medio de un proceso de digestión gástrica *in vitro*.
7. Evidenciar la presencia de fructanos de agave en el queso panela y requesón con un análisis de reducción de azúcares específico para fructanos de agave.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1 Leche de Vaca**

La leche proviene de varias especies de animales que se explotan de manera comercial, siendo de importancia la leche de vaca, cabra, oveja, búfala, yak, rena y camella (Villegas de Gante, 2012). Por su importancia nutricional, económica e histórica, la leche que más se ha estudiado y que mejor se conoce es la de vaca, asignándose diferentes definiciones (Villegas de Gante & Santos, 2011):

- **Biológica:** El producto secretado por los mamíferos para la alimentación de sus crías durante las primeras etapas de su crecimiento.
- **Legal:** El producto íntegro y fresco de la ordeña completa de una o más vacas bien alimentadas, sanas y en reposo, exento de calostro, y que cumpla con las características físicas, químicas y bacteriológicas que se establece en el código sanitario local.
- **Tecnológica:** Un sistema fluido complejo formado por tres subsistemas fisicoquímicos bien definidos: una solución verdadera, una emulsión aceite-agua y una suspensión coloidal proteica. Las sustancias componentes de la leche son: agua 87-88%, sólidos totales 12-13%, grasa 3-3.5%, proteína 2.8-3.5%, lactosa 4.5-4.9% y minerales (como cenizas) 0.7%. Así mismo, contiene una diversidad de microorganismos (bacterias) y células somáticas (leucocitos).

Mientras que para la normativa mexicana (NOM-155-SCFI, 2012), la leche es el producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, sin calostro, el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación.

### **4.2 Queso**

El queso es el producto fresco o madurado obtenido por drenado del líquido tras la coagulación de la leche, nata, leche desnatada o con desnatado parcial, grasa de la

leche o una combinación de dichos ingredientes (FAO, 2022). Esta definición no es válida para quesos de suero (Robinson y Wilbey, 2010). La leche es la principal materia prima para elaborar el queso y un alimento que en México se ha considerado básico para la población.

En la clasificación de los quesos se consideran características propias como tamaño, forma, peso, color, aspecto externo y datos analíticos sobre la grasa de la materia, contenido de sal o agua en la sustancia libre de la leche. Los quesos se clasifican de acuerdo con su composición (Cuadro 1; Robinson y Wilbey, 2010).

**Cuadro 1.** Clasificación del queso basada en la composición.

| Tipo de queso | Humedad en sustancia libre de grasa (%) | Grasa de la materia seca (%) |
|---------------|---|------------------------------|
| Extraduro     | < 51                                    | < 60                         |
| Duro          | 49-55                                   | 40-60                        |
| Semiduro      | 53-63                                   | 25-50                        |
| Semiblando    | 61-68                                   | 10-50                        |
| Blando        | > 61                                    | 10-50                        |

Además, existen más formas de clasificar un queso; por ejemplo, con base al tipo de leche (vaca, cabra, oveja), proceso de cuajado, tipo de pasta, según su consistencia, por el grado de maduración y cultivos iniciadores (Belitz *et al.*, 2012).

### 4.3 Queso Panela

El queso panela es un queso fresco, de pasta blanda, auto prensado, elaborado con leche pasteurizada de vaca, y la leche con la que se prepara puede ser entera o con descremado parcial; su composición básica incluye un porcentaje elevado de agua (hasta 58%), sólidos totales (42%), grasa (20%), proteína (20%), cenizas (3.8%) y sal (2.20%) (Villegas de Gante, 2012); por su humedad es muy perecedero, por lo que tiene que conservarse bajo refrigeración desde el momento de su elaboración. En el mercado se presenta como un queso blanco de forma troncocónica invertida, en piezas

que van desde 0.5 hasta 2 kg (Villegas de Gante y Santos Moreno, 2011).

Aunado al incremento de la producción de leche, está la producción de productos lácteos, siendo el queso panela uno de los productos principales en el mercado mexicano (Cuadro 2), con una derrama económica para el año 2022 de \$3.33 millones M. N (INEGI 2023).

**Cuadro 2.** Producción de los principales quesos producidos en México (miles de ton).

| Año               | Amarillo | Chihuahua | Crema | Doble Crema | Fresco | Manchego | Oaxaca | Panela |
|-------------------|----------|-----------|-------|-------------|--------|----------|--------|--------|
| 2023 <sup>†</sup> | 52.76    | 62.68     | 19.31 | 90.74       | 104.18 | 38.21    | 34.33  | 40.28  |
| 2022              | 59.31    | 70.12     | 25.29 | 107.02      | 122.87 | 48.43    | 41.30  | 47.35  |
| 2021              | 52.52    | 57.40     | 40.52 | 88.75       | 99.58  | 41.59    | 31.79  | 47.34  |
| 2020              | 50.02    | 55.20     | 38.88 | 78.90       | 96.92  | 39.99    | 28.80  | 49.91  |
| 2019              | 52.81    | 48.53     | 43.34 | 72.79       | 89.61  | 38.62    | 29.14  | 52.10  |
| 2018              | 54.72    | 39.32     | 42.71 | 68.16       | 82.32  | 38.50    | 29.18  | 51.34  |
| 2017              | 55.59    | 41.34     | 41.46 | 61.09       | 72.16  | 34.67    | 29.06  | 54.11  |
| 2016              | 58.37    | 39.88     | 33.72 | 50.99       | 67.95  | 35.84    | 28.70  | 53.49  |
| 2015              | 57.44    | 39.50     | 32.89 | 48.43       | 65.54  | 33.03    | 27.11  | 50.68  |
| 2014              | 53.02    | 40.40     | 29.84 | 46.67       | 64.52  | 28.70    | 27.10  | 50.00  |
| 2013              | 49.93    | 37.79     | 27.99 | 45.97       | 58.42  | 30.84    | 26.30  | 54.08  |

Fuente: INEGI, 2024.

<sup>†</sup>Datos de producción de quesos hasta el mes de octubre del 2023.

#### 4.4 Lactosuero

El suero es el líquido obtenido de la coagulación de la caseína de la leche, mediante la acción de enzimas coagulantes de origen animal, vegetal o microbiano, por la adición de ácidos orgánicos o minerales de grado alimentario o, acidificación por intercambio iónico hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína (NOM-155-SCFI-2012). El color del lactosuero es verde-amarillento causado por la presencia de riboflavina (de Wit, 2001). La mayoría de la lactosa permanece en el lactosuero en un 90% de la carga orgánica (Ghaly y Kamal, 2004).

La industria quesera produce una gran cantidad de suero, el 83% del volumen de leche utilizado, y el lactosuero contiene nutrientes importantes, siendo 93-94% agua y el resto es lactosa 4.5-6%, proteína 0.06-1.1%, grasa 0.06-0.5%, ácido láctico 0.05-0.9% y minerales 0.8-1% (Prazeres *et al.*, 2012). La industria quesera considera el suero como un producto residual de desperdicio, aunque cada vez se encuentran

nuevos métodos para disponer y aprovechar este producto. Los sueros de quesería varían de acuerdo con el tipo de queso y también puede variar el contenido de sus propiedades; este producto puede ser ácido o dulce, aunque cuando es retirado en el proceso de desuerado en la elaboración del queso, es menos ácido, mientras que el drenado durante el prensado resulta más ácido (Robinson y Wilbey, 2010).

#### **4.5 Requesón**

El requesón se conoce como queso de suero (CODEX CXS 284-1971, 2018), aunque no es un queso, es un sub producto lácteo, un proceso común y adecuado para darle valor agregado al lactosuero, es un producto obtenido a partir del suero de leche entera, semidescremada, o descremada pasteurizada de vaca, cabra u oveja, el cual es coagulado por calentamiento en medio ácido para favorecer la obtención de la cuajada, la cual lleva un proceso de salado, drenado, moldeado, empacado, etiquetado y refrigerado para su conservación (NOM-243-SSA1, 2010).

El requesón es un producto que se caracteriza por su color blanco, textura blanda y fina, granulosa y untable, con sabor neutro, aunque puede contener sal añadida para resaltar su sabor; posee características relevantes como humedad 51%, grasa 21%, proteína 22%, ceniza 0.79%, lactosa 1.68%, y un pH de 4.63 (Mileriene *et al.*, 2020).

#### **4.6 Alimentos Funcionales**

Un alimento funcional (AIF) es todo alimento que, además de su valor nutritivo, contiene componentes activos biológicos que aportan algún efecto añadido y beneficioso para la salud y reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades (Heredia, 2016). Los alimentos funcionales pueden ser naturales, o aquellos a los que se ha suplementado, incrementado o eliminado algún componente, o bien a los que se ha rectificado la naturaleza de alguno de sus componentes (Siró *et al.*, 2008).

Un ejemplo de AIF es el alimento probiótico o prebiótico. Estos deben mostrar su funcionalidad más allá de los ensayos al alimento, para ejercer sus beneficios para la salud en el cuerpo del consumidor; las bacterias probióticas incorporadas en el queso deben crecer y/o proliferar en el intestino humano y deben ser capaces de

sobrevivir durante el paso por el tracto gastrointestinal, que implica la exposición al ácido clorhídrico en el estómago y bilis en el intestino delgado (Cruz *et al.*, 2009). Un prebiótico estudiado en los alimentos son los fructanos de agave, conocido en el mercado como inulina de agave.

#### 4.7 Fructanos

Los fructanos son un carbohidrato de reserva que puede encontrarse en muchos vegetales como la achicoria, cebolla, ajo, entre otros. Es decir, está presente en la dieta diaria. La inulina fue aislada por primera vez de la variedad *Inula helenium*, y en 1818 recibió el nombre de inulina (Madrigal y Sangronis, 2007).

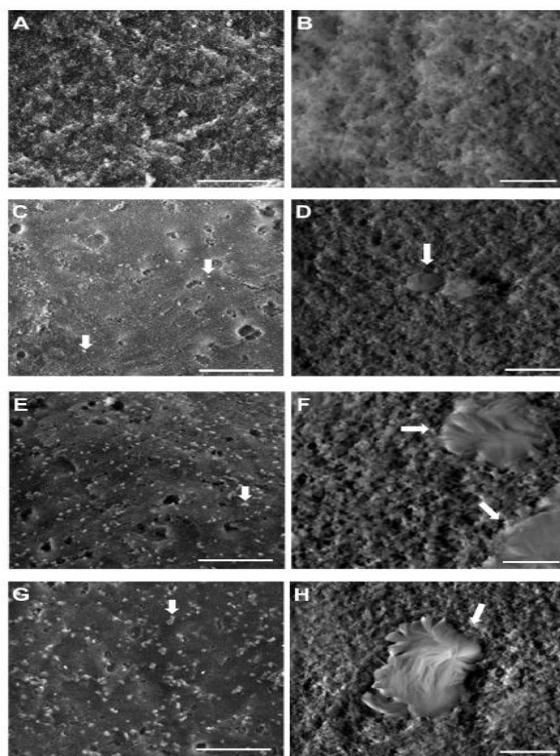
La inulina más procesada por la industria se obtiene de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se usa como ingrediente funcional en diversos alimentos por sus ventajas tecnológicas y propiedades favorables para la salud. La inulina junto a la oligofructosa y fructooligosacáridos forman parte de los llamados fructanos que también tienen uso en alimentos (Imeson, 2010). Éstos son capaces de fijarse a la estructura alimenticia de productos lácteos como el queso panela (Salvatore *et al.*, 2013; Figura 1). La inulina extraída de las plantas se consideraba como una molécula lineal, pero mediante diversos análisis fue posible mostrar que la inulina de achicoria, grado de polimerización 12, tiene un grado de ramificación de 1 a 2% (Lara-Fiallos, 2017). La estructura química de la inulina consiste en una cadena lineal de moléculas de fructosa unidas por enlaces glicosídicos  $\beta$ -(2-1) ( $n = 2-60$ ), que terminan en una molécula de glucosa unida a la última molécula de fructosa por un enlace  $\alpha$ -(1-2) (Roberfroid y Slavin, 2010). Estos enlaces hacen a los fructanos resistentes a la hidrólisis por las enzimas gastrointestinales humanas (Ahmed y Rashid, 2017).

Los fructanos se utilizan en los alimentos por su capacidad de favorecer el crecimiento de las bacterias benefactoras del colon; éstas fermentan los hidratos de carbono específicos y mantienen el entorno del colon ácido, lo que favorece a las bacterias beneficiosas y evita que las perjudiciales u otros agentes patógenos se multipliquen (Imeson, 2010). Al llegar al colon, la inulina se hidroliza y fermenta por las bacterias benéficas y esto hace que mantengan un ambiente sano. Así, este tipo de compuestos se comportan como fibra dietética, lo que resulta interesante debido a que

hay alimentos con poco o nulo contenido de fibra, como lo es el queso, por lo que puede adicionarse inulina para obtener un alimento más saludable.

La inulina es utilizada en productos lácteos y no lácteos procesados porque es un agente que puede adicionarse como reemplazo de grasa, modificador de textura, sustituto de azúcar, fibra dietética y prebiótico (Shoaib *et al.*, 2016). La adición de inulina a diferentes tipos de queso puede beneficiar la funcionalidad como un producto simbiótico, texturizador y bajo en grasa (Reza *et al.*, 2015).

La cualidad de formar geles es determinante como sustituto de grasa en productos lácteos, ya que la red gelificante formada se asemeja a la del aceite, lo que le otorga las propiedades funcionales que ejercen las grasas, las cuales son indispensables para lograr los efectos sensoriales esperados por los consumidores (Paseephol *et al.*, 2008; Imeson, 2010). Beneficios en la estructura proteica de quesos por el uso de hidrocoloides tales como la inulina pueden resultar en la formulación de productos lácteos bajos en grasa (Yousefi y Jafari, 2019).



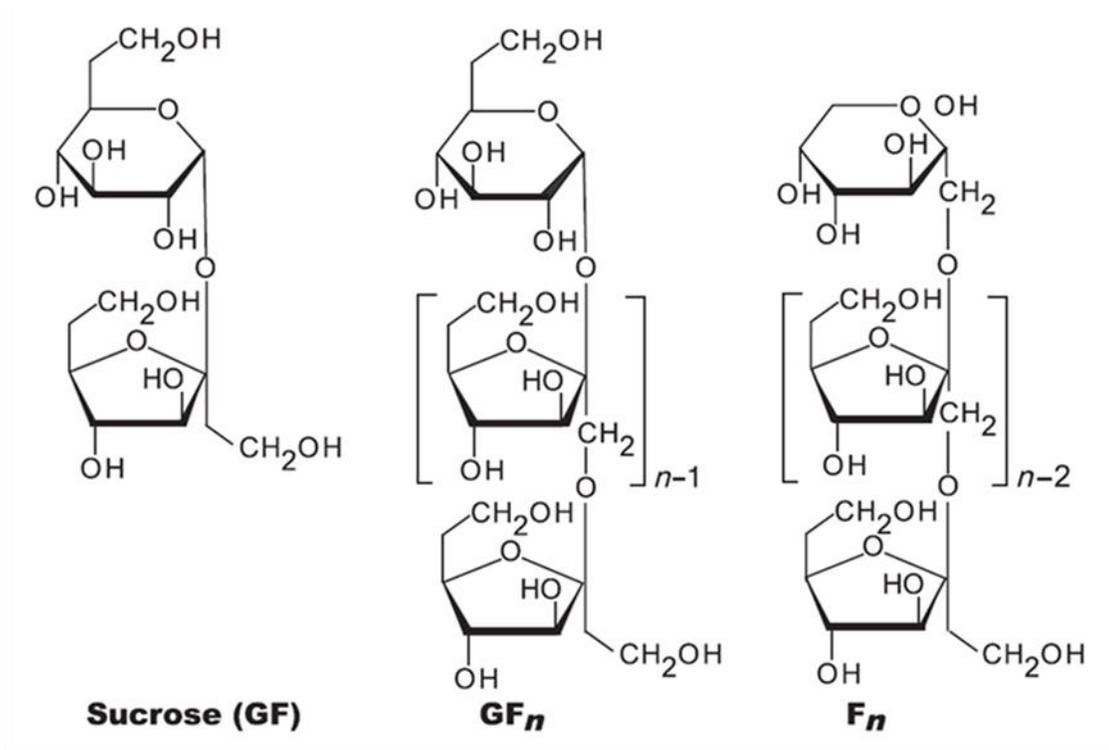
**Figura 1.** Micrografías electrónicas de quesos panela después de 48 h de producción (12000x 5  $\mu$ m).

A y B (9 % grasa, 0 % fructanos); C y D (7 % grasa, 2 % fructanos); E y F (4 % grasa, 5 % fructanos); G y H (2 % grasa, 7 % fructanos).  
Fuente: Salvatore *et al.* (2013).

#### 4.7.1 Fructanos de Agave

Los FA son los carbohidratos de reserva de la planta; a ésta le toma entre 8 y 12 años para alcanzar la madurez, a ese tiempo los agricultores remueven la inflorescencia con el objetivo de concentrar los azúcares en el tallo y evitar su consumo por el “quiote” (Nava *et al.*, 2014). Esta planta es una importante fuente de prebióticos que pueden ser usados como un ingrediente funcional en alimentos (Zea *et al.*, 2012). El agave abunda en las regiones áridas de Latinoamérica, siendo considerado a México como el centro de la biodiversidad de esta especie (García *et al.*, 2011).

Los FA se pueden extraer de todas las especies pertenecientes a la familia de las asparagaceae; a nivel industrial son extraídos de la especie *Agave tequilana* de la variedad azul, misma que se utiliza para la producción de tequila, ya que en el estado de Jalisco existe una gran industria basada en esta especie (CIATEJ, 2018). La planta de agave contiene entre 13 y 17% de fructanos en una planta madura, que es similar a lo encontrado en la achicoria (15.2-20.5%) (Ávila-Fernández *et al.*, 2011; Mellado y López, 2012). Los polímeros de agave cuentan con unidades de fructosil en  $\beta$  (2-1) y  $\beta$  (2-6) con un grado de polimerización de 3 a 30 (Arrizon *et al.*, 2010; Figura 2). Los FA en la estructura del queso es significativo, ya que se consideran como fibra soluble de fuente natural, abundante y categorizada como prebióticos, se convierten en una valiosa alternativa como ingrediente para la obtención de alimentos funcionales (Palatnik *et al.*, 2016).



**Figura 2.** Estructura química de los fructanos de agave.  
Fuente: Imeson (2010).

#### 4.8 Perfil de Textura

El análisis de perfil de textura (APT) está basado en el reconocimiento de la textura como una propiedad multiparamétrica y en la clasificación de alguna de sus características, este método busca emular la masticación y sacar de ello cierto número de parámetros cuantificables, característicos de la acción de la mandíbula sobre un alimento (Claude Roudot, 2004). El APT ofrece dos curvas de fuerza y tiempo, representando la primera y segunda mordida, de donde se obtienen hasta 8 parámetros: fuerza, fracturabilidad, dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, masticabilidad y resiliencia (Claude Roudot, 2004). Zamora *et al.* (2022) mencionaron que las proteínas contribuyen con la dureza de los quesos porque representan la fase sólida continua del producto. Así mismo, el agua posee una función física, como líquido de baja viscosidad, jugando un papel de lubricante entre las caseínas y materias grasas, así controla tanto la reducción de la firmeza como la recuperación después de la compresión (Claude Roudot, 2004).

## 4.9 Colorimetría

La industria alimentaria utiliza el color de sus productos como un parámetro de calidad fundamental en su línea de producción haciendo prioridad el buscar un método que permita medir el atributo color en productos alimenticios. El color de un objeto se evalúa con los espacios de color, de acuerdo con uno de los principales proveedores de equipos para cuantificar el color (Konica Minolta 2023), el espacio de color  $L^*a^*b^*$ , también referido como CIELAB, es uno de los más usados, en donde  $L^*$  indica la luminosidad, mientras que  $a^*$  y  $b^*$  son coordenadas cromáticas con tendencia hacia rojo o verde. Este espacio de color es usado porque correlaciona los valores numéricos de color con la percepción visual humana. Investigadores y fabricantes lo utilizan para evaluar los atributos de color, identificar inconsistencias, y expresar sus resultados a otros en términos numéricos. El queso fresco como el panela, es un queso con tonalidad blanca (Villegas de Gante, 2012), tiene una  $L^*$  alta y se busca no alterarla con un obscurecimiento al añadir algún tratamiento; esto aplica también con el requesón, un subproducto con características similares, el color del lactosuero difiere de estos al tener un color verde-amarillento causado por la presencia de riboflavina (de Wit, 2001). Esperando valores de  $a^*$  negativos y  $b^*$  positivos.

## 4.10 Atributos Sensoriales

Los atributos sensoriales de un producto alimenticio son determinados por medio de un análisis sensorial. Cuando el análisis se realiza siguiendo procedimientos precisos y personas seleccionadas con capacidad para llevar a cabo una prueba sensorial, se convierte en un método objetivo que tiende a ser una disciplina científica (Chamorro y Losada, 2002). El análisis sensorial de alimentos se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para lo que se efectúa. Existen tres tipos de pruebas: las afectivas, discriminativas y descriptivas (Morales, 2005). Ramírez y Vélez (2018) mencionan que la calidad sensorial del queso depende de varios factores interrelacionados como las propiedades fisicoquímicas, características biológicas, materias primas y condiciones de procesamiento. De acuerdo con las características del queso panela y requesón, los atributos sensoriales de importancia son el color, olor, sabor lácteo, suavidad y aceptabilidad global. Entonces, así

determinar la aceptabilidad de los alimentos por las personas.

#### **4.11 Antioxidantes**

Los principales iniciadores del deterioro en los alimentos son las reacciones de oxidación y descomposición que provocan una disminución del valor nutricional y calidad sensorial; la oxidación puede inhibirse por varios métodos que incluyen impedir el acceso al oxígeno, uso de temperaturas más bajas, inactivación de las enzimas que catalizan la oxidación, reducción de la presión de oxígeno y empaquetado adecuado. La leche contiene tocoferol y  $\beta$ -caroteno, ambos conocidos por su actividad antioxidante, siendo el tocoferol capaz de actuar como donador de hidrógenos y como un moderador de oxígeno singlete, mientras que el  $\beta$ -caroteno actúa como moderador de oxígenos singlete (Pokorny *et al.*, 2005). La captación de radicales libres es el principal mecanismo de acción de los antioxidantes en los alimentos, desarrollándose métodos en los que se mide la capacidad antioxidante a través de la captación de radicales libres sintéticos en solventes orgánicos polares, y los más usados son 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-acido sulfónico) (ABTS) (Pokorny *et al.*, 2005).

#### **4.12 Digestibilidad *In vitro***

El método de digestibilidad *in vitro* se utiliza para estudiar las propiedades gastrointestinales de los alimentos. La digestión *in vivo* en seres humanos es un proceso arduo y requiere mucho tiempo. Por lo tanto, los métodos *in vitro* se utilizan para imitar la digestión humana, debido a la obtención de resultados similares a la de *in vivo*; además, esos métodos son rentables y requieren menos procesos (Minekus *et al.*, 2014). Varios modelos gastrointestinales se han propuesto según los tipos y propiedades de los sistemas alimentarios y objetivos del estudio *in vitro* (Nguyen *et al.*, 2015). Estos métodos permiten estudiar la liberación y absorción de alguna molécula de interés en un producto alimenticio durante el proceso digestivo (bucal, gastrointestinal y duodenal).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Ubicación del Estudio**

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Campus de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL); en la Facultad de Agronomía se trabajó en el Laboratorio de Ingeniería, Laboratorio de Sensorial, Laboratorio de Química, Laboratorio de Calidad Alimentaria, Laboratorio de Biotecnología y Centro de Investigación y Desarrollo de la Industria Alimentaria (CIDIA). También las instalaciones del Laboratorio de Nutrición Animal se utilizaron de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

### **5.2 Ingredientes Experimentales**

Leche de vaca pasteurizada comercial (Comercializadora de Lácteos y Derivados, S.A. de C.V.) fue utilizada como unidad experimental, con una composición de: 3.1 g de proteína; 3.3 g de grasas totales; 4.8 g de carbohidratos, 46 mg de sodio y 116 mg de calcio. Fructanos de agave fueron usados como tratamiento y aplicados a la leche, siendo adquiridos a la empresa Enature®. Los aditivos de la empresa Fabsa S.A. de C.V. Los reactivos y materiales se obtuvieron de la empresa CTR Scientific S.A. de C.V.

### **5.3 Diseño Experimental**

Mediante un diseño experimental completamente al azar, cinco niveles de FA (tratamientos codificados como FA) se usaron para evaluarlos en la leche (primera fase), seguido de su adición en leche para elaborar el queso panela, su lactosuero y requesón (segunda fase). Es decir, los tratamientos (FA) fueron definidos como 0, 5, 10, 15 y 20 % FA (Cuadro 3) para las dos fases experimentales.

En la primera fase, la unidad experimental constó de 300 mL de leche de vaca comercial pasteurizada por cada tratamiento y se replicaron tres veces. En la segunda fase la unidad experimental fue de 3.78 L de leche de vaca por cada tratamiento y en cada réplica se obtuvieron dos unidades de queso (sub-réplicas) por tratamiento por

réplica; cada tratamiento se replicó dos veces. La descripción de los tratamientos en las dos fases fue 0: 0% de FA en leche, 5: 5% de FA en leche, 10: 10% de FA en leche, 15: 15% de FA en leche y 20: 20% de FA en leche.

**Cuadro 3.** Concentraciones de fructanos de agave definidos en el desarrollo experimental.

| n código | FA <sup>†</sup> (%) |
|----------|---------------------|
| 1        | 0                   |
| 2        | 5                   |
| 3        | 10                  |
| 4        | 15                  |
| 5        | 20                  |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

## 5.4 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica de la Leche

### 5.4.1 Elaboración de leche con Fructanos de Agave

En esta fase experimental, la temperatura de la leche se ajustó a 34 °C y poco a poco el tratamiento se adicionó con agitación constante 2 min. Después en frascos de cristal estériles se envasaron y colocaron en un baño de agua fría para disminuir su temperatura y ser refrigerados a 4°C por 24 h hasta su posterior análisis (Figura 3).



**Figura 3.** Leche de vaca pasteurizada con 0, 5, 10 ,15 y 20 % de fructanos de agave.

#### **5.4.2 Medición de pH y Acidez Titulable**

La medición del pH (n = tres/tratamiento/réplica) se realizó introduciendo el electrodo del potenciómetro (HANNA instruments modelo HI 84532, Woonsocket, EUA) directo en las muestras; el equipo fue calibrado antes de realizar los análisis.

La acidez titulable (AT) se realizó de acuerdo con Villegas de Gante y Santos Moreno (2011); 9 mL de muestra se tomaron y tres gotas de fenolftaleína se le añadieron; después, la titulación se realizó adicionando NaOH al 0.1 N hasta el punto de viró a un rosa pálido. La AT fue reportada en grados Dornic (°D) de acuerdo con la ecuación:

$$^{\circ}\text{D} = (\text{gasto (mL) NaOH 0.1N}) \times 10$$

#### **5.4.3 Color en Leche**

La evaluación del color (n = tres/tratamiento/réplica) consistió en la determinación de L\* (luminosidad), a\* (rojo-verde), b\* (amarillo-azul), Chroma (índice de saturación) y ángulo Hue (tonalidad) mediante un colorímetro Minolta (Konica Minolta Holdings, CR-400/410, Inc., Tokyo, Japón), basado en el sistema CIELab. El cambio de color total ( $\Delta\text{CT}$ ) y el índice de coloración (IC) fueron determinados de acuerdo con Jonnala *et al.* (2021). Para el análisis del color, 50 mL de muestra fueron colocados en una caja Petri, y enseguida el colorímetro fue introducido en la muestra para tomar las lecturas. El equipo fue calibrado antes del análisis.

#### **5.4.4 Composición Bromatológica**

Este análisis consistió en la determinación de la grasa, sólidos no grasos, lactosa, contenido de agua, punto de congelación, sales y densidad de cada muestra de leche (Milkotester Ultrasonic Milk Analyzer modelo Eco, Belovo, Bulgaria). En total, 20 mL de leche a 5 °C se tomaron y colocaron en el muestreador del equipo para su análisis. El análisis de proteína se realizó por el método Kjeldahl (AOAC, 2016). El estudio se realizó por triplicado por cada réplica experimental.

## **5.5 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Queso Panela**

### **5.5.1 Elaboración de los Quesos Panela Experimentales**

La elaboración del queso panela en cada réplica se realizó de acuerdo con Villegas de Gante & Moreno (2011) y ligeras modificaciones establecidas en Sánchez-Zamora *et al.* (2022). Antes de elaborar los quesos, los FA se disolvieron en leche a 36 °C y se agitó durante 2 min, enseguida se enfrió a temperatura ambiente y se refrigeró a 4 °C por 24 h. Pasado este tiempo de estabilidad, la temperatura de la leche se incrementó y a 30 °C se adicionó CaCl<sub>2</sub> (15 g/100 L leche, disuelto en agua destilada) con agitación constante. Después, a 36 °C el cuajo (CUAMIXM.R., CHR HANSEN de México S.A. de C.V., CDMX, México; 10 mL/100 L leche; diluido en agua destilada) se dosificó a la leche con agitación constante durante 1 min y se dejó reposar durante 25 min para el proceso de coagulación. Enseguida, la cuajada se cortó en cubos (1 cm<sup>3</sup>), reposando 2 min y después se agitó por 2 min con reposo de otros 2 min, y después la temperatura se llevó a 38°C y reposó 2 min para iniciar el desuerado total. Una vez hecho el desuerado, el salado (600 g de NaCl/100 L leche) se efectuó, incorporando la sal con agitación constante. A continuación, el moldeado por auto prensado se realizó en moldes cilíndricos de plástico, volteando el queso una vez a los 30 min para su escurrido por 2 h. Para finalizar, el queso se pesó, empacó, codificó y refrigeró a 4°C por 24 h para su evaluación (Figura 4).



**Figura 4.** Quesos panelas hechos con 0, 5, 10, 15 y 20 % de fructanos de agave en leche para elaborar el queso panela.

### 5.5.2 Rendimiento y pH

El rendimiento de queso panela fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Kg de queso}}{\text{Kg de Leche}} \times 100$$

La medición del pH ( $n = \text{seis/tratamiento/réplica}$ ) se realizó introduciendo el electrodo de punción del potenciómetro (HANNA instruments modelo HI 84532, Woonsocket, EUA) en la muestra del queso.

### 5.5.3 Color

El color del queso fue caracterizado midiendo ( $n = \text{seis/tratamiento/réplica}$ )  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma y Hue con un colorímetro Minolta (Konica Minolta Holdings, CR-400/410, Inc., Tokyo, Japón) basado en el sistema CIELab. Asimismo, el  $\Delta CT$  e IC fueron estimados de acuerdo con Jonnala *et al.* (2021). El color se midió en la superficie, centro y base del queso panela. El equipo fue calibrado antes del análisis.

### 5.5.4 Composición Bromatológica

Cada análisis se realizó en todos los tratamientos por réplica experimental. La materia seca se determinó con el método de secado (AOAC, método 926.08 Ed- 2016) y cenizas fueron determinadas por el método de incineración por mufla (AOAC, método

942.05 20° Ed. 2016). La materia seca y cenizas se determinaron por triplicado El contenido de proteína se midió por el método Kjeldahl (AOAC, método 960.52, 20° Ed. 2016 ) y grasa cruda se determinó con el método Goldfish (AOAC, método 920.39 20° Ed. 2016). El contenido de proteína y grasa se evaluaron por duplicado. Los carbohidratos se determinaron por diferencia.

### **5.5.5 Determinación de Fructanos de Agave en Queso Panela**

La cuantificación de los FA en el queso se realizó solo a los quesos producidos con leche con FA por medio del Kit K-Fruc de la empresa Megazyme (Wicklow, Irlanda). El kit utiliza el método AOAC 99.03; AACC 32-32.01 y Codex Type III. El método constó de tres fases, la primera fase fue la extracción de los FA, en donde 1g de queso panela fresco fue macerado en 25 mL de agua destilada y colocado en tubos de ensayo que se introdujeron en un baño de agua en ebullición por 10 min con dos sesiones de agitación en vortex cada 5 min. La segunda fase constó de la remoción de la sacarosa, almidón y azúcares reductores que la muestra pudiera tener, tomándose 0.2 mL de la solución a analizar y colocándolas en el fondo de un tubo de ensayo; después, 0.2 mL de la solución de enzimas sacarasa/amilasa se añadió y se dejó incubar por 30 min a 30°C en baño maría; pasado ese tiempo, 0.2 mL de la solución de borohidruro se añadieron al tubo de ensayo, cubriéndose con Parafilm e incubándose a 40 °C por 30 min para completar la reducción de los azúcares reductores en polialcoholes; enseguida, 0.5 mL de ácido acético al 200mM se adicionaron para remover el exceso de borohidruro y ajustar el pH a 4.5. En la tercera fase se llevó a cabo la hidrólisis y medición de los fructanos, donde alícuotas de 0.2 mL de la solución resultante de la fase dos se tomaron y se llevaron al fondo de tres tubos de ensayo, añadiéndose 0.1 mL de la enzima fructanasa a dos de los tubos y 0.1 mL de acetato de sodio al 100 mM al tercer tubo (blanco), incubándose los tubos tapados con Parafilm a 40 °C por 30 min para completar la hidrolisis de los fructanos a D-fructosa y D-glucosa, pasado ese tiempo se añadieron 5 mL de solución PAHBAH a todos los tubos, incluyendo un blanco regente que se preparó, las soluciones se incubaron durante 6 min en un baño de agua en ebullición y se llevaron a un baño de agua fría por 5 min. Para concluir, absorbancias a 410 nm se midieron en el

espectrofotómetro (SP-830 Plus modelo SM110215, Dubuque, EUA) y se utilizó una calculadora Mega-Calc™ provista por el proveedor, introduciendo el valor de las absorbancias obtenidas para determinar los FA, esta calculadora representa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FA} = \Delta A \times F \times 5 \times 25 \times \frac{1.1}{0.2} \times \frac{100}{W} \times \frac{1}{1000} \times \frac{162}{80} \times D$$

Donde:

$\Delta A$  = absorbancia de la muestra – absorbancia de la muestra blanco (ambos leídos contra un blanco regente).

F = Factor para convertir la absorbancia a  $\mu\text{g}$  de D-fructosa. ( $54.5 \mu\text{g}$  D-fructosa)/(absorbancia para  $54.5 \mu\text{g}$  D-fructosa).

5 = Factor para convertir 0.2 mL de lo analizado a 1.0 mL.

25 = Volumen (mL) de extracto usado.

$1.1/0.2 = 0.2$  mL fue tomado de 1.1 mL de digestión enzimática para el análisis.

W = Peso (mg) de extracto de muestra.

$100/W$  = Factor para expresar los fructanos como porcentaje del peso de la muestra.

$1/1000$  = Factor para convertir de  $\mu\text{g}$  a mg.

$162/180$  = Factor para convertir de D-fructosa libre a fructosa y glucosa anhidras en fructanos.

D = Dilución realizada a la muestra.

### 5.5.6 Índice de Desintegración del Queso Panela por Digestión Gástrica *In vitro*

El índice de desintegración del queso se realizó de acuerdo con el método de Asensio *et al.* (2019) con algunas modificaciones. El proceso digestivo gástrico *in vitro* se simuló para cada tratamiento por réplica. Un total de 2 g de queso deshidratado a  $65^\circ\text{C}$  se tomaron para mezclarlos con 2 g de saliva. Una vez terminado el proceso digestivo *in vitro* después de 2 h, la actividad enzimática se detuvo con un baño frío y un ajuste de pH a 6 con  $\text{NaHCO}_3$  0.9M. Después, el producto digerido se vació en tubos Falcón de 15 mL y el nivel se ajustó a 14 mL. Enseguida, una centrifugación a 4,000 RPM se realizó por 20 min (800D de Zenth Lab JIANGSU Co., LTD, China). Una vez terminado el proceso, el sobrenadante se retiró, mientras que el precipitado se

depositó en crisoles y fue llevado a la estufa a 105°C por 3 h para ser pesado y determinar su índice de desintegración por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Desintegración} = \frac{W_o - W_p}{W_o} \times 100$$

Donde:

$W_o$  = Peso (g) del queso deshidratado tomado para la digestión.

$W_p$  = Peso (g) del precipitado deshidratado después de la digestión.

### **5.5.7 Capacidad Antioxidante**

La actividad antioxidante del queso fue determinada utilizando el método descrito por Pellegrini et al. (1999) con el reactivo 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-ácido sulfónico) (ABTS) generado por oxidación con persulfato de potasio y el cual es reducido por la presencia de antioxidantes que ceden iones de hidrógeno. Una solución estándar de Trolox al 4 mM se preparó para generar una curva con concentraciones de 0 a 1200  $\mu$ M; las muestras de queso se acondicionaron en un ruptor celular (FastPrep modelo FP120-115, EUA) (0.2 g muestra + 1 mL etanol 96°) durante 1 min y después se tomaron 10  $\mu$ L de muestra y se le añadieron 1.0 mL del reactivo ABTS. Enseguida, la absorbancia se midió a los 6 min en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus, Bio- Rad, EUA) a 732 nm. El porcentaje de inhibición del radical se calculó con las diferencias de absorbancia de las muestras y el ajuste de la curva de Trolox mediante una regresión lineal. El análisis se realizó por duplicado en cada tratamiento por cada réplica.

### **5.5.8 Análisis de Perfil de Textura**

El APT se determinó en un texturómetro (TA.XT.Plus, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). Las muestras (n = 12; 6/tratamiento/réplica) se prepararon y midieron de acuerdo con Sánchez-Zamora et al. (2022). Las muestras se estandarizaron a 1.5 cm de altura y 2 cm de diámetro, las cuales fueron comprimidos al 50 % de su altura en dos ciclos de compresión. Un plato de compresión de 75 mm de diámetro se utilizó en la prueba y las velocidades de prueba fueron pre-prueba 2.0

mm/s, durante prueba 2.0 mm/s y post-prueba de 5.0 mm/s entre ciclos. Con los parámetros se obtuvieron las siguientes variables: fuerza, dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia.

### **5.5.9 Evaluación Sensorial**

Un total de 30 evaluadores semientrenados, consumidores habituales de queso realizaron la evaluación sensorial. Una prueba de grado de satisfacción por atributos fue realizada, utilizando una escala hedónica de cinco puntos, donde 1 es me disgusta mucho, 2 me disgusta, 3 ni me disgusta ni me gusta, 4 me gusta y 5 me gusta mucho. Los atributos evaluados fueron color, olor lácteo, suavidad, sabor dulce y aceptabilidad global. Las muestras se prepararon de acuerdo con Morales (2005); cada evaluador recibió cinco recipientes de plástico codificados con tres dígitos seleccionados al azar que contenían 15 g de queso en cubos de cada tratamiento. Una vez que los evaluadores estuvieron en la cabina, se les dieron instrucciones de cómo realizar la prueba. La prueba sensorial se realizó 24 h después de la fabricación del queso a temperatura de refrigeración 4 °C.

## **5.6 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Lactosuero**

### **5.6.1 Obtención del Lactosuero**

La obtención del lactosuero partió del procesamiento del queso panela con los tratamientos establecidos. En el desuerado total, el lactosuero fue envasado, etiquetado y llevado a congelación hasta su análisis.

### **5.6.2 Rendimiento, pH y °Brix**

El rendimiento de lactosuero fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Kg de lactosuero}}{\text{Kg de Leche}} \times 100$$

La medición del pH (n = tres/tratamiento/réplica) se realizó introduciendo el electrodo de punción del potenciómetro (HANNA instruments modelo HI 84532, Woonsocket, EUA) directo en la muestra.

Un refractómetro (Atago, Master-M, Tokio, Japón) se utilizó para determinar los °Brix. Una gota de muestra fue colocada en el lente del equipo para determinar la lectura. El análisis se realizó por triplicado en cada tratamiento por cada réplica experimental.

### **5.6.3 Color**

La evaluación del color ( $n = \text{tres/tratamiento/réplica}$ ) se determinó con un colorímetro Minolta (Konica Minolta Holdings, CR-400/410, Inc., Tokyo, Japón), determinando  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Chroma y ángulo Hue. También el  $\Delta CT$  e IC fueron estimados de acuerdo con Jonnala *et al.* (2021). Un total de 50 mL se vaciaron en cajas Petri para medir directo en la superficie del lactosuero. El equipo fue calibrado antes del análisis.

### **5.6.4 Composición Bromatológica**

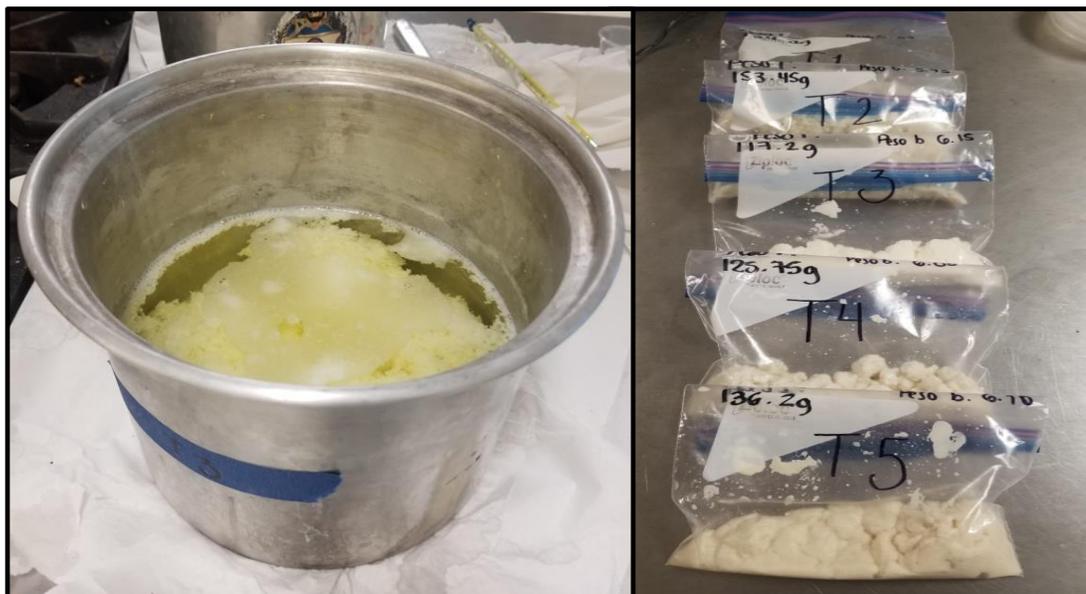
El análisis se realizó para determinar sólidos no grasos, lactosa, contenido de agua, punto de congelación, sales y densidad de cada muestra de lactosuero (Milkotester Ultrasonic Milk Analyzer modelo Eco, Belovo, Bulgaria). Un volumen de 20 mL de lactosuero a 5 °C se tomó y colocaron en el muestreador del equipo para su análisis. El contenido de proteína se determinó por duplicado por el método Kjeldahl (AOAC, 2016). El contenido de grasa cruda se determinó por duplicado con el método Gerber (AOAC, 2016). El estudio se realizó por duplicado en cada tratamiento por cada réplica experimental.

## **5.7 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Requesón**

### **5.7.1 Obtención del Requesón**

La elaboración del requesón (Figura 5) en cada réplica se realizó de acuerdo con Ramírez *et al.* (2022). El lactosuero obtenido de la etapa de desuerado en la elaboración del queso panela de cada tratamiento fue usado para obtener el requesón. El lactosuero fue agitado de manera constante hasta alcanzar una temperatura de 96 °C; enseguida, ácido cítrico se adicionó en una concentración de 0.1 % p/v (el ácido cítrico fue diluido en agua destilada antes de usarlo). Mientras la temperatura se mantuvo a 96 °C por 10 min para obtener las proteínas del lactosuero. Después, el

precipitado se dejó reposar por 30 min, quedando las proteínas suspendidas en la superficie; de esta forma un filtrado fue realizado con una manta a temperatura ambiente por 2 h. Para terminar el proceso, el requesón fue pesado, salado al 1 % p/p, envasado y refrigerado a 4 °C.



**Figura 5.** Obtención de requesón con 0, 5, 10, 15 y 20 % de fructanos de agave adicionados en leche para elaborar el queso panela.

### 5.7.2 Rendimiento y pH

El rendimiento del requesón fue determinado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Kg de requesón}}{\text{Kg de lactosuero}} \times 100$$

La medición del pH (n = seis/tratamiento/réplica) se realizó con un potenciómetro (HANNA instruments modelo HI 84532, EUA) con electrodo de punción. El electrodo fue introducirlo directo en las muestras para medir el pH.

### **5.7.3 Color**

La evaluación del color (n = seis/tratamiento/réplica) se llevó a cabo con un colorímetro Minolta (Konica Minolta Holdings, CR-400/410, Inc., Tokyo, Japón), basado en el sistema CIELab. Las variables medidas fueron L\*, a\*, b\*, Chroma, Hue,  $\Delta$ CT e IC. El procedimiento de medición fue hecho de acuerdo con Jonnala *et al.* (2021). El color se midió en la superficie del requesón, el cual fue colocado en cajas Petri. El equipo fue calibrado antes del análisis.

### **5.7.4 Composición Bromatológica**

Este análisis se determinó por tratamiento de cada réplica experimental. La materia seca se midió con el método de secado (AOAC, método 926.08 Ed- 2016) y cenizas con el método de incineración por mufla (AOAC, método 942.05 20° Ed. 2016). El contenido de proteína se determinó por con el método Kjeldahl (AOAC, método 960.52, 20° Ed. 2016) y grasa cruda con el método Goldfish (AOAC, método 920.39 20° Ed. 2016). Los carbohidratos fueron medidos por diferencia. La materia seca y cenizas se determinaron por triplicado mientras que la proteína y grasa por duplicado.

### **5.7.5 Análisis de Fructanos de Agave en Requesón**

La cuantificación de los FA en el requesón se realizó solo en aquellos procedentes de lactosuero de quesos hechos con leche con FA, esto por medio del Kit K-Fruc de la empresa Megazyme (Wicklow, Irlanda). El kit utiliza el método AOAC 99.03; AACC 32-32.01 y Codex Type III. El método constó de tres fases, la primera fase fue la extracción de los FA, en donde 1g de requesón fresco fue macerado en 25 mL de agua destilada y colocado en tubos de ensayo que se introdujeron en un baño de agua en ebullición por 10 min con dos sesiones de agitación en vortex cada 5 min. La segunda fase constó de la eliminación de la sacarosa, almidón y azúcares reductores que la muestra tuviera, tomándose 0.2 mL de la solución a analizar y colocándolas en el fondo de un tubo de ensayo, después, se aplicaron 0.2 mL de la solución de enzimas sacarasa/amilasa y se dejó incubar por 30 min a 30°C en baño maría, después se añadieron 0.2 mL de la solución de borohidruro al tubo de ensayo, cubriéndose con Parafilm e incubándose a 40 °C por 30 min para completar la

reducción de los azúcares reductores en polialcoholes y pasado ese tiempo añadir 0.5 mL de ácido acético al 200mM, para eliminar el exceso de borohidruro y ajustar el pH a 4.5. En la tercera fase se llevó a cabo la hidrólisis y medición de los fructanos, se tomaron alícuotas de 0.2 mL de la solución resultante de la fase dos y se llevaron al fondo de tres tubos de ensayo, aplicándose 0.1 mL de la enzima fructanasa a dos de los tubos y 0.1 mL de acetato de sodio al 100 mM al tercer tubo (blanco), incubándose los tubos tapados con Parafilm a 40°C por 30 min para completar la hidrólisis de los fructanos a D-fructosa y D-glucosa, pasado ese tiempo se añadió 5 mL de solución PAHBAH a todos los tubos, incluyendo un blanco regente que se preparó, las soluciones se incubaron por exactos 6 min en un baño de agua en ebullición y se llevaron a un baño de agua fría por 5 min. Por último, las absorbancias se midieron a 410 nm en el espectrofotómetro (SP-830 Plus modelo SM110215, Dubuque, EUA), y una calculadora Mega-Calc™ se usó (provista por el proveedor) para determinar los FA, introduciendo el valor de las absorbancias obtenidas; esta calculadora representa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FA} = \Delta A \times F \times 5 \times 25 \times \frac{1.1}{0.2} \times \frac{100}{W} \times \frac{1}{1000} \times \frac{162}{80} \times D$$

Donde:

$\Delta A$  = absorbancia de la muestra – absorbancia de la muestra blanco (ambos leídos contra un blanco regente).

F = Factor para convertir la absorbancia a  $\mu\text{g}$  de D-fructosa. ( $54.5 \mu\text{g}$  D-fructosa)/(absorbancia para  $54.5 \mu\text{g}$  D-fructosa).

5 = Factor para convertir 0.2 mL de lo analizado a 1.0 mL.

25 = Volumen (mL) de extracto usado.

$1.1/0.2 = 0.2$  mL fue tomado de 1.1 mL de digestión enzimática para el análisis.

W = Peso (mg) de extracto de muestra.

$100/W$  = Factor para expresar los fructanos como porcentaje del peso de la muestra.

$1/1000$  = Factor para convertir de  $\mu\text{g}$  a mg.

$162/180$  = Factor para convertir de D-fructosa libre a fructosa anhidra y glucosa anhidra en fructanos.

D = Dilución realizada a la muestra.

### **5.7.6 Capacidad Antioxidante**

Para determinar la actividad antioxidante del requesón fue utilizado el método descrito por Pellegrini *et al.* (1999), usando el reactivo 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-ácido sulfónico) (ABTS). Una solución estándar de Trolox al 4 mM se preparó para generar una curva con concentraciones de 0 a 1200  $\mu$ M. Un total de 0.2 g requesón + 1 mL etanol 96° se acondicionaron en un ruptor celular (FastPrep modelo FP120-115, Whatman®, EUA) durante 1 min y 10  $\mu$ L de muestra se tomaron y se le añadieron 1.0 mL del reactivo ABTS. Enseguida, la absorbancia se midió a los 6 min en un espectrofotómetro (SmartSpec Plus, Bio- Rad, Frederick, EUA) a 732 nm. El porcentaje de inhibición del radical se calculó con las diferencias de absorbancia de las muestras y el ajuste de la curva de Trolox mediante una regresión lineal. El análisis se realizó por duplicado en cada tratamiento por cada réplica.

### **5.7.7 Evaluación Sensorial**

Un total de 30 evaluadores semientrenados, consumidores habituales de productos lácteos llevaron a cabo una prueba de consumidor por atributos que se realizó utilizando una escala de 5 puntos, donde 1 es me disgusta mucho y 5 me gusta mucho. Los atributos evaluados fueron color, olor lácteo, suavidad, sabor dulce y aceptabilidad global. Las muestras se prepararon de acuerdo con Morales (2005); cada evaluador recibió cinco recipientes de plástico codificados con tres dígitos seleccionados al azar que contenían 6 g de cada tratamiento. Una vez que los jueces estuvieron en la cabina individual, se les dieron instrucciones para realizar la prueba con el orden establecido. La prueba sensorial se realizó 24 h después de la obtención del requesón a temperatura de refrigeración 4 °C.

## **5.8 Análisis de Datos**

Para el análisis estadístico de los datos de la primera y segunda fase se consideró un diseño de bloques completamente al azar, considerando las réplicas experimentales como bloques. Un nivel de confianza del 95% se consideró como

precisión para el análisis de varianza y cuando  $H_0$  se rechazó ( $P$  value < 0.05) para las variables analizadas, las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba Tukey y Fisher. El siguiente modelo estadístico fue la base para el análisis y prueba de  $H_0$ :  $Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + \delta_{ij(k)} + E_{ijk}$ , donde  $Y_{ijk}$  = variables de respuesta,  $\mu$  = media global,  $T_i$  = efecto el  $i$ -ésimo tratamiento,  $B_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque,  $\delta_{ij(k)}$  = efecto anidado de la subréplica en cada réplica experimental y  $E_{ijk}$  = error experimental aleatorio. En el caso de los datos sensoriales, la prueba no paramétrica Friedman se utilizó para la prueba de  $H_0$  (igualdad de medianas) considerando a los evaluadores como bloque. Un valor de probabilidad menor a 0.05 se consideró para rechazar  $H_0$ . El software Minitab® (2014) se utilizó para el análisis estadístico de los datos obtenidos en los procesos experimentales.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica de la Leche

#### 6.1.1 pH y Acidez

El efecto de los FA sobre el pH y acidez de la leche son mostrados en el Cuadro 4. El pH de la leche a diferentes concentraciones de FA fue el único que mostró diferencia ( $p < 0.05$ ). Las concentraciones de FA mostraron una variación mínima en el pH de la leche, pudiendo no presentar una afectación, resultando menor en 20 % de FA y mayor en 15 % de FA. La diferencia encontrada en pH difiere con Santiago García *et al.* (2021), en la que se determinó que los FA no afectan el pH y acidez titulable en yogurt a diferentes concentraciones de FA, incluso tras 11 días de refrigeración.

**Cuadro 4.** Efecto de la concentración de fructanos de agave en el pH y acidez de la leche.

| FA (%) <sup>†</sup> | pH                      | Acidez titulable (°D) <sup>‡</sup> |
|---------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 0                   | 6.70±0.07 <sup>ab</sup> | 16.89±0.33                         |
| 5                   | 6.68±0.04 <sup>ab</sup> | 16.67±0.50                         |
| 10                  | 6.66±0.07 <sup>b</sup>  | 16.67±0.50                         |
| 15                  | 6.74±0.10 <sup>a</sup>  | 16.67±0.50                         |
| 20                  | 6.64±0.05 <sup>b</sup>  | 16.78±0.44                         |
| P-value             | 0.013                   | 0.803                              |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>D: Grados Dornic.

<sup>a-b</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

### 6.1.2 Color

Los parámetros de color de la leche tratada con FA mostraron diferencia ( $p < 0.05$ ) entre los niveles de FA (Cuadro 5). La luminosidad ( $L^*$ ) disminuyó en los tratamientos conforme se aumentó la concentración de FA, indicando un pardeamiento en las muestras; esto confirmándose por el aumento de la saturación (Chroma) y el índice de coloración (IC) conforme se aumentaron los FA. Los valores  $a^*$  y  $b^*$  indicaron un ligero incremento en la coloración verde y amarillo al aumentar la concentración de FA. El ángulo Hue (tono) y el cambio de color total ( $\Delta CT$ ) se afectaron entre tratamientos por el aumento en la concentración de FA.

**Cuadro 5.** Efecto de la concentración de fructanos de agave en el color de la leche.

| FA<br>(%) <sup>†</sup> | Color <sup>‡</sup>       |            |                         |                         |                           |                         |                         |
|------------------------|--------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                        | $L^*$                    | $a^*$      | $b^*$                   | C                       | Hue                       | IC                      | $\Delta CT$             |
| 0                      | 94.88±1.49 <sup>a</sup>  | -3.05±0.34 | 7.78±1.54 <sup>b</sup>  | 8.36±1.55 <sup>b</sup>  | 111.68±2.00 <sup>a</sup>  | 5.97±1.37 <sup>c</sup>  | 4.92±1.41 <sup>b</sup>  |
| 5                      | 93.70±1.63 <sup>ab</sup> | -3.10±0.16 | 8.30±0.48 <sup>ab</sup> | 8.87±0.50 <sup>ab</sup> | 110.49±0.55 <sup>ab</sup> | 6.59±0.37 <sup>bc</sup> | 5.34±0.39 <sup>b</sup>  |
| 10                     | 93.83±3.40 <sup>ab</sup> | -3.22±0.38 | 9.19±1.56 <sup>ab</sup> | 9.73±1.60 <sup>ab</sup> | 109.46±1.15 <sup>bc</sup> | 7.47±1.23 <sup>ab</sup> | 6.83±1.06 <sup>a</sup>  |
| 15                     | 91.96±2.37 <sup>b</sup>  | -2.91±0.49 | 8.01±1.85 <sup>ab</sup> | 8.51±1.90 <sup>ab</sup> | 110.21±1.16 <sup>bc</sup> | 6.52±1.55 <sup>bc</sup> | 5.89±0.98 <sup>ab</sup> |
| 20                     | 92.25±1.70 <sup>b</sup>  | -3.25±0.26 | 9.54±1.18 <sup>a</sup>  | 10.07±1.20 <sup>a</sup> | 108.87±0.76 <sup>c</sup>  | 8.02±1.01 <sup>a</sup>  | 6.78±0.73 <sup>a</sup>  |
| P-<br>value            | 0.006                    | 0.128      | 0.011                   | 0.015                   | 0.000                     | 0.001                   | 0.000                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup> $L^*$ : Luminosidad;  $a^*$ : Tendencia al rojo;  $b^*$ : Tendencia al amarillo-verde; C: Chroma, índice de saturación; Hue: Ángulo Hue; IC: Índice de coloración;  $\Delta CT$ : Cambio de color total.

<sup>a-c</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Palatnik *et al.* (2016) obtuvieron resultados similares dónde solo  $b^*$  no fue diferente, pero se concuerda con que la diferencia que se marca entre los tratamientos no resulta de gran significancia, ni afecta de forma negativa el color de la leche. Así,  $L^*$ ,  $a^*$  y Hue fueron altos en 0 % FA, mientras que  $b^*$ , Chroma, IC y  $\Delta CT$  resultaron más altos en 20 % FA y más bajos en 0 % FA.

### 4.1.3 Composición bromatológica

El Cuadro 6 muestra los efectos de los FA en la composición de la leche. Los componentes de la leche tratados con las diferentes concentraciones de FA resultaron diferentes ( $p < 0.05$ ). El contenido de agua disminuye conforme se aumenta la concentración de FA siendo mayor en 0 % y menor en 20 %. Los ST y SNG son mayores a 20% FA y menores a 0% FA. El contenido de grasa fue mayor a 0% FA y fue disminuyendo hasta su punto mínimo en la concentración de 20% FA, mientras que la proteína, lactosa, sales y densidad disminuyeron en la concentración 0 %FA y aumentaron en 15 % y 20 % FA. El PC disminuye al aumentar los FA, siendo mayor a 20% FA.

**Cuadro 6.** Efecto de la concentración de fructanos de agave en la composición bromatológica de leche.

| Variable <sup>†</sup>    | FA (%) <sup>‡</sup>       |                           |                           |                           |                           | P-value |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
|                          | 0                         | 5                         | 10                        | 15                        | 20                        |         |
| Agua (%)                 | 87.38±0.24 <sup>a</sup>   | 84.20±0.29 <sup>b</sup>   | 81.10±0.31 <sup>c</sup>   | 77.76±0.40 <sup>d</sup>   | 75.35±1.06 <sup>e</sup>   | 0.000   |
| ST (%)                   | 12.62±0.24 <sup>a</sup>   | 15.80±0.29 <sup>b</sup>   | 18.90±0.31 <sup>c</sup>   | 22.24±0.40 <sup>d</sup>   | 24.65±1.06 <sup>e</sup>   | 0.000   |
| SNG (%)                  | 9.13±0.21 <sup>e</sup>    | 12.49±0.19 <sup>d</sup>   | 15.82±0.22 <sup>c</sup>   | 19.28±0.28 <sup>b</sup>   | 22.21±0.60 <sup>a</sup>   | 0.000   |
| Grasa (%)                | 3.48±0.05 <sup>a</sup>    | 3.31±0.11 <sup>ab</sup>   | 3.08±0.11 <sup>bc</sup>   | 2.95±0.13 <sup>c</sup>    | 2.44±0.49 <sup>d</sup>    | 0.000   |
| Proteína (%)             | 3.19±0.01 <sup>b</sup>    | 3.20±0.00 <sup>b</sup>    | 3.20±0.00 <sup>b</sup>    | 3.29±0.00 <sup>a</sup>    | 3.11±0.01 <sup>c</sup>    | 0.000   |
| Lactosa (%)              | 4.69±0.11 <sup>e</sup>    | 6.60±0.10 <sup>d</sup>    | 8.50±0.11 <sup>c</sup>    | 10.43±0.16 <sup>b</sup>   | 12.14±0.27 <sup>a</sup>   | 0.000   |
| Sales (%)                | 0.76±0.02 <sup>e</sup>    | 1.07±0.02 <sup>d</sup>    | 1.37±0.02 <sup>c</sup>    | 1.69±0.02 <sup>b</sup>    | 1.95±0.05 <sup>a</sup>    | 0.000   |
| Den (Kg/m <sup>3</sup> ) | 1031.69±0.72 <sup>e</sup> | 1043.35±0.67 <sup>d</sup> | 1054.88±0.75 <sup>c</sup> | 1066.88±0.98 <sup>b</sup> | 1077.03±2.07 <sup>a</sup> | 0.000   |
| PC (°C)                  | -0.55±0.01 <sup>a</sup>   | -0.81±0.01 <sup>b</sup>   | -1.08±0.02 <sup>c</sup>   | -1.37±0.03 <sup>d</sup>   | -1.66±0.06 <sup>e</sup>   | 0.000   |

<sup>†</sup>SNG: Sólidos no grasos; ST: Sólidos totales; PC: Punto de congelación; Den: Densidad.

<sup>‡</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>a-c</sup> Superíndices en filas con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

El aumento en SNG concuerda con lo investigado por Santiago García *et al.* (2021) en donde al incrementar las concentraciones de fructanos al yogurt se observó un mayor porcentaje de SNG, este acrecentamiento repercute directo sobre el

contenido de agua y la densidad de la leche, al incrementar la masa en el volumen de la leche. La lactosa también se afectó debido a la composición de los FA que al ser en su mayoría fructosas (Arrizon *et al.*, 2010). También, Santiago García *et al.*, (2021) describieron que las moléculas de agave pueden formar parte de la estructura proteica formando caseínas complejas, brindando mayor estabilidad a las proteínas, pudiendo ser porque los iones OH<sup>-</sup> de los polisacáridos interactúan a través de los enlaces de hidrógeno con los residuos cargados en la superficie de la proteína. Estos agregados a la estructura proteica pudieran causar un aumento e influenciar el contenido total de proteína determinado en el presente estudio. La grasa en la leche es una emulsión aceite-agua (Villegas de Gante, 2012) y al añadir las concentraciones de FA, las gotas de grasa se dispersan más en la solución; esto se representó al decrecer este contenido de la concentración 0 al 20 %. Las sales se aumentaron debido a que los FA usados contienen 11 % de calcio por cada 100 g de producto, haciendo que las sales se eleven junto a las concentraciones de tratamientos aplicados.

## **6.2 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Queso Panela**

### **6.2.1 Rendimiento y pH**

El efecto de los FA adicionados en leche para elaborar el queso panela sobre el rendimiento y pH es presentado en el Cuadro 7. El rendimiento mostró diferencia ( $p < 0.05$ ) entre las concentraciones de FA, mientras que el pH se mantuvo estable ( $p > 0.05$ ). El rendimiento incrementó en 20 % y disminuyó en 0 % de FA.

Villegas de Gante (2012) mencionó que, a semejanza de otros quesos frescos, el queso panela es de alto rendimiento y oscila entre un 13 y 15 % por cada 100 L de leche y que esta oscilación es debido a que el trabajo de grano y prensado no son pronunciados. Los tratamientos arrojan un aumento en rendimiento por encima de lo mencionado por ese autor; este mayor porcentaje en el rendimiento recae en la adición de los FA a la estructura del queso panela. Santiago García *et al.* (2021) mencionaron que las moléculas de agave pueden formar parte de la estructura proteica, formando caseínas complejas. Reza Karimi (2015) e Imeson (2010) indicaron que los fructanos con un grado de polimerización mayor a 10 tienen la capacidad de formar geles en

sistemas con alto contenido de agua adquiriendo la capacidad de retención de agua. Lo mencionado por esos autores explicaría el incremento progresivo del rendimiento al elevar los niveles de FA.

**Cuadro 7.** Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche para elaborar el queso panela en su rendimiento y pH.

| FA (%) <sup>†</sup> | Rendimiento (%)           | pH        |
|---------------------|---------------------------|-----------|
| 0                   | 16.08±0.97 <sup>c</sup>   | 6.64±0.09 |
| 5                   | 16.87±0.69 <sup>bc</sup>  | 6.68±0.08 |
| 10                  | 18.68±0.91 <sup>abc</sup> | 6.66±0.05 |
| 15                  | 19.67±0.69 <sup>ab</sup>  | 6.68±0.05 |
| 20                  | 21.18±0.28 <sup>a</sup>   | 6.65±0.05 |
| P-value             | 0.007                     | 0.490     |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

<sup>a-c</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Los resultados de pH concuerdan con Santiago García *et al.* (2021) donde se determinó que los FA no afectan el pH en yogurt a diferentes concentraciones de FA. Así mismo, resultados similares encontraron Salvatore *et al.* (2013) cuando reemplazaron grasa por inulina de cadena larga en queso fresco.

### 6.2.2 Color

El color de los quesos resultó afectado ( $p < 0.05$ ) cuando las concentraciones de FA fueron adicionadas en la leche (Cuadro 8). La L\* disminuyó junto al incremento de la concentración de FA; esto indicó un pardeado en el queso; lo cual se demuestra porque el IC y a\* indicaron una tendencia hacia el verde, el cual disminuye con el aumento de los FA. La variable b\* mostró una tendencia hacia el amarillo en 15 y 20 % de FA. El tono (ángulo Hue) y  $\Delta CT$  cambiaron cuando los porcentajes de FA fueron mayores en la leche para elaborar los quesos.

**Cuadro 8.** Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche sobre el color del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | Color <sup>‡</sup>       |                          |                          |                          |                         |                         |                         |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                     | L*                       | a*                       | b*                       | C                        | Hue                     | IC                      | ΔCT                     |
| 0                   | 94.29±0.81 <sup>a</sup>  | -1.98±0.15 <sup>d</sup>  | 13.16±0.96 <sup>ab</sup> | 13.23±1.00 <sup>ab</sup> | 98.61±0.22 <sup>a</sup> | 13.11±1.09 <sup>b</sup> | 9.35±0.98 <sup>ab</sup> |
| 5                   | 93.47±0.42 <sup>b</sup>  | -1.74±0.08 <sup>c</sup>  | 12.65±0.45 <sup>c</sup>  | 12.76±0.46 <sup>b</sup>  | 97.83±0.16 <sup>b</sup> | 12.80±0.46 <sup>b</sup> | 8.81±0.45 <sup>c</sup>  |
| 10                  | 93.33±0.38 <sup>b</sup>  | -1.68±0.07 <sup>bc</sup> | 12.73±0.47 <sup>bc</sup> | 12.84±0.47 <sup>b</sup>  | 97.52±0.19 <sup>b</sup> | 12.96±0.54 <sup>b</sup> | 8.88±0.49 <sup>bc</sup> |
| 15                  | 92.98±0.60 <sup>bc</sup> | -1.64±0.13 <sup>ab</sup> | 13.24±0.59 <sup>a</sup>  | 13.35±0.60 <sup>a</sup>  | 97.04±0.28 <sup>c</sup> | 13.68±0.62 <sup>a</sup> | 9.44±0.61 <sup>a</sup>  |
| 20                  | 92.61±0.42 <sup>c</sup>  | -1.59±0.16 <sup>a</sup>  | 13.36±0.54 <sup>a</sup>  | 13.46±0.55 <sup>a</sup>  | 96.78±0.50 <sup>c</sup> | 13.93±0.56 <sup>a</sup> | 9.59±0.53 <sup>a</sup>  |
| P-value             | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                   | 0.000                   | 0.000                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

<sup>‡</sup>L\*: Luminosidad; a\*: Tendencia al rojo; b\*:Tendencia al amarillo-verde; C: Chroma, índice de saturación; Hue: Ángulo Hue; IC: Índice de coloración; ΔCT: Cambio de color total.

<sup>a-d</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Palatnik *et al.* (2016) emplearon FA nativo (*Agave tequilana*), FA de alta eficiencia y FA de alto grado de polimerización, esto a concentraciones de 0.5, 1.5 y 5 % para producir queso bajo en grasa. En el queso, la L\* disminuyó conforme se aumentó la concentración de FA, y b\* incrementó; en a\*, esos autores obtuvieron un ligero incremento con una tendencia hacia el rojo, pero próximos a cero.

### 6.2.3 Composición Bromatológica

En el Cuadro 9 se muestra la modificación sobre la composición bromatológica del queso panela debido a la adición de distintos niveles de FA en leche. La humedad se mantuvo estable ( $p > 0.05$ ), proteína, grasa, ceniza y carbohidratos mostraron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los niveles de FA adicionados en leche para elaborar el queso. La proteína y grasa disminuyeron al aumentar las concentraciones de FA. El porcentaje de ceniza fue mayor a 0 y menor a 15 % de FA. Los carbohidratos incrementaron junto a las concentraciones de FA, siendo mayor en 20 % de FA.

**Cuadro 9.** Efecto de la concentración de fructanos de agave añadidos en leche sobre las propiedades bromatológicas del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | Variables <sup>‡</sup> (%) |                          |                        |                          |                          |                         |                          |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
|                     | Humedad                    | PCBS                     | PCBH                   | GCBS                     | GCBH                     | Ceniza                  | Carb                     |
| 0                   | 56.17±3.89 <sup>a</sup>    | 22.67±0.37 <sup>a</sup>  | 9.95±0.76 <sup>a</sup> | 42.64±1.03 <sup>a</sup>  | 18.53±0.94 <sup>a</sup>  | 2.59±0.28 <sup>a</sup>  | 12.81±1.72 <sup>d</sup>  |
| 5                   | 57.45±1.59 <sup>a</sup>    | 20.23±1.12 <sup>b</sup>  | 8.55±0.67 <sup>b</sup> | 42.29±0.73 <sup>ab</sup> | 18.20±1.03 <sup>ab</sup> | 2.36±0.27 <sup>ab</sup> | 13.11±2.15 <sup>cd</sup> |
| 10                  | 56.98±2.08 <sup>a</sup>    | 19.14±1.53 <sup>bc</sup> | 8.17±0.65 <sup>b</sup> | 37.80±4.36 <sup>bc</sup> | 16.28±1.80 <sup>bc</sup> | 2.15±0.17 <sup>b</sup>  | 16.11±2.18 <sup>bc</sup> |
| 15                  | 56.66±2.12 <sup>a</sup>    | 18.26±0.90 <sup>c</sup>  | 8.05±0.50 <sup>b</sup> | 35.69±3.61 <sup>cd</sup> | 15.20±1.86 <sup>cd</sup> | 2.14±0.08 <sup>b</sup>  | 18.68±2.80 <sup>ab</sup> |
| 20                  | 55.73±1.64 <sup>a</sup>    | 16.29±0.98 <sup>d</sup>  | 7.16±0.44 <sup>c</sup> | 31.54±4.60 <sup>d</sup>  | 14.11±2.34 <sup>d</sup>  | 2.33±0.51 <sup>ab</sup> | 20.30±1.45 <sup>a</sup>  |
| P-value             | 0.291                      | 0.000                    | 0.000                  | 0.000                    | 0.000                    | 0.003                   | 0.000                    |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>Variables: PCBS: Proteína cruda base seca; PCBH: Proteína cruda base húmeda; GCBS: Grasa cruda base seca; GCBH: Grasa cruda base húmeda; Carb: Carbohidratos.

<sup>a-d</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

De acuerdo con Villegas de Gante (2012) el queso panela contiene un porcentaje elevado de humedad (hasta 58 %), grasa (20 %), proteína (20 %) y cenizas (3.8%). Conforme a esto, se observaron cualidades similares en las muestras de 0 % FA, y se evidenció un menor contenido de grasa y proteína en los quesos panela con FA. Los FA pudieron haber dispersado la caseína; esto fue notable porque la proteína se redujo al incrementar el por ciento de FA en leche para elaborar el queso panela. Palatnik *et al.* (2016) en su estudio de producción de queso fresco bajo en grasa utilizando FA, obtuvieron un ligero aumento en el porcentaje de proteína al añadir un 5 % de FA en su proceso, difiriendo con el presente estudio, que si bien la variación de proteína al 5 % contra el 0 % FA no es grande. Pero se concuerda con dichos autores en la disminución de la grasa al añadir FA. La grasa en la leche es una emulsión aceite-agua (Villegas de Gante, 2012) al añadir las concentraciones de FA, las gotas de grasa incrementaron su dispersión en la solución, esto se observó en el decremento progresivo de la concentración 0 % al 20 %. La ligera variación en la ceniza puede deberse a la presencia de algunos minerales en la membrana del glóbulo de grasa (Fox y Mcsweeney, 1998) que al disminuir en cada tratamiento altera el

porcentaje de ceniza. El aumento de los carbohidratos en los quesos con FA en leche revela que un porcentaje de los FA panela se mantiene en la estructura del producto.

#### 6.2.4 Determinación de Fructanos de Agave en el Queso Panela

En el Cuadro 10 se muestra el contenido de FA en el queso panela. La presencia de FA en el queso panela no resultó diferente ( $p>0.05$ ).

**Cuadro 10.** Contenido de fructanos de agave incorporados en leche en la estructura de queso panela.

| %FA <sup>†</sup> | mg/100g de FA |
|------------------|---------------|
| 5                | 15.42±4.61    |
| 10               | 12.24±4.23    |
| 15               | 9.05±3.99     |
| 20               | 9.22±5.81     |
| P-value          | 0.419         |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

Los FA son capaces de retenerse en la estructura del queso cuando se añaden en altas concentraciones y que, de acuerdo con micrografías tomadas a quesos hechos con leche entera y quesos bajos en grasa, estos conservan una estructura similar, determinando que la estructura ramificada de los fructanos del agave contribuye a su retención en los productos lácteos (Espinosa *et al.*, 2021). También, los fructanos tienen la capacidad de formar microcristales que interactúan entre sí formando pequeños agregados que se aglomeran en una red de gel y se adhieren a la estructura alimenticia (Hébette *et al.*, 1998). Confirmando que los FA son capaces de acoplarse a la estructura alimenticia del queso panela y debe encontrarse en todos los tratamientos con FA, comprobando su detección en los tratamientos analizados en el presente estudio.

#### 6.2.5 Índice de Desintegración del Queso Panela por Digestión Gástrica *In vitro*.

El efecto de los FA sobre el proceso de digestión gástrica en el queso panela

(DGQ) es presentado en el Cuadro 11. No se encontró diferencia ( $p>0.05$ ) en el porcentaje de desintegración del queso panela en todas las concentraciones de FA.

**Cuadro 11.** Efecto de los fructanos de agave agregados en leche en la digestión gástrica del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | DGQ (%) <sup>‡</sup> |
|---------------------|----------------------|
| 0                   | 59.46±7.91           |
| 5                   | 54.03±9.43           |
| 10                  | 59.57±8.20           |
| 15                  | 61.50±8.48           |
| 20                  | 73.91±0.58           |
| P-value             | 0.281                |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>DGQ: Desintegración gástrica del queso.

Sharma *et al.* (2020) aplicaron polisacárido alginato de sodio extraído de algas para dar funcionalidad a queso cheddar bajo en grasa, encontrando que, a los 120 min de digestión gástrica, el porcentaje de desintegración del queso control osciló en 70%, mientras que 54% para queso bajo en grasa y 62% en el queso con el polisacárido; similar al presente estudio. Aunque esos autores encontraron diferencia entre sus tratamientos, mencionaron que la desintegración del queso depende de su composición, textura y presencia de partículas entre la red de proteínas que conforman el queso. La mayoría de la desintegración del queso es llevada en la fase gástrica mientras que en la fase intestinal no es significativa (Sharma *et al.*, 2010; Asensio *et al.*, 2019). Los FA presentes en el queso panela no afectaron el índice de degradación, aunque pudiera darse el caso que en concentraciones altas como el 20% de FA del presente estudio, la desintegración del queso sea alta debido a la gran cantidad de FA, y si se consume una porción con gran presencia de FA pueden acelerar la degradación del queso en la digestión gástrica debido a su capacidad de fibra soluble (Imeson, 2010).

### 6.2.6 Capacidad Antioxidante

El efecto de la concentración de FA sobre la capacidad antioxidante (CA) del queso panela es mostrado en el Cuadro 12. Diferencia ( $p < 0.05$ ) se encontró en la CA al evaluar los diferentes niveles de FA. El porcentaje de inhibición fue mayor a 10 % de FA y menor a 0 % de FA.

**Cuadro 12.** Efecto de la concentración de fructanos de agave adicionados en leche sobre la capacidad antioxidante del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | ABTS<br>Inhibición (%)  | uM Trolox<br>equivalentes  |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0                   | 6.58±2.99 <sup>b</sup>  | 155.92±71.63 <sup>b</sup>  |
| 5                   | 9.00±1.74 <sup>ab</sup> | 212.58±41.04 <sup>ab</sup> |
| 10                  | 9.92±2.92 <sup>a</sup>  | 234.25±67.94 <sup>a</sup>  |
| 15                  | 7.04±0.90 <sup>ab</sup> | 166.75±20.66 <sup>ab</sup> |
| 20                  | 7.36±1.69 <sup>ab</sup> | 174.25±40.82 <sup>ab</sup> |
| P-value             | 0.017                   | 0.017                      |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>a-b</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

La leche contiene tocoferol y  $\beta$ -caroteno, ambos conocidos por su actividad antioxidante; el tocoferol es capaz de actuar como un donador de hidrógenos y como un moderador de oxígeno singlete, mientras que el  $\beta$ -caroteno actúa como moderador de oxígenos singlete (Pokorny, Yanishlieva, y Gordon, 2005). Por lo que puede esperarse que el queso panela pueda conservar estos compuestos después de su procesado. Por otra parte, los quesos probablemente tienen péptidos bioactivos con propiedades antioxidantes como mencionaron Parra *et al.* (2020), cuando evaluaron fracciones nitrogenadas de queso fresco con adición de probióticos obteniendo valores en control en un rango de 240 a 354 uM Trolox equivalentes en el control, evidenciando presencia de CA, y rangos de 258 a 580 uM Trolox equivalentes en tratamientos con probióticos (LSB), revelando que el queso podría potenciar su propiedad antioxidante

por medio de aditivos y por el producto sin aditivos al liberar péptidos bioactivos; esto reflejado en los tratamientos analizados en el presente estudio, donde se observa CA, siendo mayor en los tratamientos con FA. Este aumento de CA se puede atribuir a los FA, ya que de acuerdo con Franco *et al.* (2018), los FA pueden tener potencial antioxidante y ser usados para reducir el estrés oxidativo en regiones del cerebro, de acuerdo con su estudio en ratones. Pudiendo así explicar el aumento de la CA de los tratamientos con FA.

### 6.2.7 Análisis de Perfil de Textura

El Cuadro 13 revela el efecto de los FA sobre las propiedades de textura del queso panela. Dureza, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia presentaron diferencia ( $p < 0.05$ ), mientras que adhesividad y elasticidad se mantuvieron constantes ( $p > 0.05$ ). La dureza fue mayor a 0 % FA y menor a 20 % FA, presentando una disminución relacionada al incremento del tratamiento, manteniéndose este mismo comportamiento en las variables gomosidad, masticabilidad y resiliencia. La cohesividad fue mayor en 5 % FA y menor en 20 % FA.

**Cuadro 13.** Efecto de los niveles de fructanos de agave adicionados en leche sobre la textura del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | Variables <sup>‡</sup>  |                           |                        |                        |                         |                         |                         |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                     | Dureza (N) <sup>‡</sup> | Adhesividad g/s           | Elasticidad            | Cohesividad            | Gomosidad               | Masticabilidad          | Resiliencia             |
| 0                   | 19.46±0.89 <sup>a</sup> | -20.49±13.67 <sup>a</sup> | 0.87±0.02 <sup>a</sup> | 0.60±0.12 <sup>a</sup> | 11.40±3.32 <sup>a</sup> | 9.85±2.80 <sup>a</sup>  | 0.31±0.06 <sup>ab</sup> |
| 5                   | 16.23±1.34 <sup>b</sup> | -10.12±11.69 <sup>a</sup> | 0.87±0.02 <sup>a</sup> | 0.62±0.07 <sup>a</sup> | 10.34±1.70 <sup>a</sup> | 8.96±1.41 <sup>a</sup>  | 0.32±0.04 <sup>a</sup>  |
| 10                  | 14.95±1.64 <sup>b</sup> | -16.60±13.38 <sup>a</sup> | 0.88±0.01 <sup>a</sup> | 0.60±0.08 <sup>a</sup> | 9.59±3.37 <sup>ab</sup> | 8.41±2.95 <sup>ab</sup> | 0.29±0.04 <sup>bc</sup> |
| 15                  | 13.17±1.18 <sup>c</sup> | -15.43±11.90 <sup>a</sup> | 0.87±0.02 <sup>a</sup> | 0.58±0.11 <sup>a</sup> | 7.81±1.85 <sup>b</sup>  | 6.82±1.60 <sup>b</sup>  | 0.28±0.06 <sup>c</sup>  |
| 20                  | 9.42±1.29 <sup>d</sup>  | -16.04±13.07 <sup>a</sup> | 0.88±0.02 <sup>a</sup> | 0.52±0.07 <sup>b</sup> | 5.02±0.90 <sup>c</sup>  | 4.41±0.79 <sup>c</sup>  | 0.24±0.04 <sup>d</sup>  |
| P-value             | 0.000                   | 0.407                     | 0.362                  | 0.000                  | 0.000                   | 0.000                   | 0.000                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>N: Newtons, unidad de fuerza.

<sup>a-d</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Los resultados de dureza del presente estudio son similares a Salvatore *et al.* (2013), quienes mencionan que la presencia de inulina interrumpe la red de caseína, y surge en consecuencia un efecto suavizador, el cual incrementa con un mayor porcentaje de FA observándose una disminución de la dureza, pudiendo afectar de la misma manera la masticabilidad. Valle *et al.* (2019) en sus análisis de perfil de textura a queso fresco de oveja con fructanos al 5 % encontraron resultados similares al disminuir las propiedades de cohesividad y gomosidad por la presencia de fructanos, no así para adhesividad que presentó un aumento y elasticidad una disminución, mientras que en el presente estudio se mantuvieron sin cambios. Santiago| García *et al.* (2021) concluyeron en su estudio de sustitución de grasa por FA, que las propiedades reológicas pueden ser dependientes de la concentración de FA.

#### **6.2.8 Evaluación Sensorial**

El efecto de los FA sobre los atributos sensoriales del queso panela es mostrado en el Cuadro 14. La aceptabilidad global presentó diferencia ( $p < 0.05$ ), no así para los atributos color, olor lácteo, suavidad y sabor dulce ( $p > 0.05$ ), que se mantienen en el mismo nivel alto de agrado. La aceptabilidad global fue igual del 0 % de FA al 15 % FA, siendo el 20 % de FA la concentración que presentó una menor aceptabilidad.

Los resultados de los atributos analizados en el presente estudio concuerdan con los de Valle *et al.* (2019) y Palatnik *et al.* (2016), quienes en su investigación de quesos reducidos en grasa con FA no encontraron diferencia en los atributos sensoriales color, sabor, textura, dulzor y acidez; estos no se ven afectados por la adición de FA. Valle *et al.* (2019) en el desarrollo de queso fresco de oveja con inulina, no encontraron diferencia en la aceptabilidad global obtenida a 7 días de almacenamiento; los autores indicaron que bajas concentraciones de inulina no afectan las características sensoriales, pudiendo ser el aumento de FA la causa de la diferencia encontrada en el presente estudio. La variación de la aceptabilidad global también puede ser producto del efecto suavizante que los FA generan en el alimento (Salvatore *et al.*, 2013) y del incremento del sabor dulce en el panela conforme se elevan las concentraciones de FA.

**Cuadro 14.** Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche sobre los atributos sensoriales del queso panela.

| FA (%) <sup>†</sup> | Atributos sensoriales |                   |                   |                   |                      |
|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
|                     | Color                 | Olor lácteo       | Suavidad          | Sabor dulce       | Aceptabilidad global |
| 0                   | 4.50 <sup>a</sup>     | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.50 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>    |
| 5                   | 4.50 <sup>a</sup>     | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.60 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>    |
| 10                  | 4.50 <sup>a</sup>     | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup>    |
| 15                  | 4.50 <sup>a</sup>     | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.70 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>ab</sup>   |
| 20                  | 4.50 <sup>a</sup>     | 4.00 <sup>a</sup> | 4.00 <sup>a</sup> | 3.20 <sup>a</sup> | 3.00 <sup>b</sup>    |
| P-value             | 0.917                 | 0.706             | 0.864             | 0.309             | 0.000                |

<sup>†</sup>Fructanos de Agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>a-b</sup> Superíndices en columna con diferente literal en las medianas muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

### 6.3 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Lactosuero

#### 6.3.1 Rendimiento, pH y °Brix

El efecto de los FA sobre el rendimiento, pH y °Brix del lactosuero obtenido de la elaboración de queso panela tratado con diferentes concentraciones de FA en leche se presenta en el Cuadro 15. La adición de FA no afectó ( $p < 0.05$ ) el rendimiento ni el pH, aunque el pH de acuerdo con la comparación de medias de Fisher encuentra similitudes entre los tratamientos 0, 5 y 20 % de FA y los tratamientos 10 y 15 % de FA. Los °Brix en el lactosuero se modificaron ( $p < 0.05$ ) al añadir diferentes concentraciones de FA en leche. Un incremento de los °Brix se presentó conforme se añadieron los FA, siendo el 0 % de FA el que obtuvo una menor cantidad de sólidos y 20 % de FA presentó el mayor contenido de sólidos disueltos en el lactosuero.

El rendimiento de lactosuero en la industria quesera es del 83 % (Prazeres *et al.*, 2012), los rendimientos obtenidos en la presente investigación fueron menores y sin cambios por la adición de FA, dicha disminución puede ser atribuida a la técnica de procesamiento utilizada. Reza *et al.* (2015) mencionan que las  $\beta$ -lactoglobulinas pueden interaccionar con los fructanos pero no con  $\alpha$ -lactalbúmina, esta interacción

tendría lugar en la base de la estructura por la capacidad de unirse a compuestos hidrofóbicos, secciones no polares de la molécula de fructanos. También se ha demostrado que someter a fructanos y proteínas del suero a temperaturas altas produce una disminución notable en la hidrofobicidad de la superficie, lo que sugiere uniones entre residuos de aminoácidos no polares del suero y secciones no polares de inulina (Gilbowski & Gilbowska, 2009).

**Cuadro 15.** Efecto de la concentración de fructanos de agave suministrados en leche en el rendimiento, pH y °Brix del lactosuero.

| FA (%) <sup>†</sup> | Rendimiento (%) | pH                      | °Brix                   |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                   | 71.43±5.61      | 6.55±0.05 <sup>b</sup>  | 7.10±0.11 <sup>e</sup>  |
| 5                   | 66.80±2.81      | 6.58±0.04 <sup>ab</sup> | 11.29±0.13 <sup>d</sup> |
| 10                  | 62.17±9.35      | 6.60±0.00 <sup>a</sup>  | 15.63±0.56 <sup>c</sup> |
| 15                  | 67.46±7.48      | 6.60±0.00 <sup>a</sup>  | 18.83±0.50 <sup>b</sup> |
| 20                  | 70.11±1.87      | 6.55±0.05 <sup>b</sup>  | 22.54±0.37 <sup>a</sup> |
| P-value             | 0.468           | 0.076                   | 0.000                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

a-d Superíndices producto de la comparación de medias por Fisher en pH y Tukey en °Brix, en columna con diferente literal en las medias muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Salvatore et al. (2014) mencionaron que el pH del suero oscila en 6.5, siendo un valor de calidad para detectar la degradación de lactosuero por acidificación. Los valores reportados por los autores están en el rango a los obtenidos en el presente estudio, observándose que los FA no modifican el pH del lactosuero.

Los sólidos presentes en el lactosuero oscilan en 7 % (Nava et al., 2014). Cuevas et al. (2017) mencionaron que los sólidos presentes en lactosuero de queso cocido con leche de vaca varían de 4 a 6.7 %, pudiéndose observar similitud en los sólidos solubles de la concentración de 0 % FA y así evidenciando la presencia de los sólidos de los FA en el lactosuero después del procesado del queso panela, pudiendo permanecer en el lactosuero debido a que las  $\beta$ -lactoglobulinas pueden interaccionar con los fructanos (Reza et al., 2015).

### 6.3.2 Color

El color del lactosuero obtenido del proceso de elaboración del queso a partir de leche con FA se muestra en el Cuadro 16. Las variables de color no tuvieron diferencia ( $p>0.05$ ) en el lactosuero.

**Cuadro 16.** Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche sobre el color del lactosuero.

| FA (%) <sup>†</sup> | Color <sup>‡</sup> |            |           |           |             |           |            |
|---------------------|--------------------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|------------|
|                     | L*                 | a*         | b*        | C         | Hue         | IC        | ΔCT        |
| 0                   | 82.13±1.40         | -2.25±0.99 | 6.76±2.31 | 7.12±2.50 | 107.61±2.86 | 6.41±2.12 | 12.68±1.70 |
| 5                   | 81.74±1.32         | -2.08±0.59 | 6.75±1.01 | 7.07±1.13 | 106.92±2.14 | 6.54±0.89 | 12.89±1.38 |
| 10                  | 83.39±4.65         | -2.26±0.69 | 7.41±2.05 | 7.73±2.16 | 107.27±1.25 | 7.14±2.13 | 11.86±3.93 |
| 15                  | 82.48±2.52         | -1.87±0.89 | 6.47±2.90 | 6.73±3.03 | 105.97±0.45 | 6.43±3.13 | 12.24±3.11 |
| 20                  | 82.17±1.45         | -1.94±0.71 | 6.36±2.40 | 6.65±2.50 | 106.98±0.44 | 6.20±2.57 | 12.49±1.96 |
| P-value             | 0.744              | 0.880      | 0.926     | 0.931     | 0.453       | 0.951     | 0.934      |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>L\*: Luminosidad; a\*: Tendencia al rojo; b\*:Tendencia al amarillo-verde; C: Chroma, índice de saturación; Hue: Angulo Hue; IC: Índice de coloración; ΔCT: Cambio de color total.

El color del lactosuero es verde-amarillento causado por la presencia de riboflavina (de Wit, 2001), manteniéndose esta tendencia en los tratamientos analizados en el presente estudio, observando valores positivos de b\* propios de tonalidad amarilla y negativos de a\* indicando tonalidad verde. Los FA de agave no modifican el color del lactosuero a diferencia del queso panela (Palatnik *et al.*, 2016) y el subproducto requesón (Mileriene *et al.*, 2020).

### 6.3.3 Composición Bromatológica

El Cuadro 17 muestra los efectos de los FA adicionados desde la leche para elaborar el queso en la composición del lactosuero. Los componentes del lactosuero resultaron diferentes ( $p<0.05$ ), a excepción de la proteína ( $p>0.05$ ). El contenido de

agua fue menor en 20% y mayor en 0% de FA, los sólidos totales y solidos no grasos incrementaron junto a las concentraciones de FA siendo mayor en 20% de FA, la grasa aumentó en la concentración 0 % de FA y disminuyó en 20 % de FA, mientras que la lactosa, sales, densidad y punto de congelación disminuyeron en la concentración de 0 % de FA y aumentaron en 20 % de FA.

**Cuadro 17.** Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche sobre la composición bromatológicas del lactosuero.

| Variable <sup>†</sup>         | FA (%) <sup>‡</sup>       |                           |                           |                           |                           | P-value |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
|                               | 0                         | 5                         | 10                        | 15                        | 20                        |         |
| Agua (%)                      | 92.38±0.34 <sup>a</sup>   | 89.10±0.08 <sup>b</sup>   | 85.29±0.14 <sup>c</sup>   | 82.54±0.34 <sup>d</sup>   | 78.91±0.39 <sup>e</sup>   | 0.000   |
| ST (%)                        | 7.62±0.34 <sup>a</sup>    | 10.90±0.08 <sup>b</sup>   | 14.71±0.14 <sup>c</sup>   | 17.46±0.34 <sup>d</sup>   | 21.09±0.39 <sup>e</sup>   | 0.000   |
| SNG (%)                       | 7.07±0.22 <sup>e</sup>    | 10.79±0.11 <sup>d</sup>   | 14.63±0.23 <sup>c</sup>   | 17.41±0.28 <sup>b</sup>   | 21.04±0.32 <sup>a</sup>   | 0.000   |
| Grasa (%)                     | 0.55±0.07 <sup>a</sup>    | 0.13±0.04 <sup>a</sup>    | 0.10±0.07 <sup>a</sup>    | 0.05±0.00 <sup>a</sup>    | 0.05±0.00 <sup>a</sup>    | 0.003   |
| Proteína (%)                  | 0.79±0.10 <sup>a</sup>    | 0.74±0.09 <sup>a</sup>    | 0.66±0.17 <sup>a</sup>    | 0.66±0.17 <sup>a</sup>    | 0.70±0.00 <sup>a</sup>    | 0.444   |
| Lactosa (%)                   | 4.01±0.09 <sup>e</sup>    | 6.12±0.08 <sup>d</sup>    | 8.28±0.13 <sup>c</sup>    | 9.85±0.17 <sup>b</sup>    | 11.88±0.21 <sup>a</sup>   | 0.000   |
| Sales (%)                     | 0.62±0.03 <sup>a</sup>    | 0.94±0.02 <sup>b</sup>    | 1.30±0.05 <sup>c</sup>    | 1.56±0.03 <sup>d</sup>    | 1.90±0.03 <sup>e</sup>    | 0.000   |
| Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) | 1024.43±0.67 <sup>e</sup> | 1036.33±0.87 <sup>d</sup> | 1049.66±2.25 <sup>c</sup> | 1060.32±1.09 <sup>b</sup> | 1073.24±1.38 <sup>a</sup> | 0.000   |
| PC (°C)                       | -0.44±0.01 <sup>a</sup>   | -0.70±0.00 <sup>b</sup>   | -0.99±0.02 <sup>c</sup>   | -1.22±0.03 <sup>d</sup>   | -1.63±0.17 <sup>e</sup>   | 0.000   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

<sup>‡</sup>SNG: Solidos no grasos; PC: Punto de congelación.

<sup>a-e</sup> Superíndices en filas con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

El agua se ve afectada a un mayor porcentaje de ST y SNG que concuerda con el estudio de Santiago García *et al.* (2021) en donde al incrementar las concentraciones de fructanos al yogur, aumentaba esta variable. Una mayor concentración de los SNG afecta la densidad del lactosuero ya que se está incrementando la masa en el volumen del lactosuero, por lo que una modificación en esta propiedad es de esperarse. La lactosa se afecta debido a la presencia de los FA, ya que los FA en su mayoría son fructosas (Arrizon *et al.*, 2006; Chacón-Villalobos,

2006). Santiago García *et al.* (2021) mencionaron que las moléculas de los fructanos pueden formar parte de la estructura proteica del queso formando caseínas complejas, brindando mayor estabilidad a las proteínas, consiguiendo afectar la lectura de estas al aumentar de forma ligera su cantidad; sin embargo, en el lactosuero la interacción que se da entre los FA con las  $\beta$ -lactoglobulinas (Reza *et al.*, 2015) no es tan pronunciada como para modificar el valor de la proteína presente en el lactosuero. La grasa en la leche es una emulsión aceite-agua (Villegas de Gante, 2012) pudiendo ser el mismo caso que el lactosuero, al añadir las concentraciones de FA, las gotas de grasa podrían tener una mayor dispersión en la solución continua, obteniendo una disminución de la grasa conforme se incrementan los FA en el medio. El contenido de sales se modificó debido a que los FA utilizados presentan 11 % de calcio por cada 100 g de producto. Estos resultados, evidenciaron que las moléculas de FA llegan a estar hasta la solución verdadera, lactosuero, cuando éstos se adicionaron en la leche para elaborar el queso panela.

## **6.4 Efecto de los Fructanos de Agave en la Fisicoquímica del Requesón**

### **6.4.1 Rendimiento y pH**

El efecto de los FA aplicados en leche sobre el rendimiento y pH del requesón es mostrado en el Cuadro 18. El rendimiento no mostró diferencia ( $p>0.05$ ) entre las concentraciones de FA, mientras que en el pH si se observó una diferencia ( $p<0.05$ ). El pH fue mayor en 0 % y menor en 15 % de FA.

Prazeres *et al.* (2012) indicaron que la industria quesera produce una gran cantidad de suero, contiendo nutrientes importantes como la proteína en una concentración de 0.06-1.1 %, misma que puede ser aprovechada para la obtención del requesón. Sulieman *et al.* (2012) mencionaron que el rendimiento del queso ricotta elaborado con lactosuero es de 7 %; por otra parte, Salvatore *et al.* (2014) señalaron que el rendimiento del ricotta es de baja eficiencia y ronda los 5 y 6 %, dichos resultados se aproximan a los rendimientos obtenidos en el presente estudio.

**Cuadro 18.** Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche en el rendimiento y pH del requesón.

| FA (%) <sup>†</sup> | Rendimiento (%) | pH                      |
|---------------------|-----------------|-------------------------|
| 0                   | 5.73±0.02       | 5.70±0.09 <sup>a</sup>  |
| 5                   | 5.87±0.74       | 5.62±0.13 <sup>ab</sup> |
| 10                  | 6.21±0.05       | 5.58±0.10 <sup>ab</sup> |
| 15                  | 5.75±0.14       | 5.48±0.10 <sup>b</sup>  |
| 20                  | 5.97±0.42       | 5.52±0.08 <sup>b</sup>  |
| P-value             | 0.790           | 0.007                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>a-b</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Baltahazar *et al.* (2016) observaron en tres formulaciones de yogurt de leche de cabra con fructanos que después de 21 días, el pH se mantuvo estable respecto al control, adjudicando sus resultados a un efecto de bloqueo de las caseínas. Así mismo, Santiago García *et al.* (2021) indicaron que los FA no modifican el pH en yogurt a diferentes concentraciones de FA. Lo descrito por los autores difiere con los resultados obtenidos de pH en esta investigación con requesón; esta contradicción puede deberse a los grupos funcionales (aldehídos) de los FA (pentosas), los cuales pueden disminuir el pH del medio donde se encuentren. La presencia de FA en el requesón es evidenciada en el Cuadro 21, justificando el resultado del pH.

#### 6.4.2 4.4.2 Color

El color del requesón resultó afectado ( $p < 0.05$ ) por los FA (Cuadro 19) usados en leche para elaborar el queso panela hasta la obtención del requesón. La  $L^*$  decrece conforme se incrementaron los FA; esto indicó un pardeamiento en el requesón, lo cual se evidencia al obtener un IC que va en aumento a mayor concentración de FA. La  $a^*$  mostró una decoloración de la tonalidad verde hacia neutro, aunado al incremento de FA. La  $b^*$  presentó un aumento progresivo en la tonalidad amarilla conforme se elevó la concentración de FA. El ángulo Hue, saturación y  $\Delta CT$  se modificaron cuando los FA incrementaron en la leche para elaborar el queso hasta obtener el requesón.

**Cuadro 19.** Efecto de la concentración de fructanos de agave agregados en leche en el color de requesón.

| FA (%) <sup>†</sup> | Color <sup>‡</sup>       |                          |                         |                          |                          |                          |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                     | L*                       | a*                       | b*                      | C                        | Hue                      | IC                       | ΔCT                      |
| 0                   | 94.80±0.70 <sup>a</sup>  | -2.87±0.43 <sup>d</sup>  | 12.08±1.61 <sup>b</sup> | 12.42±1.67 <sup>b</sup>  | 103.34±0.30 <sup>a</sup> | 11.06±1.61 <sup>c</sup>  | 8.57±1.69 <sup>b</sup>   |
| 5                   | 93.23±1.01 <sup>ab</sup> | -2.13±0.07 <sup>c</sup>  | 12.22±1.70 <sup>b</sup> | 12.40±1.69 <sup>b</sup>  | 100.00±1.07 <sup>b</sup> | 12.04±2.11 <sup>c</sup>  | 10.22±1.22 <sup>ab</sup> |
| 10                  | 91.38±1.19 <sup>b</sup>  | -1.79±0.18 <sup>bc</sup> | 12.53±0.42 <sup>b</sup> | 12.67±0.41 <sup>b</sup>  | 98.16±1.10 <sup>c</sup>  | 12.93±0.51 <sup>bc</sup> | 11.69±1.82 <sup>a</sup>  |
| 15                  | 89.36±2.70 <sup>c</sup>  | -1.55±0.27 <sup>b</sup>  | 13.30±0.74 <sup>b</sup> | 13.39±0.77 <sup>ab</sup> | 96.64±0.81 <sup>d</sup>  | 14.42±0.24 <sup>b</sup>  | 8.06±1.27 <sup>b</sup>   |
| 20                  | 87.68±1.49 <sup>c</sup>  | -0.95±0.18 <sup>a</sup>  | 15.27±0.54 <sup>a</sup> | 15.30±0.56 <sup>a</sup>  | 93.56±0.53 <sup>e</sup>  | 17.86±0.25 <sup>a</sup>  | 11.60±1.36 <sup>a</sup>  |
| P-value             | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                   | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                    | 0.000                    |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0 % de FA en leche; 5: 5 % de FA en leche; 10: 10 % de FA en leche; 15: 15 % de FA en leche; 20: 20 % de FA en leche.

<sup>‡</sup>L\*: Luminosidad; a\*: Tendencia al rojo; b\*:Tendencia al amarillo-verde; C: Chroma, índice de saturación; Hue: Angulo Hue; IC: Índice de coloración; ΔCT: Cambio de color total.

<sup>a-e</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Mileriene *et al.* (2020) determinaron que L\* del requesón en un valor de 87, tonalidades verde a\* -2.40 y amarillas b\* 17, siendo similares a la coloración del requesón en el presente estudio. Palatnik *et al.* (2016) indicaron que L\* disminuye y b\* aumenta cuando se presenta una mayor concentración de FA; sin embargo, en a\*, esos autores obtuvieron un ligero incremento hacia a\*, difiriendo a la tonalidad verde obtenida en el requesón.

### 6.4.3 Composición Bromatológica

En el Cuadro 20 se presenta la composición bromatológica del requesón debido a la adición de FA a diferentes niveles en la leche. El contenido de proteína, grasa, humedad y carbohidratos mostraron diferencias ( $p < 0.05$ ), mientras que la ceniza se mantuvo constante ( $p > 0.05$ ). El porcentaje de proteína y humedad disminuyeron entre las concentraciones de los FA, siendo mayor en 0 % y menor en 20 %. El porcentaje de grasa y ceniza fueron mayores a 0 % y menor a 15 % de FA. Los carbohidratos aumentaron en 15 y 20 % de FA.

**Cuadro 20.** Efecto de la concentración de fructanos de agave incorporados en leche sobre la composición bromatológica del requesón.

| FA (%) <sup>†</sup> | Variables <sup>‡</sup> (%) |                          |                         |                         |                         |                        |                         |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
|                     | Humedad                    | PCBS                     | PCBH                    | GCBS                    | GCBH                    | Ceniza                 | Carb                    |
| 0                   | 81.21±0.50 <sup>a</sup>    | 44.57±3.08 <sup>a</sup>  | 8.44±0.49 <sup>a</sup>  | 12.10±1.24 <sup>a</sup> | 2.30±0.28 <sup>ab</sup> | 1.74±0.10 <sup>a</sup> | 6.42±0.65 <sup>a</sup>  |
| 5                   | 75.35±0.47 <sup>b</sup>    | 34.32±3.15 <sup>b</sup>  | 8.53±0.93 <sup>a</sup>  | 9.62±1.93 <sup>ab</sup> | 2.40±0.53 <sup>a</sup>  | 1.61±0.09 <sup>a</sup> | 12.27±1.01 <sup>b</sup> |
| 10                  | 72.23±0.74 <sup>c</sup>    | 26.05±1.51 <sup>c</sup>  | 7.22±0.49 <sup>ab</sup> | 6.09±2.31 <sup>bc</sup> | 1.70±0.68 <sup>ab</sup> | 1.57±0.37 <sup>a</sup> | 17.17±0.40 <sup>c</sup> |
| 15                  | 69.01±1.46 <sup>d</sup>    | 22.44±0.78 <sup>cd</sup> | 7.09±0.55 <sup>ab</sup> | 3.73±1.31 <sup>c</sup>  | 1.19±0.46 <sup>b</sup>  | 1.50±0.08 <sup>a</sup> | 21.76±0.60 <sup>d</sup> |
| 20                  | 64.06±2.58 <sup>e</sup>    | 18.55±1.72 <sup>d</sup>  | 6.55±0.84 <sup>b</sup>  | 3.84±2.00 <sup>c</sup>  | 1.37±0.75 <sup>ab</sup> | 1.54±0.22 <sup>a</sup> | 25.85±0.74 <sup>e</sup> |
| P-value             | 0.000                      | 0.000                    | 0.004                   | 0.000                   | 0.021                   | 0.285                  | 0.000                   |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

<sup>‡</sup>PCBS: Proteína cruda base seca; PCBH: Proteína cruda base húmeda; GCBS: Grasa cruda base seca; GCBH: Grasa cruda base húmeda; Carb: Carbohidratos.

<sup>a-e</sup> Superíndices en medias de la columna con diferente literal muestran diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

El requesón posee una humedad de 51 %, grasa 21 %, proteína 22 %, ceniza 0.79 %, lactosa 1.68 %, y un pH de 4.63 (Mileriene *et al.*, 2020); esos valores difirieron con el producto obtenido en este estudio, pudiéndose deber a la inclusión de los FA y al tipo de leche. Los fructanos con un grado de polimerización mayor a 10 tienen la capacidad de formar geles en sistemas con alto contenido de agua adquiriendo la capacidad de retención de agua (Reza *et al.*, 2015 ; Imeson, 2010), esperando mayor contenido de humedad a concentraciones elevadas de FA, situación que difiere en el presente estudio al observarse una reducción de la humedad conforme se añade el tratamiento, pudiendo ser consecuencia en la interacción de las proteínas globulares con los FA (Shoab *et al.*, 2016). La disminución de la proteína pudo deberse a los agregados de FA a la estructura proteica (Santiago García *et al.*, 2021) del requesón en la coagulación del lactosuero, ya que al interactuar con las proteínas globulares ocupan más espacios intersticios y desplazan las proteínas que al precipitar, el contenido total de proteína se ve reducido. Palatnik *et al.* (2016) obtuvieron en queso fresco bajo en grasa utilizando FA al 5 %, un ligero aumento en el porcentaje de proteína, difiriendo con el presente estudio; sin embargo, el comportamiento en grasa

que obtuvieron dichos autores es similar al del presente estudio, ya que la grasa disminuyó cuando se adicionaron los FA. El contenido de ceniza puede variar debido a la presencia de algunos minerales en la membrana del glóbulo de grasa (Fox y Mcsweeney, 1998), que al disminuir en cada tratamiento altera el porcentaje de ceniza; sin embargo, en el presente estudio la ceniza se mantiene estable pudiendo ser por la presencia de calcio en los FA. Los FA se mantienen en la estructura del requesón como se muestra en el aumento de carbohidratos de las concentraciones 5, 10, 15 y 20 % de FA.

#### 6.4.4 Fructanos de Agave en el Requesón

En el Cuadro 21 se representa la determinación de FA en el requesón. La presencia de FA en el requesón difirió ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Se detectó la presencia de FA en las cuatro concentraciones utilizadas, siendo menor en 5 % y mayor en 15 % FA.

**Cuadro 21.** Contenido de fructanos de agave en el requesón.

| %FA <sup>†</sup> | mg/100g de FA             |
|------------------|---------------------------|
| 5                | 99.74±3.56 <sup>b</sup>   |
| 10               | 99.74±3.56 <sup>b</sup>   |
| 15               | 310.10±49.80 <sup>a</sup> |
| 20               | 295.00±19.00 <sup>a</sup> |
| P-value          | 0.003                     |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

<sup>a-b</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

La estructura ramificada de los FA contribuye a su retención en la estructura de los productos lácteos (Espinosa *et al.*, 2021). También se ha mencionado que los fructanos tienen la capacidad de formar microcristales que interactúan entre sí formando pequeños agregados que se aglomeran en una red de gel y se adhieren a la estructura alimenticia (Hébert *et al.*, 1998) y se ha demostrado la transferencia de los FA al lactosuero después del procesado del queso panela, debido a que las  $\beta$ -

lactoglobulinas interaccionan con los fructanos (Reza et al., 2015). Esto puede indicar que los FA son capaces de acoplarse a la estructura del requesón como se muestra en el presente estudio.

#### 6.4.5 Capacidad Antioxidante

El efecto de la concentración de FA adicionados en leche sobre la capacidad antioxidante del requesón es mostrado en el Cuadro 22. El porcentaje de inhibición presentó diferencia ( $p < 0.05$ ) en el requesón, resultando menor en 0% y mayor en 20 % de FA.

**Cuadro 22.** Efecto de la concentración de fructanos de agave en leche sobre la capacidad antioxidante del requesón.

| FA (%) <sup>†</sup> | ABTS<br>Inhibición (%)   | uM Trolox<br>equivalentes  |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                   | 9.72±1.14 <sup>c</sup>   | 234.11±26.74 <sup>c</sup>  |
| 5                   | 15.58±1.10 <sup>ab</sup> | 371.33±25.75 <sup>ab</sup> |
| 10                  | 19.20±0.20 <sup>a</sup>  | 456.33±4.71 <sup>a</sup>   |
| 15                  | 12.38±0.80 <sup>bc</sup> | 296.33±18.86 <sup>bc</sup> |
| 20                  | 19.35±2.01 <sup>a</sup>  | 459.67±47.14 <sup>a</sup>  |
| P-value             | 0.000                    | 0.000                      |

<sup>†</sup>FA: Fructanos de agave. 0: 0% de FA en leche; 5: 5% de FA en leche; 10: 10% de FA en leche; 15: 15% de FA en leche; 20: 20% de FA en leche.

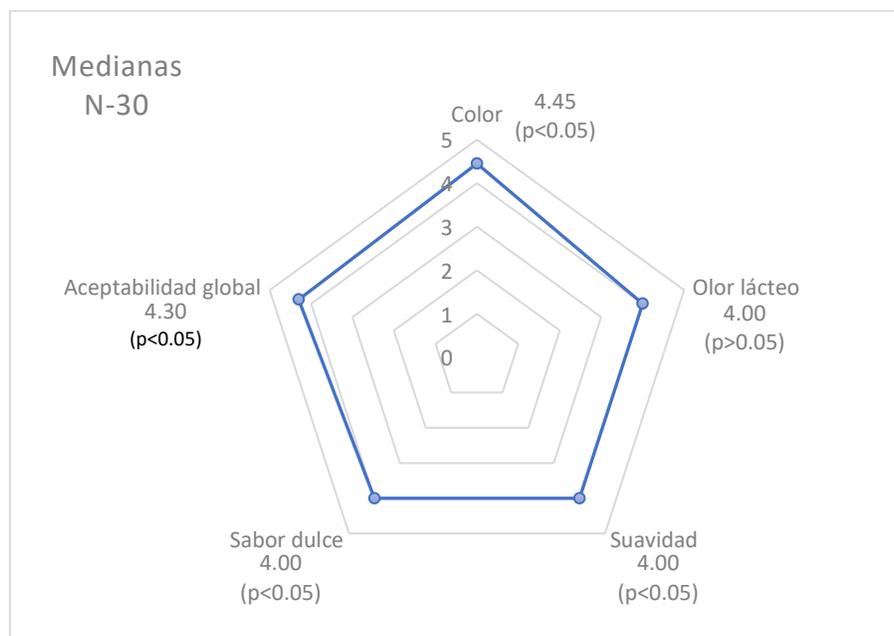
<sup>a-c</sup> Superíndices en columna con diferente literal muestran una diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Ramírez et al. (2022) determinaron valores de CA en el requesón, por medio de ABTS de hasta 153 uM Trolox equivalentes, resultando mayor en el requesón del presente estudio, sobre todo en los que tienen tratamiento con FA. La capacidad antioxidante en suero dulce obtenido del procesamiento del queso panela tiene un porcentaje de inhibición de hasta 26 % (del Campo *et al.*, 2019), esta propiedad pudiera conservarse en el procesamiento del lactosuero para producir requesón, aunque con menor CA debido a las altas temperaturas usadas en el proceso, como se muestra en el presente estudio, dicho esto, el requesón pudiera contener péptidos bioactivos con

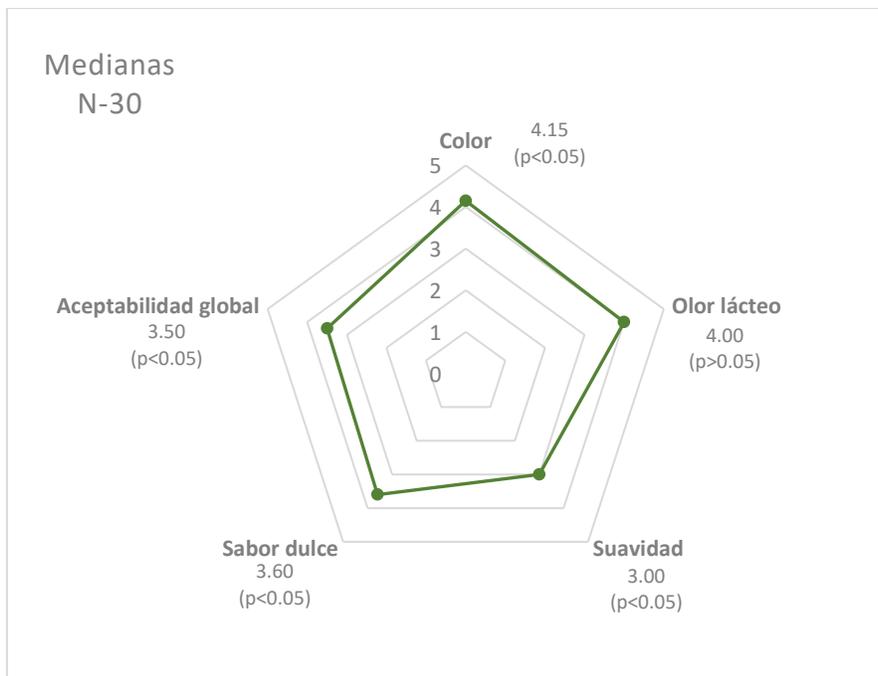
propiedades antioxidantes, de acuerdo con (Nasciminto *et al.*, 2023; Parra *et al.*, 2020) quienes evaluaron fracciones nitrogenadas de queso fresco con adición de probióticos evidenciando un aumento de CA, pudiendo explicar en parte la variación de CA debido al cambio de proteína entre los tratamientos del requesón analizados, por otra parte, el incremento de la CA que se observa en los tratamientos a diferencia del control, también se puede atribuir a los FA, ya que de acuerdo con Franco *et al.* (2018), los FA pueden tener potencial antioxidante. Esto puede explicar el aumento de la CA de los tratamientos con FA.

#### 6.4.6 Evaluación Sensorial

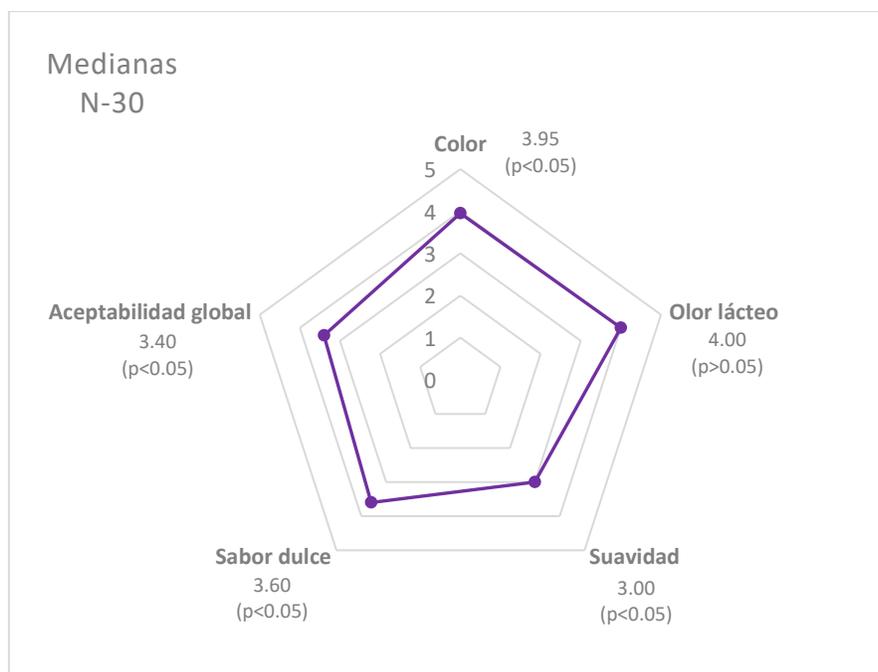
El efecto de los FA en leche hasta obtener el requesón sobre el grado de satisfacción de sus atributos sensoriales es mostrado en las Figuras 5 a 9. Los atributos de color, suavidad, sabor dulce y aceptabilidad global difirieron ( $p < 0.05$ ) en el requesón por efecto de los FA; el atributo olor lácteo se mantuvo sin cambios ( $p > 0.05$ ). El color del requesón resultó de mayor agrado en 0 % de FA (Figura 5) y menor agrado en 20 % de FA (Figura 6). La suavidad es de más agrado en 0 % de FA y agrado intermedio en todos los niveles de FA. El sabor dulce y aceptabilidad global resultaron de mayor agrado en 0 % de FA y de menor agrado en 15 % de FA.



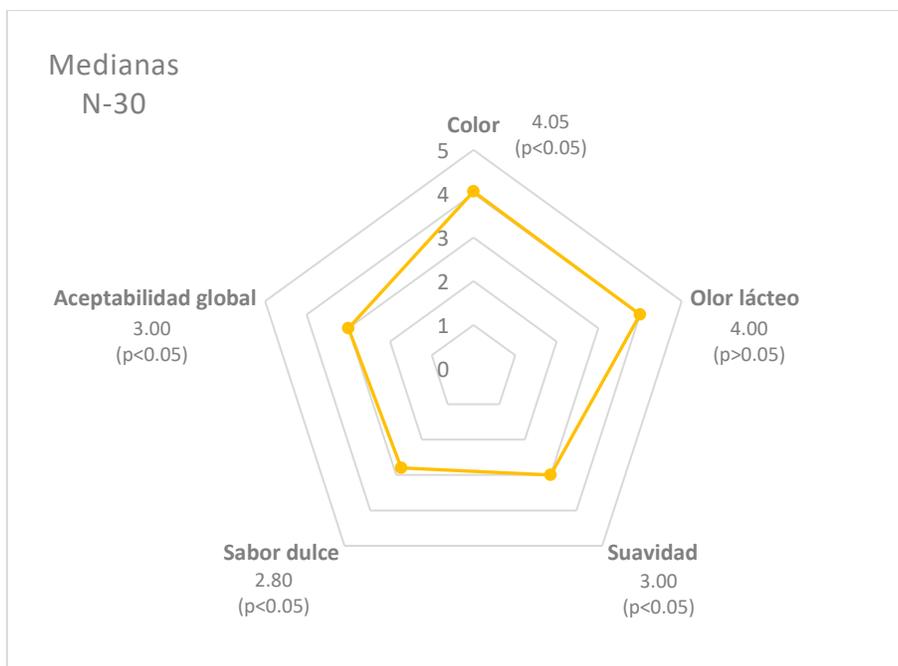
**Figura 6.** Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón en 0 % de fructanos de agave en leche.



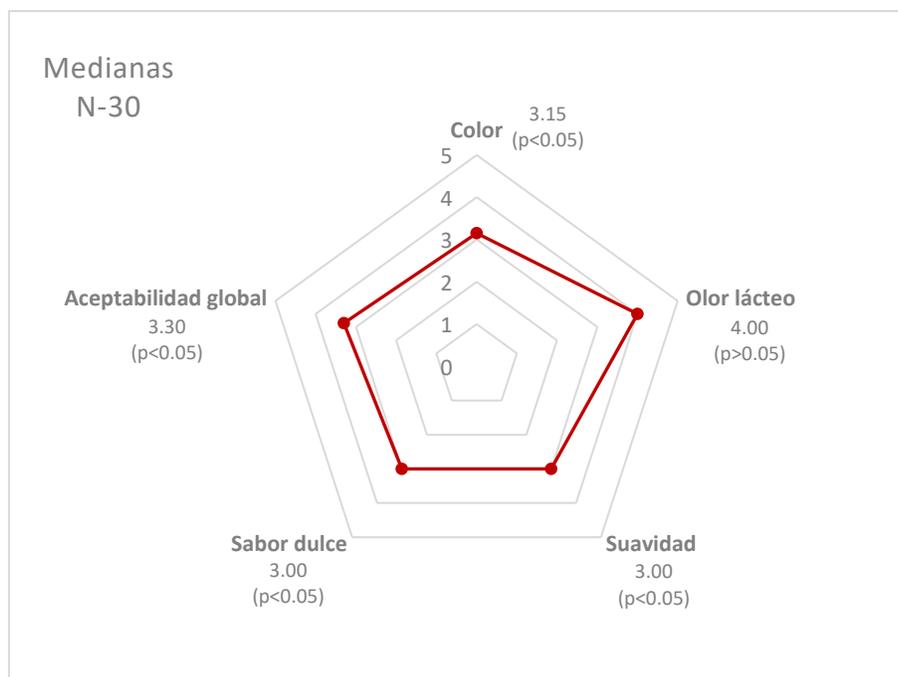
**Figura 7.** Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón con 5 % de fructanos de agave en leche.



**Figura 8.** Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 10 % de fructanos de agave en leche.



**Figura 9.** Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 15 % de fructanos de agave en leche.



**Figura 10.** Grado de satisfacción de los atributos sensoriales del requesón al 20 % fructanos de agave en leche.

Palatnik *et al.* (2016) en su investigación de quesos reducidos en grasa con FA concluyeron que los atributos sensoriales color, sabor, textura, dulzor y acidez no se afectan por la adición de FA, difiriendo con atributos relacionados al presente estudio. La variación del gusto de los atributos analizados puede deberse al ligero cambio en el pH de las muestras y al efecto suavizante que los FA generan en la estructura del alimento (Salvatore *et al.* 2013). Valle *et al.*, (2019) no encontraron diferencia en la aceptabilidad global obtenida, mencionando que el utilizar bajas concentraciones de inulina no afectan las características sensoriales, pudiendo ser el incremento de FA el motivo de la diferencia encontrada en el presente estudio.

## 7. CONCLUSIONES

En la leche con FA, el pH se mantuvo estable (6.6). El color tuvo un ligero pardeamiento en la muestra que no afecta de forma negativa. Con los fructanos, el agua, la grasa y punto de congelación disminuyeron en niveles altos del tratamiento, mientras que los sólidos no grasos, densidad y sales aumentaron.

El rendimiento del queso panela incrementó en 20 % de FA usados en leche. La L\* disminuyó al incrementar los niveles de fructanos, al igual que los carbohidratos, pero la proteína, grasa y ceniza disminuyeron. La presencia de FA se evidenció, no afectando la digestibilidad gástrica, pero si la capacidad antioxidante al incrementa. La dureza, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia disminuyeron con los fructanos. La aceptabilidad global sensorial fue elevada.

Los FA en lactosuero no modifican el rendimiento ni el pH, pero sí incrementan los °Brix. El color no cambia, mientras que el agua y grasa disminuyen. Los SNG, densidad, PC y sales aumentaron.

El rendimiento del requesón no tuvo cambios al utilizar lactosuero con FA. El pH disminuye. El color presenta un oscurecimiento al incrementar los FA. La proteína, grasa y humedad disminuyen y los carbohidratos aumentan. Los FA están presentes en la estructura alimenticia del requesón. La capacidad antioxidante mejora con los FA usados desde la elaboración del queso. También, los atributos sensoriales tuvieron mayor agrado a menor concentración de FA.

En conclusión, los fructanos de agave añadidos a leche de vaca se acoplan a la estructura del queso panela quedando parte en el lactosuero e integrándose a la estructura alimenticia del requesón, pudiendo formar parte de los productos lácteos y beneficiar sus características fisicoquímicas, digestivas, nutrimentales y organolépticas.

## **8. RECOMENDACIONES**

La producción a un grado industrial usando los fructanos de agave en leche se recomienda escalar y demostrar el efecto benéfico tanto en los productos lácteos como en la industria.

En una futura investigación es recomendable hacer una comparación del grado de polimerización de FA comerciales y extracciones directas de la planta, para conocer el grado de reducción del polisacárido debido al procesamiento.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, W., & Rashid, S. (2017). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in food science and nutrition*, 1-12.
- Alves, L. L., Richards, N. S., Mattanna, P., Andrade, D. F., Rezer, A. P., Milani, L. I., . . . Faria, J. A. (2012). Cream cheese as a symbiotic food carrier using *Bifidobacterium animalis* Bb-12 and *Lactobacillus acidophilus* La-5 and inulin. *Dairy Technology*, Vol. 63-69.
- AOAC. (2016). *Official Methods of Analysis*.
- Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A., & Monsan, P. (2010). Comparasion of the watersoluble carbohydrate composition and fructan structures of Agave tequilana plants of different ages. *Food Chemistry*, 122, 123-130.
- Asensio Grau, A., Peinado, I., Heredia, A., & Andrés, A. (2019). In vitro study of cheese digestion: Efecto of type of cheese and intestinal conditions on macronutrients digestibility. *Food science and technology*, 1-7.
- Association of official analytical chemist 2016. (01 de 06 de 2023). AOAC. Obtenido de <https://www.aoac.org/>
- Avila Fernández, A., Galicia Lagunas, N., Rodríguez Alegría, M. E., Olivera, C., & López Munguía, A. (2011). Production of functional oligosaccharides through limited acid hydrolysis of agave fructans. *Food Chemistry*, 129, 380-386.
- Balthazar, C. F., Conote Júnior, C. A., Moraes, J., Costa, M. P., Raices, R. S., Frano, R. M., . . . Silva, A. C. (2016). Physicochemical evaluation of sheep milk yogurts containing diferent levels of inulin. *Elsevier*, 4160-4168.
- Banco de Información Económica. (27 de octubre de 2023). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0#D644629>
- Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2012). *Química de los alimentos*. ACRIBIA.
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (10 de 04 de 2022). *CIATEJ*. Obtenido de CIATEJ: <https://ciatej.mx/>
- Chamorro, M., & Losada, M. (2002). *El análisis sensorial de los quesos*. Madrid, España.: Mundi-Prensa.
- Claude Roudot, A. (2004). *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. Zaragoza, España: A.C. Roudot.

- CODEX CXS 284-1971. (2018). *CODEX ALIMENTARIUS*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/tr/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B284-1971%252FCXS\_284s.pdf
- Crispin Isidoro, G., Espinosa Andrews, C., Alvarez Ramirez, J., & Vernon Carter, E. (2015). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. *Food Science and technology*, 62, 438-444.
- Cruz, A. G., Buriti, F. C., Souza, C. H., Faria, J. A., & Saad, S. M. (2009). Probiotic cheese. *Trends in Food Science & Technology*, 20 344-354.
- Cuevas González, P., Heredia Castro, P., Méndez Romero, J., Hernández Mendoza, A., Reyes Días, R., Vallejo Cordoba, B., & González Córdoba, A. (2017). Artesanal sonora cheese (cocido cheese): an exploration of its production process, chemical composition and microbiological quality. *Journal of the science of food and agriculture*, 13, 4459-4466.
- de Wit, J. (2001). *Lecturer's Handbook on Whet and whey Products*. Brussels; Belgium: European Whet Products Association.
- do Nascimento Rangel, A., Villar de Araújo Bezzerra, D., Cavalcanti Sales, D., Oliveira Moura Araújo, E., Medeiros de Lucena, L., Figueiredo Porto, A., & Ferreria Lacerda, A. (2023). An overview of the occurrence of bioactive peptides in different types of cheeses. *Foods*, 12(23), 4261.
- Espinosa Andrews, H., Urías Silvas, J. E., & Morales Hernández, N. (2021). The role of agave fructans in health and food applications. *Trends in food science & technology*, 114, 585-598.
- FAO. (marzo de 2015). *Producción y Sanidad Animal*. Obtenido de [https://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](https://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)
- FAO. (2022). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/dairy-production-products/resources/glosario/es/?index=q>
- Fox, P. F. (1998). *Dairy chemistry and biochemistry*. Londres: Blackie Academic &

Professional.

- Franco Robles, E., Ramírez Emiliano, J., & López, M. (2018). Agave fructans and oligofructose decrease oxidative stress in brain regions involved in learning and memory of overweight mice. *Natural product reaserch*, 1-4.
- García Aguirre, M., Sáenz Álvaro, V. A., Rodríguez Soto, M. A., Vicente Magueyal, F. J., Botello Álvarez, E., Jimenez Islas, H., . . . Navarrete Bolaños, J. L. (2011). Strategy for biotechnological process design applied to the enzymatic hydrolysis of agave fructo-oligosaccharides to obtain fructose rich syrups. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 129, 380-386.
- García, P. A., Mojica, E. M., Martínez, F. M., Cauich, J. G., López, M. G., & Vieyra, M. I. (2021). Fructans (agavins) from *Agave angustifolia* and *Agave potatorum* as fat replacement in yogurt: Effects on physicochemical, rheological and sensory properties. *Food science technology*, vol 140, 1/11.
- Ghaly, A. E., & Kmal, M. A. (2004). Submerged yeast fermentation of acid cheese whet for protein production and pollution potential reduction. *Water Res.*, 38 (3), 642-646.
- Gilbowski, P., & Gilbowska, A. (2009). Effect of calcium chloride on rheological properties and structure of inulin-whey protein gels. *Biomedical and biological engineering*, 288-292.
- Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Yang, S., & Zhou, M. (2019). Ultra-Processed diets cause excess calorie itake and weight gain: An inpatient randomized controlled trail of ad libitum food itake. *WILY*, 30, 67-77.
- Hébette, C. L., Delcour, J. A., Koch, M. H., Booten, K., Kleppinger, R., & Mischenkod, N. (1998). Complex melting of semi-crystalline chicory (*Cichorium intibus* L.) root inulin. *Carbohydrate Reaserch*, 310, 65e75.
- Heredia, M. R. (2016). Alimentos funcionales. *Nutrición*, 12-14.
- Imeson, A. (2010). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Oxford, United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Jonnala, B. R., Mcsweeney, P. L., Cotter, P. D., & Sheehan, J. J. (2021). Recreating pink defect in cheese with different strains. *Dairy Technology*, 74; 700-708.
- Karimi Reza, M. (2015). Application of inulin in cheese as prebiotic and fat replacer.

*Elsevier.*

- Lara-Fiallos, M. L.-G.-R.-M.-C. (2017). Avances en la producción de inulina. *Tecnología química*, 252-366.
- Madrigal, L., & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(4), 387-396.
- Martín del Campo, S. T., Martínez Basilio, P. C., Sepúlveda Álvares, J. C., Gutiérrez Melchor, S. E., Galindo Peña, K. D., Lara Domínguez, A. K., & Cardador Martínez, A. (2019). Production of antioxidant and ACEI peptides from cheese whey discarded from mexican white cheese production. *Antioxidants*, 8, 158.
- Martínez Steele, E., Galastri Baraldi, L., da Costa Louzada, M. L., Moubarac, J. C., Mozaffarin, D., & Monteiro, C. A. (2016). Ultra-processed foods and added sugars in the US diet: evidence from nationally representative cross-sectional study. *BMJ, Open* 2016;6:e009892.
- Mellado-Mojica, E., & López, M. G. (2012). Fructan metabolism in *A. tequilana* weber blue bariety along its development cycle in the field. *Journal of agricultural and food chemistry*, 11704-11713.
- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., & Costell, E. (2011). Inulin as texture modifier in dairy products. *Elsevier*, 1881-1890.
- Mileriene, J., Serniene, L., Kondrotiene, K., Lauciene, L., Kaseiene, N., Sekmikiene, D., . . . Malakauskas, M. (2020). Quality and nutritional characteristics of traditional curd cheese enriched with termo-coagulated acid whey protein and indigenous lactococcus lactis strain. *International Journal of Food Science Technology*, 1-11.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Carriere, F., . . . Dupont, D. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food an international consensus. *Food & Function*, 5 (6) 1113-1124.
- Minolta, Konica. (2023). Obtenido de <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.
- Monteiro, C. A., Moubarac, J. C., Cannon, S. W., & Popkin, B. (2013). Ultra-processed products are becoming dominant in the global food system. *Wiley* , vol. 14 21-

28.

- Morales, A. A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. ACRIBIA.
- Nava, N., Morales, M. A., Rodríguez, R. R., & Cristóbal N. Aguilar. (2014). Agave biotechnology: an overview. *Critical reviews in biotechnology*, 1-14.
- Nguyen, T., Bhandari, B., Cichero, J., & Prakash, S. (2015). Gastrointestinal digestion of dairy and soy proteins in infant formulas: an in vitro study. *Food Res.*, (76) 348-358.
- NOM-155-SCFI-2012. (s.f.). *NOMRAS OFICIALES MEXICANAS*. Obtenido de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>.
- NOM-243-SSA1-2010. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. Obtenido de <http://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>
- Palatnik, D. R., Herrera, P. A., Rinaldoni, A. N., Basurto, R. I., & Campderrós, M. E. (2016). Development of reduced-fat cheeses with the addition of agave fructans. *Dairy Technology*, 70, 212-219.
- Parra Ocampo, K., Martín del Campo, S., Montejano Gaitán, J., Zárraga Alcázar, R., & Carador Martínez, A. (2020). Evaluation of biological, textural, and physicochemical parameters of panela cheese added with probiotics. *Foods*, 1-14.
- Paseephol, T., Small, D. M., & Sherkat, F. (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of texture studies*, 39,617-634.
- Pellegrini, R. R., Proteggente, A., Yang, M., & Rice, E. C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 1231-1237.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. (2005). *Antioxidantes de los alimentos*. España: Acribia, S. A.
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Cheese whey management. *Journal of Environmental Management*, vol 110, 48-68.

- Ramírez López, C., & Vélez Ruiz, J. F. (2018). Effect of Goat and Cow Milk Ratios on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of a Fresh Panela Cheese. *Journal of food science*, 83, 1862-1870.
- Ramirez Rivas, I. K., Gutiérrez Méndez, N., Rentería Monterrubio, A. L., Sánchez Vega, R., Tirado Gallegos, J. M., Santellano Estrada, E., . . . Chavez Martínez, A. (2022). Effect of packaging and salt content and type on antioxidant and ACE-inhibitory activities in requeson cheese. *MDPI*, 1264-1280.
- Roberfroidl, M., & Slavin, J. (2010). Nondigestible Oligosaccharides. *Food Science and Nutrition*, 461-480.
- Robninson, R., & Wilbey, R. (2010). *Fabricación de queso*. ACRIBIA.
- SAGARPA Boletín de Leche. (Marzo de 2019). *SIAP*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Bolet%C3%ADn%20de%20Leche%20enero-marzo%202019.pdf
- Salvatore , E., Pes, M., Falchi, G., Pagnozzi, D., Furesi, S., Fiori, M., . . . Pirisi, A. (2014). Effecto of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese. *Dairy Scince*, 97, 4686-4694.
- Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., & Pirisi, A. (2013). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *International Dairy Journal*, 34, 1-5.
- Santiago García, P. A., Mellado Mojica, E., León Martínez, F., Dzul Cauich, J. G., López, M., & García Vieyra, M. I. (2021). Fructans (agavins) from *Agave agustigolia* and *Agave potatorum* as fat replacement in yogurt: Effects and physicochemical, rheological, and sensory properties. *Elsevier*, 140.
- Schmidt, D. G. (1982). Association of caseins and casein mcelle structure. *Developments of dairy chemistry*, 1, 61-68.
- Sharma Khanal, B., Bhandari, B., Prakash, S., & Bansal, N. (2020). Simulated oral processing, in vitro digestibility and sensori perception of low fat cheddar cheese containing sodium alginate. *Journal of Food Engineering*, 270, 1-8.
- Shoaib, M., Shezad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., . . . Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate polymers*, 147, 444-454.

- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance A review. *Appetite*, 51, 456-467.
- Srour, B., Fiolet, T., Sellem, L., Kesse, G. E., Méjen, C., Deschasaux, M., . . . Monterio, C. (2018). Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Santé prospective cohort. *BMJ*, BMJ 360, k322.
- Sulieman, A. M., Eljack, A. S., & Salih, Z. A. (2012). Quality evaluation of "ricotta" chese prouced at laboratory level. *Journal of food science and nutrition engineering*, 2, 108-112.
- Valle Borges, J., De Souza, J. A., Fafnani, R., Nobre Costa, G., & Sifuentes dos Santos, J. (2019). Reduced-fat Frescal sheep milk cheese with inulin: a frist report about technological aspects and sensory evaluation. *Journal of dairy research*, 86, 368-373.
- Van Loo, J., Coussement, P., de Leenheer, L., Hoebregs, H., & Smits, G. (1995). On the presence of inulin and oligodructose as natural ingredients in the western diet. *Food science and nutrition*, 525-552.
- Villegas de Gante, A. (2012). *Tecnología Quesera*. Trillas.
- Villegas de Gante, A., & Santos Moreno, A. (2011). *Manual Básico Para Elaborar Productos Lácteos*. Cd. México: trillas.
- Yousefi, M., & Jafari, S. M. (2019). Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends in food science & technology*, 88, 468-483.
- Zamora, N. S., Rizo, M. D., Garza, K. L., Romero, B. A., García, S. R., Maldonado, A. I., . . . Zamora, G. M. (2022). Efecto del aceite de orégano en las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales del queso panela. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13, 258-271.
- Zea, L. S., Uribe, J. A., & Díaz, A. M. (2012). Agave (*Agave ssp.*) and its traditional products as a source of bioactive compounds. *Current bioactive compounds*, 8, 1-15.