



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

Maestría en Ciencias en Alimentos

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, SENSORIAL
Y MICROBIOLÓGICA DE QUESO TIPO PANELA
ADICIONADO CON INULINA Y ÁCIDOS GRASOS
OMEGA-3”**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

IBQ. ZURIDEISY TERRERO JIMENEZ

DIRECTORA:

M.C ERNESTINA PAZ GAMBOA

CO-DIRECTORA INTERNO:

DRA. MARIA DE LOS ANGELES VIVAR VERA

CO-DIRECTOR EXTERNO:

DR. JOSE MANUEL JUAREZ BARRIENTOS



San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tuxtepec
Subdirección Académica

Autorización de Presentación Electrónica de Tesis

San Juan Bautista Tuxtepec, Oax., 26/enero/2022

No. de Oficio 0138

**C. ZURIDEISY TERRERO JIMENEZ
EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M13350026
P R E S E N T E**

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE EL COMITÉ TUTORIAL INTEGRADO POR LOS CC. ERNESTINA PAZ GAMBOA, MARÍA DE LOS ÁNGELES VIVAR VERA, JOSÉ MANUEL JUÁREZ BARRIENTOS, ARACELI PÉREZ SILVA Y ERASMO HERMAN Y LARA, REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO "CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, SENSORIAL Y MICROBIOLÓGICA DE QUESO TIPO PANELA ADICIONADO CON INULINA Y ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3" PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE TESIS DE ACUERDO AL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS.

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

ATENTAMENTE
*Excelencia en Educación Tecnológica
Ciencia y Técnica Presentes al Futuro*

**JULIÁN KURI MAR
SUBDIRECTOR ACADÉMICO**

ccp. Archivo
MJC/mdom*



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

**SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA**



Av. Dr. Victor Bravo Ahuja Num. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P.68350 Tuxtepec, Oaxaca
Tel. (287) 8751044 y (287) 51880 e-mail: cyd_tuxtepec@tecnm.mx | tuxtepec.tecnm.mx



2022 Flores
Ricardo
Año de Magón
PRELACER DE LA SEVELACION MEXICANA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS AUTORALES

Título	Caracterización física, química, sensorial y microbiológica de queso tipo panela adicionado con inulina y ácidos grasos omega-3.
Autor principal	Zurideisy Terrero Jimenez
Email de contacto	zurideysi@hotmail.com
Segundo actor	Ernestina Paz Gamboa
Tercer autor	María de los Angeles Vivar Vera
Registro ISBN / ISSN (cuando aplique)	

Tuxtepec, Oaxaca 14/enero/2022

Por este conducto manifiesto que es mi libre voluntad el ceder los derechos patrimoniales relativos a la obra literaria de la cual soy el autor, a favor del Tecnológico Nacional de México / Campus Tuxtepec; para que sea publicada, sin más límites que los establecidos en la Ley Federal del Derecho de Autor.

Extiendo la presente para los fines legales a que haya lugar.

Atentamente

Autor1: [Zurideisy Terrero Jimenez]

Firma

Autor2: [Ernestina Paz Gamboa]

Firma

Autor3: [María de los Ángeles Vivar Vera]

Firma

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar con vida y salud. Que a pesar de las circunstancias que pasamos por el covid-19 me ayudó a terminar la maestría.

Me ha dado tanto que estoy en deuda con él.

A mis padres, José Terrero e Isabel Jimenez por su apoyo incondicional y consejos que me han servido hasta el día de hoy y sobre todo por su gran amor hacia mí.

A mis hermanas YAZLI que me apoyaron todo este tiempo. Me dieron fuerzas para salir adelante.

A Uziel por impulsarme a estudiar y apoyarme en todo momento, por su amor incondicional que me ha demostrado.

A mis amigas que siempre me estuvieron apoyando Aurora, Zaire, Raquel, Ariana, Areli y Zara que me hicieron vivir momentos muy felices que nunca olvidare, muchas risas muchos corajes, pero son las mejores personas que he conocido.

RECONOCIMIENTO

A la **MC. Ernestina Paz Gamboa**, por las enseñanzas y el apoyo que me brindó para la realización de este proyecto, no me caben las palabras para decirle lo agradecida que estoy con usted, gracias por aceptarme en su equipo y confiar en mí, no sabe cuánto me enseñó a valerme por mí misma, gracias por todos los retos que juntas vencimos. Muchísimas gracias maestra por no rendirse conmigo.

También quiero reconocer a la **Dra. María de los Ángeles Vivar Vera**, gracias por su colaboración en el desarrollo de este trabajo, al brindarme su asesoría, consejos, experiencias y tiempo que ayudaron a mejorar esta tesis de Maestría.

Al **Dr. José Manuel Juárez Barrientos**, por el apoyo brindado, por su tiempo y exhortaciones. Muchas gracias.

A la **Dra. Araceli Pérez Silva** que nunca me ha negado su apoyo, ha reforzado mis conocimientos. Muchas gracias.

Al **Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Dra. Roselis García Carmona, Dra. Cecilia Martínez Sánchez y Dra. Iveth Gallegos Marín y Dr. Erasmo Herman y Lara** por compartir conmigo sus conocimientos y su tiempo en este proyecto, de igual manera les agradezco el haberme facilitado material, equipos de laboratorio y lugar para trabajar. Muchas gracias.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haber proporcionado el financiamiento de mis estudios de Maestría en Ciencias en Alimentos.

Al **Tecnológico Nacional de México (TecNM)** por haber proporcionado el financiamiento para la realización de este trabajo de investigación.

RESUMEN

El queso panela se consume ampliamente en México, con una producción de hasta 418,650 toneladas en 2019. Es rico en proteínas de alta calidad y bajo en grasas, pero debido a su alto contenido de humedad tiene tendencia a la sinéresis y su composición química y la textura cambian durante el almacenamiento, afectando la preferencia del consumidor. Se ha demostrado que la adición de componentes bioactivos como la inulina y ácidos grasos omega-3 (AG Ω -3) aporta propiedades funcionales y mejoran la textura en los alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas de queso tipo panela adicionado con inulina y ácidos grasos omega-3. Los quesos se elaboraron con leche estandarizada al 1.5 y 2.0% de grasa. Se adicionó inulina (1, 3 y 5%), y mezclas de AG Ω -3 (0.05, 0.25 y 0.5%) mediante ultrasonido (5 min y 186 W), sirviendo como controles quesos sin adición de inulina y AG Ω -3. Se evaluó la composición química proximal, perfil de textura, pH, sinéresis y rendimiento en quesos almacenados a $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 15 días. Posteriormente se realizó el análisis sensorial, análisis microbiológico y cuantificación de AG Ω -3. Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía y la prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$ empleando Minitab v.17. y statistica v.10. Los resultados mostraron que la adición de inulina disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el contenido de humedad de 72.72-63.14 a 66.75-54.75% con una correlación ($r = -0.50$), sinéresis de 10.93 a 6.84% ($r = -0.50$) y dureza de 7.58-3.82N a 7.50-2.26 N ($r = -0.63$); esta última se debe a que las cadenas de inulina forman microcristales cuando se mezclan con leche interactuando entre sí y formando pequeños agregados en la fase acuosa provocando una textura suave y cremosa. El contenido de AG Ω -3 aumentó significativamente el contenido de grasa de 4 a 10% aproximadamente ($r = 0.51$). El pH se mantuvo en un intervalo de 6.0-5.0 y un 2% de grasa en leche favoreció el rendimiento ($r = 0.91$). Los quesos elaborados se encontraron dentro de los límites permitidos en la NOM-243-SSA1-2010 antes de los 7 días. El tratamiento que obtuvo el mejor nivel de aceptación fue el queso con leche estandarizada 2% de

grasa, 3% de inulina y 0.25% AG Ω -3, con una retención de AG Ω -3 de 59.67%. Se obtuvo un producto adicionado con inulina y ácidos grasos omega-3 con una textura deseable al consumidor, bajo porcentaje de sinéresis y microbiológicamente dentro de los límites permitidos por la NOM-243-SSA1-2010. Ofreciendo así un producto benéfico para las personas que lo consuman.

ABSTRACT

Panela cheese is widely consumed in Mexico, with a production of 418,650 tons in 2019. It is rich in high quality proteins and low in fat, but due to its high moisture content it has a tendency to syneresis and its chemical composition and texture will change during storage, decreasing the consumer preference will decrease. It has been shown that the addition of bioactive components such as inulin and omega-3 fatty acids (FA Ω -3) provide functional properties and improve texture in foods. The objective aim of this study was to evaluate the physical, chemical, sensory and microbiological properties of panela-type cheese added with inulin and omega-3 fatty acids. The cheeses are made with milk standardized to 1.5 and 2.0% fat. Inulin (1, 3 and 5%), and mixtures of FA Ω -3 (0.05, 0.25 and 0.5%) were added by ultrasound (5 min and 186 W), serving as controls cheeses without improvement of inulin and FA Ω -3 . The proximal chemical composition, texture profile, pH, syneresis and yield in cheeses stored at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 15 days were evaluated. Subsequently, sensory analysis, microbiological analysis and quantification of AG Ω -3 were performed. The results obtained are analyzed using a one-way analysis of variance and the comparison of means test using the Tukey method with a significance level of $p < 0.05$ using Minitab v.17. and statistics v.10. The results showed that the reduction of inulin resulted significantly ($p < 0.05$) and hardness from 7.58-3.82N to 7.50-2.26 N ($r = -0.63$); The latter is due to the fact that the inulin chains form microcrystals when they are mixed with milk, interacting with each other and forming small aggregates in the aqueous phase, causing a smooth and creamy texture. The content of FA Ω -3 significantly increased the fat content from 4 to 10% approximately ($r = 0.51$). The pH was maintained in a range of 6.0-5.0 and 2% milk fat favored yield ($r = 0.91$). The processed cheeses were within the limits

allowed in NOM-243-SSA1-2010 before 7 days. The treatment that obtained the best level of acceptance was cheese with standardized milk 2% fat, 3% inulin and 0.25% FA Ω -3, with a retention of FA Ω -3 of 59.67%. A product added with inulin and omega-3 fatty acids was obtained with a desirable texture for the consumer, low percentage of syneresis and microbiologically within the limits allowed by NOM-243-SSA1-2010. Thus offering a beneficial product for the people who consume it.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
RECONOCIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iii
TABLA DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 LECHE	2
2.1.1 Composición química de la leche	3
2.1.2. Producción mundial, nacional y estatal de leche de bovino.	4
2.1.3. Industria de la leche y derivados	5
2.2 DEFINICIÓN DEL QUESO	5
2.2.1 Clasificación del queso	5
2.2.2 Producción nacional de queso	7
2.3 QUESO PANELA	7
2.4 CALIDAD DEL QUESO	8
2.4.1 Composición Química	8
2.4.2 Textura	9
2.5 SINÉRESIS	11
2.6 INGREDIENTES FUNCIONALES	11
2.7 INULINA	13
2.7.1 Estructura de la inulina	14
2.7.2 Fuentes de inulina	15
2.7.3 Ingesta diaria recomendada de inulina	16
2.7.4 Efectos benéficos de la inulina en la salud	16
2.7.5 Aplicaciones de inulina en la industria	18
2.8 ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3	20
2.8.1 Efectos benéficos de los ácidos grasos omega-3	21

2.8.2 Ingesta diaria recomendada de ácidos grasos omega-3	24
2.9 ULTRASONICACIÓN	25
3. ANTECEDENTES	27
4. JUSTIFICACIÓN	30
5. OBJETIVO	30
5.1 OBJETIVO GENERAL	30
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
6. MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA LECHE DE ACUERDO CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.	31
6.1.2 Estadarización de la leche y adición de la inulina	31
6.1.3 Leche adicionada con ácidos grasos omega-3	31
6.2 ELABORACIÓN DE QUESO TIPO PANELA ADICIONADO CON INULINA Y ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3	32
6.3 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL QUESO PANELA.	34
6.4 ANÁLISIS FÍSICO DEL QUESO PANELA.	34
6.4.1 Determinación del porcentaje de sinéresis y rendimiento	34
6.4.2 Determinación de textura	34
6.5 ANALISIS SENSORIAL	35
6.5.1 Reclutamiento y entrenamiento de catadores	35
6.5.2 Análisis sensorial de queso tipo panela	35
6.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL QUESO PANELA.	37
6.7 CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3	37
6.7.1 Extracción de la fase lipídica del queso	37
6.7.2 Metilación de muestras de queso tipo panela	38
6.7.3 Análisis del perfil lipídico por cromatografía de gases	38
6.8 ANÁLISIS DE CONTENIDO ENERGÉTICO	39
6.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	39
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES	39
7.1 ANÁLISIS DE LA LECHE DE ACUERDO CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.	39
7.2 MICROSCOPIA ÓPTICA DE LECHE AL 1.5 Y 2% DE GRASA (RESOLUCIÓN 63X)	40
7.3 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LOS QUESOS TIPO PANELA ELABORADOS.	41

7.4 ANÁLISIS DE pH, SINÉRESIS Y RENDIMIENTO	47
7.5 ANÁLISIS DE TEXTURA DE LOS QUESOS TIPO PANELA ELABORADOS.....	52
7.5.1 Preselección De Los Mejores Tratamientos	55
7.6 EVALUACIÓN SENSORIAL	56
7.6.1 Resultados del entrenamiento del panel de catadores.....	56
7.6.2 Resultados del análisis sensorial de quesos tipo panela tratados.....	57
7.6.3 Selección De Los Mejores Tratamientos	61
7.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	62
7.8 CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN LOS QUESOS TIPO PANELA ELBORADOS	64
7.9 VALOR ENERGÉTICO Y PROPORCIÓN DE AUMENTO-DISMINUCIÓN	66
8. CONCLUSIONES	67
9. REFERENCIAS	68
10. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Características	Página N°
1	Producción nacional de leche bovina 2015-2020	4
2	Clasificación de los quesos	6
3	Informes recientes sobre plantas con contenido de inulina.	15
4	Impacto de la inulina en la textura de los productos alimenticios	19
5	Estrategia experimental de los quesos tipo panela elaborados	33
6	Codificación de los mejores tratamientos de queso tipo panela	36
7	Análisis de la leche de acuerdo a las normas oficiales mexicanas	41
8	Correlación de datos entre los resultados obtenidos de las distintas pruebas de análisis	43
9	Análisis de dureza y cohesividad de los quesos tipo panela elaborados al 1.5% y 2% de grasa en leche a 1 y 15 días.	53
10	Análisis de adhesividad y gomosidad de los quesos tipo panela elaborados al 1.5% y 2% de grasa en leche a 1 y 15 días	54
11	Resultados de los tratamientos preseleccionados	55
12	Atributos seleccionados mediante la ecuación de media aritmética	56
13	Correlación de datos físicos y químicos entre los resultados obtenidos del perfil sensorial	60
14	Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 2% de grasa en leche	62
15	Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 3% de inulina y 0.25% de omega-3	62
16	Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 5% de inulina y 0.25% de omega-3	63
17	Porcentajes de ácidos grasos omega-3 en quesos tipo panela elaborados, por cromatografía de gases	65

18	Contenido energético y de proporción de aumento-disminución	66
----	---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla N°	Características	Página N°
1	Producción mundial de leche	4
2	Participación en la producción de quesos por tipo	7
3	Gráfica general del análisis del perfil de textura	10
4	Ingredientes funcionales y aditivos especializados	13
5	Estructura química de la inulina	15
6	Principales ácidos grasos omega-3	21
7	Micrografía de leche de vaca	42
8	Análisis del porcentaje de humedad	44
9	Análisis del porcentaje de proteínas	45
10	Análisis del porcentaje de Grasa	46
11	Análisis del porcentaje de carbohidratos totales	47
12	Análisis del pH	49
13	Análisis del porcentaje de sinéresis	50
14	Análisis del porcentaje de rendimiento	51
15	Perfil sensorial de las muestras de quesos	58
16	Nivel de aceptación de los quesos elaborados	59

1. INTRODUCCIÓN

El queso panela es muy popular en México, es suave, bajo en sales y bajo en contenido de grasas, se considera saludable. Debido a su elevado contenido de humedad tiene una gran tendencia a la Sinéresis (Jimenez-Guzman et al., 2009). Este queso es un buen vehículo para la adición de ingredientes funcionales que satisfagan las necesidades actuales de los consumidores, es decir que promuevan beneficios más allá de la nutrición básica. Se han estudiado algunos ingredientes por su funcionalidad en la prevención de enfermedades, como la inulina; que es un prebiótico utilizado en alimentos por su capacidad de retención de agua, como sustituto de grasas, modificador de textura, además por su potencial beneficioso para la salud como el cáncer de colon (Cardoso et al., 2020). La inulina es un fructano que no tiene sabor y es capaz de mejorar la estabilidad de las emulsiones. Contiene enlaces glucosídicos de β (2-1) fructosil-fructosa) (Drabińska et al., 2016). Otro ingrediente funcional son los ácidos grasos omega-3 que son esenciales para el ser humano debido a que carece de enzimas necesarias para biosintetizarlos, por lo que son aportados por la dieta, ofrecen beneficios para la salud como mejorar el sistema inmunológico, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, diabetes, colesterol, enfermedad de Alzheimer (Durand, 2018). Sin embargo, adicionar ingredientes funcionales a la matriz alimentaria es un proceso difícil, pudiendo utilizarse tecnologías como la ultrasonicación, que es adecuada para adicionar ácidos grasos omega-3 en quesos, se trata de inducir efectos mecánicos, químicos y bioquímicos en líquidos a través de la producción y posterior colapso de burbujas de cavitación. Si la frecuencia del sonido aplicada es de suficiente intensidad, se producen vacíos dentro del líquido que se conocen como cavidades. A medida que estas cavidades crecen, eventualmente se vuelven inestables y colapsan liberando altas temperaturas y presiones a escala microscópica. Es este colapso cavitacional el que genera la energía para varios efectos observados durante el procesamiento de alimentos, como la reducción del tamaño de los glóbulos de grasa y una mayor homogeneidad de los líquidos. Sobre este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades físicas,

químicas, microbiológicas y sensoriales de queso tipo panela adicionado con inulina y ácidos grasos omega-3.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LECHE

La leche es “la secreción natural de las glándulas mamarias de las vacas sanas o de cualquier otra especie, excluido el calostro” (Badui, 2006).

Los principales componentes químicos o grupos de componentes químicos son aquellos presentes en las mayores cantidades. Por supuesto, la cantidad (en gramos) no es primordial en todos los aspectos. Por ejemplo, las vitaminas son importantes con respecto al valor nutritivo; las enzimas son catalizadores de reacciones; y algunos componentes menores contribuyen notablemente al sabor de la leche. La lactosa o el azúcar de la leche son los carbohidratos distintivos de la leche. Es un disacárido compuesto de glucosa y galactosa. La lactosa es un azúcar reductor. La grasa está compuesta principalmente de triglicéridos, lo que constituye una mezcla muy complicada. Los ácidos grasos componentes varían ampliamente en la longitud de la cadena (2 a 20 átomos de carbono) y en la saturación (0 a 4 dobles enlaces). Otros lípidos que están presentes incluyen fosfolípidos, colesterol, ácidos grasos libres, monoglicéridos y diglicéridos. Aproximadamente cuatro quintos de la proteína consisten en caseína, en realidad una mezcla de cuatro proteínas: α S1-, α S2-, β - y κ -caseína. Las caseínas son típicas de la leche y tienen algunas propiedades bastante específicas: están fosforiladas hasta cierto punto y tienen poca o ninguna estructura secundaria. El resto consiste, en su mayor parte, en las proteínas del suero de la leche, siendo la principal la β -lactoglobulina. Además, la leche contiene numerosas proteínas menores, incluida una amplia gama de enzimas. Las sustancias minerales, principalmente K, Na, Ca, Mg, Cl y fosfato, no son equivalentes a las sales. La leche contiene numerosos otros elementos en pequeñas cantidades.

La composición química de la leche determina en gran medida su valor nutricional; la medida en que los microorganismos pueden crecer en ella; su sabor y las reacciones químicas que pueden ocurrir en la leche. Estos últimos incluyen reacciones que causan sabores desagradables (Walstra, 2006)

2.1.1 Composición química de la leche.

Inmediatamente después del parto, la vaca empieza con las secreciones mamarias; durante los primeros dos o tres días produce el calostro, que es un líquido con un alto contenido de sólidos, de fuerte olor y sabor amargo, abundante en inmunoglobulinas; por su gran proporción de inmunoglobulinas, es sumamente sensible a la desnaturalización térmica. (Badui, 2006). La leche es un alimento completo que contiene numerosos componentes con un alto valor nutritivo. Está constituida de humedad con un contenido de 87.5%, grasa 4%, Proteínas 3.5%, lactosa 4.7%, ceniza 0.7-0,9%, Calcio 1.3-1.8%, fósforo 1.0-2.3% y un pH de 6.7 (Ramírez-López et al., 2012). La materia grasa de la leche se le da también el nombre de grasa butírica. Su naturaleza, función y comportamiento durante la elaboración y conservación de los productos lácteos son de suma importancia. Ponderalmente los componentes más importantes en la grasa butírica son:

- Triglicéridos 97 a 98% en peso.
- Fosfolípidos 0.2 a 1.0% en peso.
- Di y monoacilglicéridos 0.26 a 0.52% en peso.

Los triacilglicéridos son los principales constituyentes de la grasa de leche, lo que representa el 97-98% del total de lípidos. Según Walstra (2006) la composición de ácidos grasos y triacilglicéridos en grasas de leche de rumiantes depende de diferentes factores, uno de ellos es la especie, raza, alimentación. La grasa butírica es extremadamente compleja, entre otras razones por la amplia gama de ácidos grasos que pueden constituirla. Los ácidos grasos se dividen en saturados e insaturados. Estos ácidos grasos de la grasa butírica influyen sobre todo en la composición de la grasa, su punto de fusión, sus características sensoriales y su

tendencia a la oxidación. La leche comparte casi las mismas propiedades nutricionales que el queso a excepción de la lactosa.

2.1.2. Producción mundial, nacional y estatal de leche de bovino.

Según cifras estadísticas del sector lácteo (CANILEC, 2021), durante el periodo del 2016-2019 la producción internacional de leche bovina ha tenido un crecimiento moderadamente de 663,941,930 a 748,346,036 de toneladas, en la figura 1 se muestra la producción de leche bovina en diferentes países.

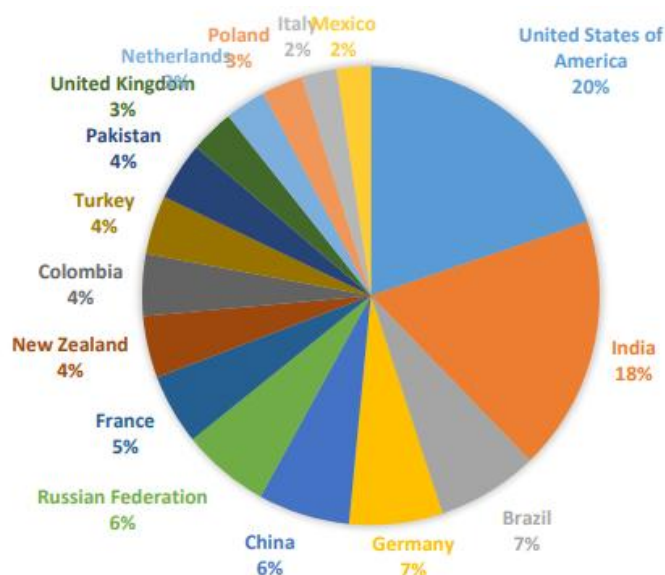


Figura 1. Producción mundial de leche.

En el 2019 México ocupó el 16º lugar en la producción mundial de leche. La producción anual de leche en México a partir del 2015 fue de 10,965,632 y hasta el 2019 ha demostrado un crecimiento anual de 2%. En la tabla 1 se aprecia la producción anual en México de leche bovina a partir del 2015.

Tabla 1. Producción nacional de leche bovina 2016-2020.

Año	Producción (Miles de litros)	Crecimiento anual (%)
-----	------------------------------	-----------------------

2021^e	12,754,667	1.6%
2020	12,553,806	2.30
2019	12,275,865	2.2
2018	12,005,693	2.02
2017	11,767,556	1.37
2016	11,608,400	1.88

(CANILEC, 2021)

En Oaxaca la producción de leche fue de 146,473 miles de litros en el 2020, ocupando así el lugar número 20 de los estados con mayor producción de leche.

2.1.3. Industria de la leche y derivados

La leche y sus derivados son alimentos muy completos ya que poseen los tres principios inmediatos que son las proteínas, los lípidos y los glúcidos. Al cierre de 2018, la elaboración de derivados y fermentos lácteos como quesos, crema y yogurt, alcanzó un volumen de un millón 150 mil toneladas, con un valor de 52 mil 104 millones de pesos (SIAP, 2019).

2.2 DEFINICIÓN DEL QUESO

El queso es muy popular y consumido a nivel mundial. La Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1-2010) define al queso como el producto elaborado de la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida de la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior, por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos pudiendo por su proceso ser: fresco, madurado o procesado.

2.2.1 Clasificación del queso.

La clasificación de los tipos de quesos de acuerdo a la NOM-243- SSA1-2010, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los quesos

Clasificación de quesos	Tipos de quesos
Quesos Frescos	
• Frescales	Panela, canasto, sierra, ranchero, fresco, blanco, enchilado y adobado.
• Pasta cocida	Oaxaca, asadero, mozzarella, del morral y adobera.
• Acidificados	Cottage, Crema, Doble crema, Petitsuisse, Nuefchatel.
• De suero	Broccio, Broccotle, Cerrase, Geitmysost, Gyetost, Mejetle, Mysost, Recuit, Requesón, Ricotta, Picotón, Schottenezinger, Zinder.
Quesos Madurados	
Madurados prensados de pasta dura	Roquefort, Cotija, Reggianito, Pecorino Romano.
Madurados prensados	Cheddar, Chester, Chihuahua, Manchego, Brick, Edam, Gouda, Gruyere, Emmental, Cheshire, Holandés, Amsterdam, Butterkase, Coulomiers, Dambo, Erom, Friese, Fynbo, Havarti, Harzer-Kase, Herrgardsost, Huskallsost, Leidse, Maribo, Norvergja, Provolone, Port Salut, Romadur, Saint Paulin, Samsoe, Svecia, Tilsiter, Bola, Jack.
Maduración con mohos	Azul, Cabrales, Camembert, Roquefort, Danablu, Limburgo, Brie.
Procesados	Añejo, Parmesano, Asadero, Oaxaca, Mozzarella, Adobera.
Fundidos	Doble crema, Crema, Cottage, Peti-Suisse.

2.2.2 Producción nacional de queso

La producción de quesos a nivel mundial en el 2019 fue de 20,509 miles de toneladas. Las principales variedades de quesos en México son: el fresco (producción: 89,557 ton), doble crema (producción: 72,792 ton) y el panela (producción: 52,810 ton (SIAP, 2019).

En la figura 2 se muestran los porcentajes de producción de diferentes tipos de queso de los cuales el queso panela ocupa el tercer lugar en producción junto con el queso amarillo.

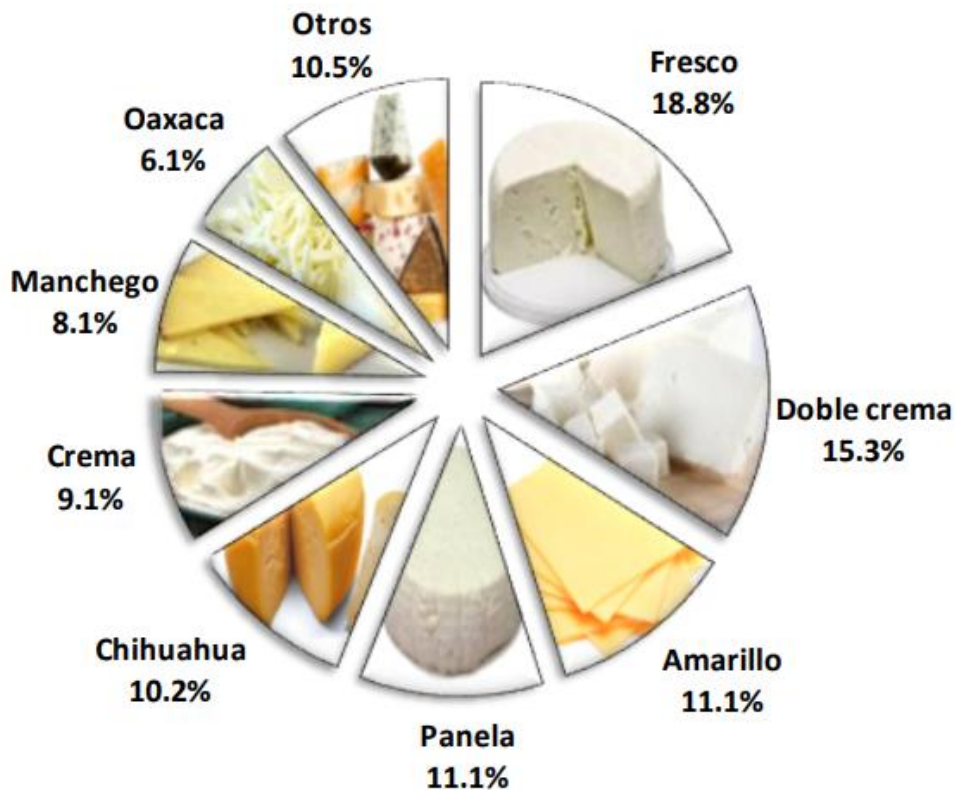


Figura 2. Participación en la producción de quesos por tipo (SIAP, 2019)

2.3 QUESO PANELA

La NMX-F-742-COFOCALEC-2012 define al queso panela como un producto elaborado a partir de la cuajada proveniente de la leche fresca o en polvo, entera,

parcialmente descremada, estandarizada o no, sometida a un tratamiento térmico que garantice su inocuidad, a la cual se le puede adicionar cloruro de calcio, cuajo y/o cultivos de bacterias lácticas; la cuajada obtenida es cortada, salada y moldeada.

Se produce en prácticamente todas las regiones de México y es similar en características al queso feta griego. Es suave y de color blanco, tiene toques de sabor a leche fresca y dulce, y toma la forma de la canasta en la que se presiona. Aunque se produce principalmente a partir de leche de vaca pasteurizada, puede producirse ocasionalmente a partir de leche de oveja o cabra o una mezcla de estas leches, y se puede usar leche entera o parcialmente descremada.

Como queso panela se produce generalmente con la leche pasteurizada, el tipo de instalación donde se hace generalmente tiene un cierto nivel de automatización (González-Córdova et al., 2016). Su popularidad probablemente reside en el hecho de que los consumidores lo consideran "saludable" debido a su bajo contenido de grasa. Sin embargo, debido a su alto contenido de humedad tiene una gran tendencia a la sinéresis (Jiménez-Guzmán et al., 2009).

2.4 CALIDAD DEL QUESO

2.4.1 Composición Química

La composición de un queso determina sus características de textura, aspecto que junto con el color y el sabor son variables importantes de consideración inmediata por parte de los consumidores como criterios de decisión de compra utilizados al establecer la calidad de un queso (Pinho et al., 2004).

Los quesos como el queso fresco y queso panela tienen un alto contenido de humedad, pH de 5.3 a 6.5 sometidos a pocas o ningún proceso de maduración, y por consecuencia su vida de útil es de 2 a 3 semanas con alta susceptibilidad a la contaminación microbiana y el crecimiento (Jiménez-Maroto et al., 2016).

El contenido de grasa se controla generalmente mediante la estandarización del contenido de grasa en leche, la grasa en leche determina generalmente la calidad de los quesos panela (González, 2010).

2.4.2 Textura

La textura es un atributo sensorial de importancia suprema para la preferencia de un producto y es un parámetro crítico en la calidad final del producto. El análisis de perfil de textura, TPA por sus siglas en inglés, es una simulación de la masticación de una muestra por medio de un equipo analizador de textura. Consiste en comprimir un alimento del tamaño de un mordisco para imitar la acción de los dientes e incluye el análisis de diferentes características de textura de una muestra (Gonzales et al., 2015).

Hleap y Velasco (2010) refieren que la textura es uno de los atributos primarios que junto con el color, sabor y olor conforman la calidad sensorial de los alimentos. Es la característica de calidad más apreciada por el consumidor y sus propiedades relacionadas se caracterizan por ser difíciles de definir ya que son características subjetivas.

Para determinar la textura de un queso se utilizan técnicas de compresión uniaxial a velocidad constante (Ramírez-López et al., 2012).

El TPA consiste en una prueba de doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión 80 a 90% de su altura inicial. Tobón et al. (2002) cita los siguientes parámetros texturales obtenidos con el TPA: fractura, dureza, cohesión, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (Ramírez-López et al., 2012). En la Figura 3 se muestra un gráfico general del análisis de perfil de textura.

- Dureza: fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza, N o (kg m s^{-2}) .

- Cohesividad: cociente entre el área positiva bajo la curva de fuerza de la segunda compresión (Área 2) y el área bajo la curva de la primera compresión (Área 1). Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.
- Adhesividad: siguiendo el primer ciclo de compresión se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve a su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa (Área 3), se toma como una medida de la adhesividad de la muestra. Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar). Se mide en $(\text{kg m}^2 \text{ s}^{-2})$.
- Gomosidad: energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado. Producto de la dureza por la cohesividad. Se expresa en (kg m s^2) (Hleap y Velasco, 2010).

Sin lugar a duda para el consumidor la textura juega un papel importante al momento de inferir en la calidad de un alimento. Particularmente en el queso, la textura es uno de los atributos más importantes que ayuda a determinar la identidad del mismo (Ramírez-López et al., 2012).

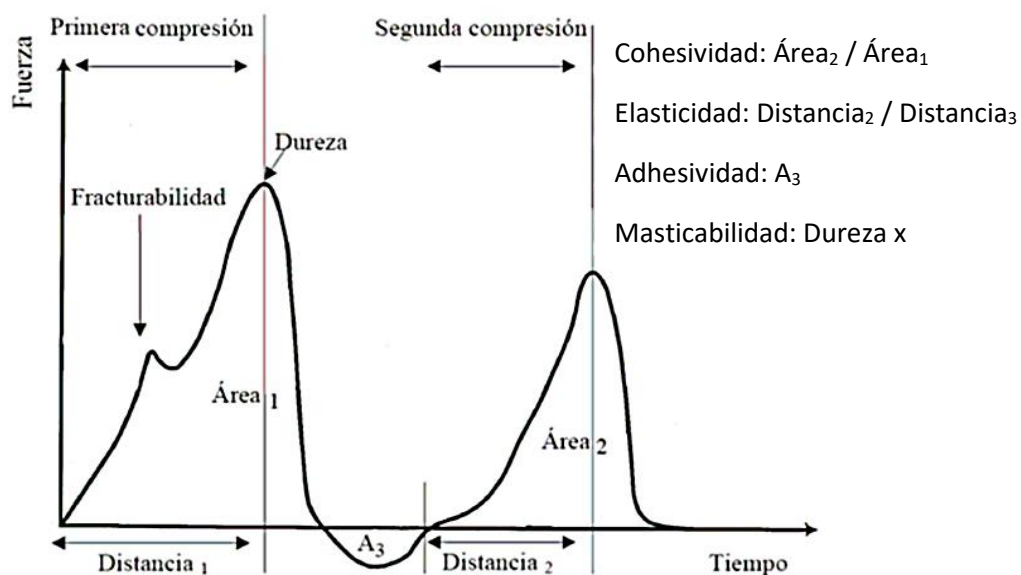


Figura 3. Gráfica general del análisis del perfil de textura (Gonzales et al., 2015).

Para evaluar un alimento como original es importante conocer la textura que logra la aceptación de los consumidores al momento de comprar el producto. Por lo que anteriormente se han realizado investigaciones bibliográficas que demuestran cómo influye la composición de un alimento en su textura. Bachmann (2001) encontró en revisión de literatura científica que la composición de los quesos análogos determina en gran medida su textura. Fernández-Alvares (2013) mostró que las diferencias encontradas en la textura de los quesos análogos pueden estar relacionadas con la forma en que la grasa y las proteínas se distribuyen. La humedad en la red de proteínas actuó como un plastificante, siendo más elástica y menos fragmentada. Un mayor contenido de grasa resulta en quesos más suaves, menos elásticos, más cohesivos y adhesivos. El aumento de la cantidad de ácido cítrico o cloruro de sodio causó una disminución significativa en la cohesividad y elasticidad y un aumento en la firmeza. Bachmann (2001) notó que aumentó la elasticidad y dureza con el aumento en el contenido de grasa.

2.5 SINÉRESIS

La sinéresis se define como la contracción de un gel y esto ocurre concomitantemente con la expulsión del suero. Es útil definir la sinéresis espontánea como la contracción de un gel sin la aplicación de ninguna fuerza externa (p. Ej., Centrifugación) y esto está relacionado con la inestabilidad de la red de gel (es decir, debido a reordenamientos a gran escala). En la práctica, los fabricantes de queso ácido fresco a menudo intentan evitar la separación del suero en el producto minorista agregando estabilizadores (por ejemplo, goma de xantano o algarroba o carragenano) o concentrado de proteína de suero (WPC) antes del envasado (Lucey, 2017). Sin embargo, hay otros ingredientes que pueden ayudar a disminuir la sinéresis y aumentan los beneficios sobre la salud de las personas que lo consuman, se le conocen como ingredientes funcionales.

2.6 INGREDIENTES FUNCIONALES

Un ingrediente funcional es un componente activo presente en cualquier materia prima agrícola (fruta, hortaliza, cereal, leguminosa, etc.), que gracias a la tecnología puede ser extraído e incorporado a otros alimentos otorgándoles propiedades benéficas sobre la salud de las personas, previniendo o reduciendo el riesgo de enfermedades (Etchegaray, 2017). La mayor conciencia por parte de los consumidores de la relación entre una dieta nutritiva y la salud y el bienestar ha sido una de las razones del aumento de la popularidad de los nuevos alimentos con buenas propiedades nutricionales. En realidad, se da una importancia considerable a los alimentos funcionales, que, en principio, además de sus funciones nutricionales básicas, proporcionan beneficios fisiológicos y/o reducen el riesgo de enfermedades crónicas. Los alimentos funcionales contienen (o agregan) un componente con un efecto positivo para la salud o eliminan un componente con uno negativo (Fuentes-Zaragoza et al., 2010).

El término "alimento funcional" relacionado con el aspecto nutricional se utiliza para describir aquellos alimentos que presentan potencial para promover la salud mediante mecanismos no convencionales de nutrición, siendo sus efectos restringidos a la promoción del bienestar y la salud, maximizando las funciones fisiológicas de un individuo, pero no la cura de una enfermedad. La producción de alimentos funcionales está aumentando para ayudar a combatir los problemas de salud de la sociedad, principalmente enfermedades crónicas, como obesidad, cáncer, diabetes y problemas cardiovasculares. Actualmente, los principales ingredientes funcionales que se utilizan en la industria alimentaria son los probióticos y prebióticos, que proporcionan muchos beneficios para la salud; sin embargo, además del aporte al aspecto nutricional de los productos, los prebióticos y probióticos pueden actuar alterando la textura de los alimentos, lo que puede ser beneficioso para el desarrollo de productos sensorialmente más agradables (Guimaraes et al., 2020).

El estudio FIA señala que existen 6 ingredientes funcionales y 4 aditivos especializados excluyentes. El alto potencial de este grupo se relaciona tanto con la disponibilidad de la materia prima, como con la tecnología involucrada en su procesamiento. En la figura 4 se muestra la clasificación de los ingredientes funcionales y aditivos especializados con sus respectivas funciones.

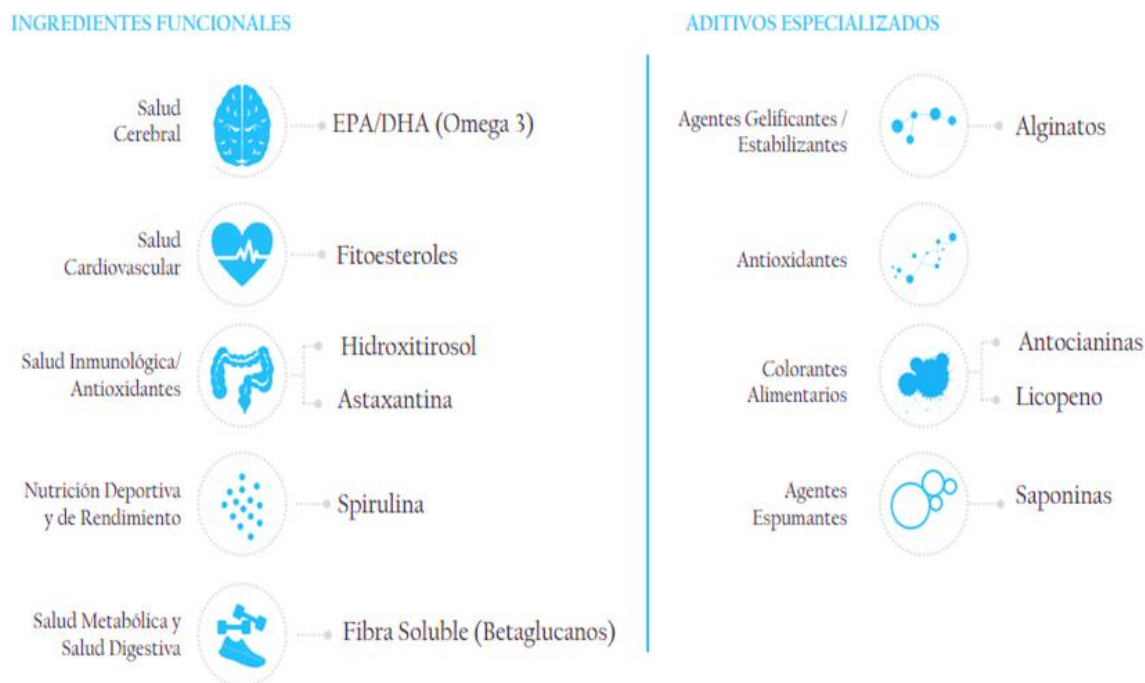


Figura 4. Ingredientes funcionales y aditivos especializados

La producción de alimentos funcionales está aumentando para ayudar a combatir los problemas de salud de la sociedad, principalmente enfermedades crónicas, como la obesidad, el cáncer, la diabetes y los problemas cardiovasculares. Actualmente, los principales ingredientes funcionales utilizados en la industria alimentaria son los fitoesteroles, ácidos grasos omega-3 y fibra soluble (como la inulina).

2.7 INULINA

La inulina es una fibra dietética soluble que forma un subconjunto de ingredientes nutracéuticos que se usa cada vez más en productos alimenticios (Giri et al., 2017). Este compuesto se extrae de la raíz de achicoria y se puede encontrar

también en diferentes especies vegetales alrededor del mundo. Ofrece múltiples aplicaciones para la industria de alimentos y la industria farmacéutica, ya que ayuda en varias funciones metabólicas del organismo humano. Se produce industrialmente a partir de la extracción de la raíz de la achicoria y se utiliza como ingrediente en productos tales como derivados lácteos y postres congelados, en los cuales aporta cuerpo y palatabilidad. La inulina tiene la capacidad de formar gel y de actuar como emulsificante, es útil como sustituto de azúcares y grasas, presenta sinergismo con edulcorantes, aporta textura y permite la depresión del punto de congelación. También se la conoce como ingrediente prebiótico, ya que por su configuración química no puede ser hidrolizada por las enzimas digestivas del hombre, por lo que permanece intacta hasta llegar a la parte inferior del tracto gastrointestinal, donde es fermentada por las bacterias benéficas (Castellanos et al., 2016). El término fructano se utiliza cuando se encuentran enlaces fructosil-fructosa (la cual es el enlace covalente fuerte que une la molécula de azúcar a otro grupo de carbohidratos). El científico alemán Valenti Rose fue el primero en descubrir la inulina en 1804 (Gupta et al., 2019).

2.7.1 Estructura de la inulina

La inulina contiene enlaces glucosídicos de β (2-1) fructosil-fructosa y difieren en el grado de polimerización (DP) y en su estructura química (figura 1). Dependiendo del DP la inulina se puede dividir en fructooligosacáridos e inulina (Drabińska et al., 2016). La estructura de la inulina se presenta en la figura 5, se compone de polímeros de fructosa lineales o ramificados con una longitud de cadena de 2 a 60 unidades (el grado de polimerización (DP) es de 2 a 60), por lo general con una unidad terminal de glucosa unida entre sí por enlaces β (2-1) glicosídicos. La oligofructosa o fructooligosacárido es una fracción de hidrólisis enzimática parcial de la inulina que contiene una cadena de oligómeros <10 (Judprasong et al., 2011).

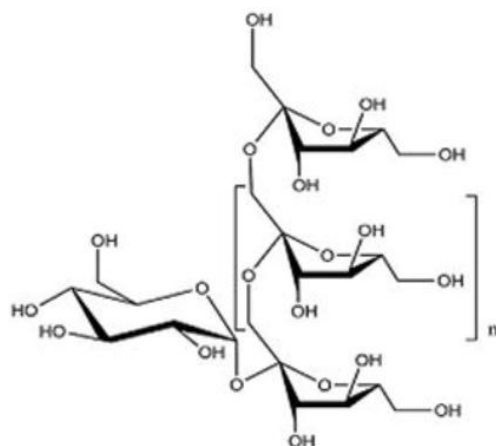


figura 5. Estructura química de la inulina

2.7.2 Fuentes de inulina

Los fructanos de tipo inulina son polímeros a base de fructosa solubles en agua que resultan del metabolismo prolongado de la sacarosa. En las plantas, con frecuencia se almacenan en hojas y otros órganos que actúan como reserva de carbohidratos. Estas especies de plantas que contienen fructanos se encuentran en varias familias mono y dicotiledóneas, la inulina generalmente se almacenan en bulbos, tubérculos y raíces tuberosas (Apolinario et al., 2014).

Tabla 3. Informes recientes sobre plantas con contenido de inulina.

Fuente de inulina	Parte de la planta	Contenido de inulina (g/100g)
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Granos	18-20
Achicoria (<i>Cichorium intybus</i>)	Raíz	11-20
Alcachofa de Jerusalén (<i>Helianthus tuberosus</i>)	Tubérculo	12-19
Espárragos (<i>Asparagus sp.</i>)	Raíces	15
Agave (<i>Agave sp.</i>)	Vástago	12-15
Cebollas (rojas y blancas), chalota (<i>Allium cepa</i> , <i>Allium</i> <i>sp.</i>)	Bulbo	5-9

(Shoaib et al., 2016)

2.7.3 Ingesta diaria recomendada de inulina

Se ha estimado que el consumo diario promedio de inulina y oligofruktosa es de 1 a 4 g en algunos países. Generalmente se reconoce como seguro (Estado GRAS) o como 'ingrediente alimentario natural'. No hay una cantidad diaria recomendada oficial (RDA) para la ingesta de inulina, aunque el rango recomendado de ingesta de fibra dietética es de 25-38 g/d (Giri et al., 2017). Diferentes estudios han incluido inulina en la formulación de queso. Koca y Metin (2004) reemplazaron la grasa en los quesos frescos de kashar por 5% de inulina, mientras que Salvatore et al. (2014) utilizaron 2, 3 y 7% de inulina en queso fresco de leche caprina.

2.7.4 Efectos benéficos de la inulina en la salud

La inulina ofrece beneficios en la salud, a continuación, se presentan algunos ejemplos:

A) Funciona como prebiótico.

La inulina exhibe un efecto prebiótico cuando se fermenta en condiciones anaeróbicas en el colon, estimulando preferentemente el crecimiento de bifidobacterias en el colon (Mazrahe et al., 2019).

Para que un componente se denomine prebiótico, debe resistir las secreciones gástricas y la absorción en el tracto gastrointestinal superior mientras es fermentable por la microflora intestinal para beneficiar al huésped. Principalmente, los prebióticos son carbohidratos no digeribles como la inulina, los oligosacáridos y los polisacáridos (Ahmed et al., 2017). Los efectos prebióticos de la inulina y la oligofruktosa se han confirmado en numerosos ensayos de laboratorio y en humanos. Los nuevos desarrollos en los procedimientos moleculares para la bacteriología diagnóstica ayudarán a determinar las aplicaciones sanitarias y a explicar los mecanismos de efecto. Otro atributo deseable de los prebióticos es la capacidad de persistir hacia la región distal del colon. Este es el sitio de origen de varias enfermedades crónicas, incluido el cáncer de colon y la colitis ulcerosa. Se cree que la microflora en esta región del intestino puede desempeñar un papel importante en la aparición o mantenimiento de tales trastornos. Los carbohidratos

de la dieta son el principal sustrato fermentable en el colon proximal y, dado que este se degrada durante la fermentación bacteriana, la proteína se convierte en el sustrato fermentable dominante hacia las áreas distales. Los productos del metabolismo de las proteínas bacterianas incluyen compuestos tóxicos y potencialmente cancerígenos como aminos, amoniaco y compuestos fenólicos. Actualmente existe mucho interés científico en el desarrollo de prebióticos, que se dirigen a esta región del colon (Kolida et al., 2002).

B) Disminuye el cáncer de colon.

El cáncer de colon también se conoce como cáncer colorrectal, cáncer rectal o cáncer de intestino, como resultado de la mutación de las células del colon (porciones del intestino grueso) o en el apéndice. Es una de las razones más comunes de muerte por cáncer en las personas de los países desarrollados. El análisis demuestra que básicamente los cánceres de colon y recto son genéticamente similares. El sangrado rectal y la anemia son los signos comunes de cáncer colorrectal que ocasionalmente están relacionados con la pérdida de peso y los cambios en los hábitos intestinales. Con respecto al riesgo de cáncer de colon, los estudios en ratas y ratones demuestran que la inulina y la oligofruktosa tienen la capacidad de prevenir la carcinogénesis del colon causada por los químicos y aumentar las preparaciones simbióticas con bacterias del ácido láctico. Los estudios sugieren que la formulación simbiótica de inulina enriquecida con oligofruktosa en combinación con *Lactobacillus rhamnosus* y *Bifidobacterium lactis* puede disminuir el riesgo de cáncer de colon en humanos. Otros investigadores han descubierto que la inulina HP y la sinergia son más beneficiosas en comparación con la oligofruktosa, ya que las moléculas de cadena larga tardan más tiempo en fermentarse en el intestino grueso, lo que extiende sus influencias en el colon distal. Ciertamente, los oligómeros pequeños se fermentan por adelantado en el colon proximal y, por lo tanto, no pueden alcanzar el colon distal. La inulina HP y la sinergia actúan generalmente en la progresión del cáncer, disminuyendo la cantidad y la masa de las lesiones, así como disminuyendo la posibilidad de desarrollo de estas lesiones a malignidad. La inulina y la

oligofruktosa, por lo tanto, ayudan en la prevención de la oncogénesis. Estos dos mecanismos explicaron el papel beneficioso de la inulina en la modulación de la microflora colónica, el cambio en la composición de ácidos grasos de cadena corta; particularmente un aumento en la producción de butirato a través de la fermentación anaerobia (Rafter et al., 2007).

C) Enfermedad inflamatoria intestinal.

Ya se ha establecido el impacto positivo de los prebióticos en la colitis experimental y la enfermedad inflamatoria intestinal (EII) humana. Los prebióticos muestran un efecto positivo en la prevención de la EII al modular las funciones tróficas de la flora. La inulina mejora el crecimiento de *Lactobacilos* y/o *Bifidobacterias* al inducir la producción colónica de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y estas propiedades están relacionadas con la disminución de las puntuaciones de lesiones de la mucosa y la disminución de la inflamación de la mucosa. La inulina muestra un enfoque positivo para retener poblaciones microbianas y para apoyar la función de barrera epitelial por su efecto prebiótico que ayuda en la defensa del huésped contra la invasión y la translocación de patógenos (endógenos y/o exógenos) y en la inhibición de enfermedades gastrointestinales. El efecto positivo de los prebióticos en modelos de EII de rata y en sujetos humanos junto con sus posibles mecanismos de protección revelaron que la barrera de la mucosa intestinal mejoraría con el uso de prebióticos en la EII (Akram et al., 2019).

2.7.5 Aplicaciones de inulina en la industria

El número de unidades de fructosa (grado de polimerización, DP) permite la diferenciación entre oligofruktosa, con DP inferior a 10, e inulina de cadena larga, con un DP de aproximadamente 23. La inulina y la oligofruktosa se caracterizan por una serie de propiedades nutricionales y físicas, que dependen estrictamente de la DP. Varios autores han estudiado el efecto físico de la adición de inulina en diferentes sistemas lácteos bajos en grasa, en particular para el yogur, queso de imitación y queso fresco. (Salvatore et al., 2014).

Los polisacáridos no digeribles como la inulina, puede cambiar la estructura de los alimentos y el comportamiento reológico. La capacidad de las fibras para cambiar las propiedades de textura está relacionada con el grado de polimerización/ longitud de la cadena, ya que cambia la solubilidad de la fibra en el agua y la interacción con otros compuestos alimenticios, como proteínas y otros polisacáridos, que son responsables de la red estructural. Por lo tanto, puede cambiar las propiedades de textura de varios productos alimenticios y en la tabla 4 se puede ver un resumen de las aplicaciones en diferentes productos (Guimaraes et al., 2019).

Tabla 4. Impacto de la inulina en la textura de los productos alimenticios (shoaib et al., 2016).

Producto alimenticio	Efectos principales
Bebida de suero	<ul style="list-style-type: none"> - La inulina tuvo un gran efecto sobre la estabilidad física de la bebida. - La inulina influyó en los parámetros reológicos de la bebida de suero. - En general, el uso de inulina de mayor grado de polimerización (inulina HP) formó una red de gel más fuerte debido a la disolución incompleta y la formación de cristales de inulina mayores, lo que mejoró la estabilidad cinética de la bebida.
Yogurt de leche ovina	<ul style="list-style-type: none"> - La adición de inulina (2 y 6%) influyó en la viscosidad aparente y la firmeza determinada por análisis instrumental y influido en la consistencia en el análisis sensorial. - El tratamiento con 6% de inulina demostró mejores resultados en relación con la preferencia sensorial por parte de los consumidores.

Pan	<ul style="list-style-type: none"> - Los efectos de la inulina / FOS sobre las propiedades texturales y sensoriales dependían del tipo de prebiótico agregado; tipo de harina; nivel de sustitución; el grado de polimerización - La adición de FOS puede aumentar la humedad de la miga de los panes, mientras que la adición de inulina puede disminuir la absorción de agua. -La adición de inulina al pan generalmente dio como resultado panes más pequeños con una miga más dura y un color más oscuro. - En las pruebas sensoriales, las calificaciones hedónicas tendieron a disminuir con el aumento de los contenidos de inulina / FOS, sin embargo, la baja concentración de prebióticos parece ser sensorialmente similar a los panes estándar.
Aderezos de ensaladas	Cuerpo y palatabilidad y sustituto de grasa.
Productos lácteos	Capacidad de formar gel

El alimento funcional es la tendencia del presente, ya que nuestra ciencia actual permite la fabricación de productos con beneficios para la salud; otro ejemplo claro es la fabricación de queso adicionado con ácidos grasos omega-3 (Castellanos et al., 2016).

2.8 ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

Durante la última década, el interés de los consumidores por los "alimentos funcionales" saludables, como los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGPI-3 LC), ha aumentado drásticamente. Numerosas afirmaciones de beneficios para la salud, incluida la pérdida de peso y la prevención del cáncer, han llevado la venta

de aceite de pescado a millones de dólares en los EE. UU. La búsqueda de ácidos grasos omega-3 arroja actualmente 18.000 resultados en un amplio rango de estudios de traducción y en humanos, lo que apoya la idea de que puede haber efectos beneficiosos para una amplia variedad de enfermedades, que van desde enfermedades cardiovasculares, inflamación crónica y cáncer hasta varios trastornos cerebrales (Bos et al., 2016).

Los ácidos grasos omega-3, son ácidos grasos esenciales para el ser humano debido a que carecemos de las enzimas necesarias para biosintetizarlos y por lo tanto son aportados por la dieta. El más común de los ácidos grasos omega-3 de cadena corta, con 18 carbonos, es el ácido α -linolénico (ALA); y los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega-3 de cadena larga, con 20-22 carbonos y 5-6 enlaces dobles, son el ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido docosahexaenoico (DHA) y el ácido docosapentaenoico (DPA) (Durand-Villarreal, 2018).

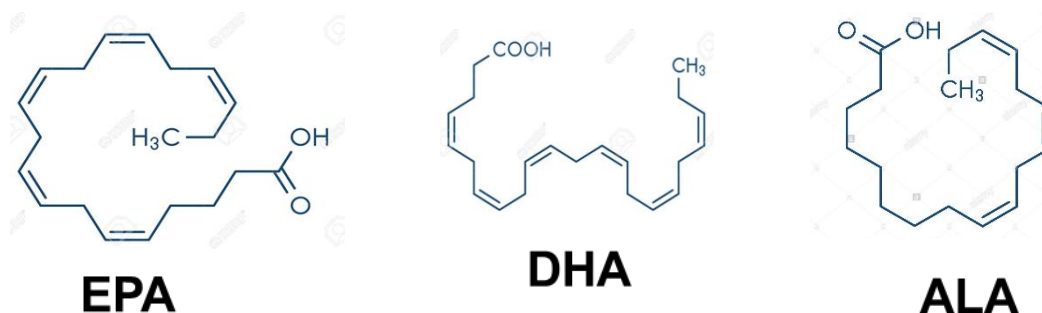


Figura 6. Principales ácidos grasos omega-3

2.8.1 Efectos benéficos de los ácidos grasos omega-3

A. Sobre el sistema cardiovascular

Los primeros ensayos sobre el consumo de pescado y la suplementación con omega-3 PUFA, así como los datos de observación colectiva, demuestran un efecto cardioprotector de los ácidos grasos omega-3 de cadena larga. Por el contrario, los ensayos de prevención primaria y secundaria publicados en los últimos 6 años informan de efectos nulos de la suplementación y ponen en duda la eficacia de los PUFA omega-3 en dosis bajas para reducir los eventos cardiovasculares. Las posibles explicaciones para los resultados discrepantes

incluyen estudios con poca potencia con muestras pequeñas y bajas tasas de eventos, participantes con ingestas de pescado / mariscos de base alta, dosis subóptimas de EPA y DHA, duración de la suplementación, edad al momento de la inscripción en el estudio, duración del seguimiento y estándar concurrente de atención para el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares. En particular, es poco probable que la suplementación de 1 g / día de EPA más DHA afecte los resultados de las ECV en el contexto del tratamiento moderno de las ECV con múltiples farmacoterapias (Bowen et al., 2016). Algunos ensayos, que utilizan dosis más altas de omega-3 en pacientes que reciben terapia médica dirigida por las directrices modernas para las enfermedades cardiovasculares, han mostrado resultados favorables, lo que sugiere que la lista de enfermedades cardiovasculares que se benefician con los omega-3 aún puede seguir creciendo (Elagizi et al., 2019)

B. Inflamación

La enfermedad renal crónica (ERC) es un problema de salud pública cada vez más común que aumenta entre 2 y 3 veces el riesgo de muerte por complicaciones cardiovasculares en comparación con la población general. Se realizó un estudio prospectivo, aleatorizado en pacientes con ERC sometidos a hemodiálisis. Los participantes fueron asignados a uno de dos grupos: el grupo de estudio (grupo A; 46 pacientes) recibió cuatro cápsulas (2,4 g) de ácidos grasos omega-3 al día durante la intervención de 12 semanas, mientras que los pacientes del grupo control (grupo B; 47 pacientes) recibieron cuatro cápsulas de aceite de parafina. Se evaluaron las características generales de los pacientes, indicadores nutricionales, marcadores de enfermedad renal y marcadores inflamatorios (proteína C reactiva, interleucina-6, interleucina-10 y factor de necrosis tumoral alfa). No se encontraron diferencias entre las características generales de los pacientes ($P < 0,05$), y no se mostraron diferencias en los indicadores nutricionales y marcadores de enfermedad renal ($P < 0,05$). Los pacientes del grupo A mostraron disminuciones significativas en los niveles de proteína C reactiva, interleucina-6, factor de necrosis tumoral alfa y la relación interleucina-10 / interleucina-6 después de 12 semanas de suplementación ($P < 0,05$). Los

pacientes del grupo B no mostraron cambios significativos en las concentraciones de marcadores inflamatorios durante la intervención ($P < 0,05$) La suplementación oral con ácidos grasos omega-3 produce una disminución significativa de las concentraciones de marcadores de inflamación en pacientes con enfermedad renal crónica en hemodiálisis (Valle et al., 2020).

C. Enfermedades neurodegenerativas

Los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (n-3 PUFA) se han asociado ampliamente con efectos beneficiosos sobre diferentes enfermedades neurodegenerativas. Se han estudiado el efecto terapéutico potencial del ácido docohexanoico (DHA) y su derivado hidroxilado, DHAH, en un modelo de lesión parcial de la enfermedad de Parkinson (EP). Los grupos de animales sometidos a tratamientos con n-3 PUFA mostraron una tendencia a mejorar en las rotaciones inducidas por anfetaminas y en la prueba de cilindros. Además, la administración de n-3 PUFA disminuyó la astrogliosis y la microgliosis, tanto en el cuerpo estriado como en la sustancia negra (SN), con una mayor disminución de las células para el grupo tratado con DHAH. En conjunto, estos datos sugieren un efecto positivo de la administración de n-3 PUFA, y más concretamente de DHAH, para el tratamiento de la EP, ya que mostró resultados positivos sobre el sistema dopaminérgico, la neuroinflamación y el estrés oxidativo (Hernando et al., 2019). Las placas de amiloide- β ($A\beta$) son una de las características patológicas típicas de la enfermedad de Alzheimer (EA). La evidencia acumulada sugiere que el desequilibrio entre la producción y el aclaramiento de $A\beta$ conduce a la acumulación extracelular de $A\beta$ en el cerebro. Se informa que el transporte de la barrera hematoencefálica (BBB) juega un papel predominante en la depuración de $A\beta$ del cerebro a la sangre. Se hizo un estudio, donde se investigó las alteraciones dinámicas de la función de transporte de BBB en la etapa temprana de EA utilizando ratones transgénicos APP^{swe} / PS1^{dE9} C57BL / 6J (APP / PS1). Los resultados mostraron que la expresión de la proteína relacionada con el receptor de lipoproteínas 1 (LRP-1), un principal transportador de salida de la BHE, comenzó a disminuir a la edad de 4 meses. Curiosamente, la suplementación con aceite de pescado que es rico en ácidos grasos

poliinsaturados omega-3 (PUFA) mejoró significativamente el nivel de expresión de LRP-1 y promovió la eliminación de A β desde el salvado a la circulación, como lo revelan los niveles reducidos de A β soluble/insoluble y las placas seniles en el parénquima cerebral y un aumento correspondiente de los niveles de A β en plasma. Además, el suplemento de aceite de pescado inhibió significativamente la activación de NF- κ B, redujo la expresión de interleucina-1 β y factor de necrosis tumoral- α y suprimió la activación glial en ratones APP / PS1. Los resultados del estudio proporcionan evidencia de que la función de transporte de BBB podría verse afectada en una etapa muy temprana de la enfermedad, lo que podría contribuir a la acumulación patológica de A β en la EA, y la intervención de PUFA omega-3 podría ser una estrategia eficaz para la prevención de la progresión de la EA mediante la promoción del aclaramiento de A β del cerebro a la sangre (Yan et al., 2020).

2.8.2 Ingesta diaria recomendada de ácidos grasos omega-3

Las evidencias disponibles indican que la ingesta de 0.5-0.6%E de ácido alfa-linolénico (ALA) diaria previene los síntomas de deficiencia. La ingesta total de ácidos grasos n-3 se sitúan entre 0.5 y 2%E en tanto que los requerimientos mínimos de ALA (>0.5%E) para adultos previenen los síntomas de deficiencia. El valor más alto para el ALA (2%E) junto a los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LCPUFA) n-3, EPA y DHA (AMDR 0.250 g-2.0 g) pueden ser parte de una dieta saludable. Mientras que el ALA parece tener propiedades específicas, hay evidencia de que los LCPUFA n-3 en su conjunto pueden contribuir a la prevención de CHD y, posiblemente, a otras enfermedades degenerativas propias del envejecimiento. Para los varones adultos y las mujeres adultas no embarazadas ni lactantes se recomiendan 0.250 g diarios de EPA más DHA, siendo insuficiente la evidencia para establecer una ingesta mínima de EPA o DHA por separado, debiendo consumirse ambos. Para las mujeres embarazadas o lactantes se establece una ingesta mínima para una salud óptima y un desarrollo del feto y el lactante adecuados de 0.3 g diarios de EPA más DHA, de los cuales

al menos 0.2g diarios deben corresponder al DHA. El valor superior de AMDR (U-AMDR) para la ingesta de EPA+DHA se establece en 2 g diarios debido a las evidencias experimentales que indican que los suplementos altos de LCPUFA n-3 pueden incrementar la peroxidación lipídica y reducir la producción de citoquinas. Sin embargo, la Comisión de Expertos reconoce que valores más altos de consumo, tales como 3 g diarios, reducen otros riesgos cardiovasculares y no producen efectos adversos a corto plazo o plazo intermedio en ensayos aleatorios, y que algunos individuos en poblaciones con un gran consumo de animales marinos ingieren cantidades mayores sin evidencia aparente de efectos perjudiciales. En este contexto, los expertos son conscientes de que los valores de referencia para la ingesta máxima de EPA+DPA+DHA en Australia y Nueva Zelanda se ha establecido en 3g diarios (NHMRC, 2006) y que la US Food and Drug Administration ha establecido un valor de 3.000 mg diarios para los LCPUFA n-3 considerado como seguro (“Generally Regarded as Safe”) (FAO y FINUT, 2012). Sin embargo, muchos ingredientes funcionales como los que se acaban de mencionar pueden afectar las características del producto, incluida la textura, que es muy importante para la aceptación del consumidor. Aparte, la incorporación de ingredientes en las matrices alimentarias es un proceso complejo por lo que se requiere de tecnologías como la ultrasonificación.

2.9 ULTRASONICACIÓN

En los últimos años ha habido mucha actividad en el área empleando ultrasonido para procesar e interactuar con alimentos líquidos principalmente con lácteos y jugos de frutas. Las principales frecuencias utilizadas para el procesamiento ultrasónico parecen estar en la región del ultrasonido de potencia, siendo el rango de 20-25 kHz el más popular. El ultrasonido induce efectos mecánicos, químicos y bioquímicos en líquidos a través de la producción y posterior colapso de burbujas de cavitación. Si la frecuencia del sonido aplicada es de suficiente intensidad, se producen vacíos dentro del líquido que se conocen como cavidades. A medida que estas cavidades crecen, eventualmente se vuelven inestables y colapsan

liberando altas temperaturas y presiones a escala microscópica. Es este colapso cavitacional el que genera la energía para varios efectos observados durante el procesamiento de alimentos, como la reducción del tamaño de los glóbulos de grasa, una mayor homogeneidad de los líquidos y una mayor extracción. La emulsificación de los productos lácteos es de interés y varios estudios han examinado el efecto de los ultrasonidos sobre el grado de emulsificación y la homogeneización general de la bebida final. Otros autores emplean ultrasonido para fraccionar el líquido de la leche y eliminar las capas de grasa para producir un menor contenido de grasa. La estabilidad de los productos lácteos durante el almacenamiento se examina a menudo en términos de homogeneidad de la leche, tamaño de los glóbulos de grasa y grado de emulsificación. Muchos investigadores observan un aumento de la emulsificación y una reducción del tamaño de los glóbulos de grasa en la leche tratada con ultrasonidos, lo que parece dar como resultado un producto final más estable. Es la producción de burbujas de cavitación lo que ayuda a la formación de emulsiones más estables cuando los líquidos se tratan con ultrasonidos. El colapso de las burbujas de cavitación inestables da como resultado niveles mejorados de turbulencia, mezcla y fuerzas de corte dentro del líquido a granel. Los glóbulos de grasa atrapados en estas fuerzas se rompen y se reducen de tamaño. Cuanto mayor sea el tiempo de sonicación, mayor será la reducción del tamaño de las gotas y más estable será la emulsión final producida. Sin embargo, se cree que la sonicación durante más de 5 min de tratamiento ultrasónico no aporta ningún beneficio adicional (Paniwnyk, 2017). Se probó el uso de la sonicación para la fortificación de queso fresco con omega-3; Se eligieron tres tiempos de procesamiento para la pasteurización de la leche (5, 10 y 30 min) y se utilizó linaza como fuente de omega-3. La mayor concentración de omega-3 (5,12 mg/g) se observó después de 5 min de tratamiento; mientras tanto, la concentración disminuyó de acuerdo con el tiempo de procesamiento hasta 4,11 mg/g. La razón de la disminución de la concentración de omega-3 durante la sonicación podría ser atribuido a problemas de oxidación. Dado que el ultrasonido genera calor durante el procesamiento, incluso cuando la temperatura está controlada por una fuente externa, se podría promover la

oxidación para la generación instantánea de calor (puntos calientes), pero también debido a la intensa cavitación que tiene lugar durante la sonicación que genera implosiones y explosiones. en la leche con la presencia constante de oxígeno. Además, las fuentes externas, como el material de algunos sonotrodos, podrían provocar la oxidación de los lípidos. Sin embargo, la concentración de omega-3 que se encuentra en el queso fresco después de la sonicación es lo suficientemente buena como para ser considerada una fuente de nutrientes (Bermudes-Aguirre et al., 2015).

3. ANTECEDENTES

Borges et al. (2019) Evaluaron la textura y las características sensoriales del queso de leche de oveja reducido en grasa utilizando inulina como sustituto de grasa. Se prepararon tres formulaciones de queso fresco de leche de oveja, a saber, queso de leche entera (WMC), queso semidesnatado (SSC) y queso semidesnatado con 50 g de inulina/1 L de leche (SSCI). Se realizó un análisis de perfil de textura, con muestras cilíndricas de 5 cm de diámetro y 2 cm de altura. Los parámetros medidos fueron firmeza, adhesividad, cohesión, elasticidad y gomosidad. Se estudió su composición química. El análisis sensorial se realizó en dos sesiones diferentes. La primera sesión se realizó a los 7 días después de la producción de queso de oveja y la segunda sesión a los 21 días después de la producción de queso. Obtuvieron que la composición química de SSCI fue similar a la de SSC. La adhesividad de SSCI fue mayor que la de SSC después de 21 días de almacenamiento en frío ($P < 0.05$). Se observó un aumento de la adhesividad durante el almacenamiento de SSCI, y lo mismo se observó para WMC ($P < 0.05$). La adición de inulina a los quesos SSCI produjo parámetros de textura (firmeza, adhesividad, cohesión y gomosidad) con características intermedias entre SSC y WMC. Todas las formulaciones presentaron puntuaciones superiores a 7.6 en el análisis sensorial. En conclusión, el uso de inulina en queso de oveja semidesnatado permitió la elaboración de quesos con propiedades texturizantes similares al queso de oveja de leche entera,

posibilitando el desarrollo de un alimento con menor contenido calórico y características beneficiosas valoradas por los consumidores.

Juan et al. (2013) Desarrollaron un queso reducido en grasa con inulina añadida, para tener características sensoriales similares al producto convencional. Un queso fresco de leche de vaca baja en grasa con inulina (3%) se comparó con los quesos con y sin grasa sin prebiótico. El pH y la calidad microbiológica de los quesos no se vieron afectados por la presencia de inulina. Los quesos producidos con inulina eran menos duros, elásticos, cohesivos y masticables que los quesos bajos en grasa y más similares a los quesos elaborados con leche entera. Los quesos producidos con inulina tenían los valores más bajos de luminosidad y amarillez, aunque los panelistas no detectaron estas diferencias de color. El panel sensorial describió el queso bajo en grasa con inulina como más aceptable que su contraparte sin inulina

Sark et al. (2014) Investigaron el impacto de la adición de inulina en las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales del queso fundido para untar bajo en grasa. Se añadió inulina a niveles de 5, 7 y 9% (p/p) y sus cantidades se redujeron del contenido total de proteínas. También se llevaron a cabo dos muestras de control, entera en grasa (C1) y baja en grasa libre de inulina (C2) para la comparación. Todos los quesos elaborados para untar se investigaron por sus características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales cuando estaban frescos y después de 60 días de almacenamiento en frío. La sustitución de la proteína de la leche en el queso fundido para untar con bajo contenido de grasa con inulina al 5% redujo la dureza y aumentó la adhesividad del queso fundido con inulina añadida que el queso bajo en grasa sin inulina. La inulina también mostró un efecto positivo en la media de la capacidad para untar y la aceptación sensorial de los quesos para untar bajos en grasa. Las condiciones de procesamiento afectaron negativamente a la estabilidad de la inulina en el producto final. Las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de los quesos para untar con bajo contenido de grasa se mejoraron drásticamente mediante la adición de

inulina, especialmente a un nivel de baja concentración (5%) para acercarse a las del queso para untar con toda la grasa.

Shanmugam et al. (2014) Estudiaron las emulsiones de 7 y 21% de aceite de semilla de lino en leche desnatada homogeneizada pasteurizada (PHSM) usando ultrasonido de alta intensidad (US) a 20 kHz entre 1 y 8 min y con niveles de potencia variables. Obtuvieron que un tiempo de proceso mínimo de 3 minutos a una potencia de 176 W fue suficiente para producir gotas de emulsión (7% de aceite) con un diámetro medio de volumen medio de 0,64 μm y fueron estables al menos 9 días a 42 °C. Una proporción muy pequeña (menos del 20%) de proteínas de suero parcialmente desnaturizadas proporcionó estabilidad a las gotitas de la emulsión. Para ver si otras técnicas de alto cizallamiento pueden generar emulsiones estables, se llevaron a cabo experimentos utilizando Ultraturrax (UT) a densidades de energía similares a las US. UT no produjo emulsiones estables hasta 20 minutos de procesamiento, lo que sugiere la superioridad del proceso de emulsificación de US.

Salvatore et al. (2014) El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del reemplazo de grasa con inulina de cadena larga en las propiedades de textura y microestructura de un queso fresco de leche caprina. Todas las muestras contenían el mismo nivel de sólidos totales (aproximadamente 22%, p / p) y sustitución de grasa con inulina en niveles del 2% al 7%. Los parámetros de penetrometría se vieron afectados por los niveles de reemplazo de grasa con inulina; Las muestras que contenían inulina se caracterizaron por valores más bajos de fuerza de compresión, rigidez, viscosidad y adhesividad (a excepción de la muestra con 2% de sustitución de grasa). Las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) mostraron que la colocación de inulina dentro del gel interrumpió la red de caseína / grasa. En conclusión, los resultados reológicos dependían de la disposición de la inulina dentro de la red de proteínas / grasas y, en particular, como se muestra en las imágenes SEM, de la agregación de inulina durante la elaboración del queso.

4. JUSTIFICACIÓN

El queso panela es un producto muy popular y consumido en México, ya que contiene un alto contenido de proteínas, bajo en sales y bajo contenido en grasa, por lo tanto, se considera saludable, sin embargo, por su alto contenido de humedad tiene una gran tendencia a la sinéresis, afectando así las características físicas del queso y la preferencia del consumidor.

Estudios han demostrado que la adición de componentes bioactivo como la inulina y los ácidos grasos omega-3 en la elaboración de alimentos no solo aportan propiedades funcionales, sino que también ayudan a mejorar algunos atributos, como la textura. Sin embargo, adicionar ingredientes a la matriz alimentaria es un proceso complicado por lo que se requiere de tecnologías como la ultrasonificación para disminuir el tamaño de diámetro de glóbulo de grasa.

5. OBJETIVO

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales de queso tipo panela, adicionado con inulina y ácidos grasos omega-3.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la leche mediante las normas oficiales mexicanas.
- Obtener leche enriquecida con ácidos grasos omega-3 a tres concentraciones diferentes mediante ultrasonificación y observar la emulsión en el microscopio óptico.
- Evaluar las características químicas del queso tipo panela con leche enriquecida con ácidos grasos omega-3, utilizando concentraciones diferentes de inulina.
- Analizar durante un periodo de almacenamiento de 15 días las características físicas y seleccionar los tratamientos con menor intervalo de sinéresis y textura de los quesos tipo panela elaborados.

- Evaluar sensorialmente los quesos tipo panela seleccionados en base a sus características físicas.
- Cuantificar el porcentaje de ácidos grasos omega-3 por cromatografía de gases y analizar microbiológicamente durante un periodo de almacenamiento de 15 días los mejores tratamientos evaluados sensorialmente.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La leche fue obtenida del hato de vacas comunes mezcladas con vaca holandesas, dando así origen a vacas sintéticas del rancho Santa María de Guadalupe, Palmilla, Tuxtepec. Se utilizó una mezcla de ácidos grasos omega-3 de aceite de salmón noruego de *All Nature*TM con un contenido de 0.29 g de ácido eicosapentaenoico (EPA), 0.20 g de ácido docosahexaenoico (DHA), 0.02 g de ácido docosapentaenoico (DPA) y 0.01 g de proteína. Inulina de agave orgánico, sabor natural, *Enature*TM

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA LECHE DE ACUERDO CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

Las muestras de leche fueron analizadas por triplicado. Se determinó el contenido de grasa, proteínas, acidez titulable y densidad de acuerdo a la NOM-155-SCFI, 2012. El pH fue de acuerdo a NMX-F-446-1984. Los procedimientos se encuentran en el Anexo A.

6.1.2 Estandarización de la leche y adición de la inulina

La leche fue previamente calentada a 45 °C, se descremó utilizando en una descremadora marca ELECREM con capacidad de 10 L y se estandarizó al 1.5 y 2% de grasa. Se pasteurizó a 63 °C/30 min, inmediatamente se adicionó inulina en diferentes concentraciones (1, 3, y 5%).

6.1.3 Leche adicionada con ácidos grasos omega-3

Se adicionó una mezcla de ácidos grasos Omega-3 a diferentes concentraciones (0.05, 0.25 y 0.50%) en 200 mL de leche pasteurizada y descremada. Las muestras se sometieron a ultrasonificación utilizando un ultrasonicador marca Hielscher UP400 St (Hielscher Ultrasonics Alemania) equipado con un sonotrodo de titanio S24d40 (diámetro de punta de 40 mm) utilizando una amplitud de 100%, una potencia de 186 W y un tiempo de 5 min. Posteriormente fueron observadas en un microscopio óptico (LEICA, DM750P).

6.2 ELABORACIÓN DE QUESO TIPO PANELA ADICIONADO CON INULINA Y ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

Una vez obtenida la leche enriquecida con ácidos grasos omega-3 e inulina, los quesos se elaboraron siguiendo la metodología de Paz et al. (1998). , se obtuvieron lotes de 2 L por tratamiento, se adicionó CaCl_2 (20 g/100 L de leche) a 43 °C y se atemperó a 37 °C se adicionó el cuajo marca Cuamex (15 mL/100 L) y se mantuvo en reposo por 30 min, la cuajada se cortó de manera horizontal y vertical para obtener cubos de aproximadamente 1 cm³ , se agitó durante 5 min para favorecer el desuerado y posteriormente se calentó a 39 °C incrementando 1 °C por cada min, se agitó lentamente y se desueró las $\frac{3}{4}$ partes del suero obtenido, una vez desuerada la cuajada, se adicionó NaCl (8 g de sal/ L de leche), se moldeó y refrigeró durante 2 h, posterior a este tiempo se volteó la cuajada y se refrigeró (4 °C \pm 1 ° C) durante 24 h. Pasado este tiempo se procedió al desmoldado y empaquetado para sus posteriores análisis. Como controles fueron utilizados quesos con 1.5 y 2% de grasa en leche sin adición de inulina y ácidos grasos omega3. En el anexo B se puede observar el proceso de la elaboración de quesos tipo panela con inulina y ácidos grasos omega-3.

Tabla 5. Diseño experimental de los quesos tipo panela elaborados

Tratamiento	Porcentaje de grasa en leche		Porcentaje de inulina en el queso panela			Porcentaje de Ácidos grasos omega-3 en el queso panela		
	1.5 %	2%	1%	3%	5%	0.05%	0.25%	0.50%

T1	X							
T2	X		X					
T3	X		X			X		
T4	X		X				X	
T5	X		X					X
T6	X			X				
T7		X		X		X		
T8		X		X			X	
T9		X		X				X
T10		X			X			
T11		X			X	X		
T12		X			X		X	
T13		X			X			X
T14		X				X		
T15		X					X	
T16		X						X
T17		X						
T18		X	X					
T19		X	X			X		
T20		X	X				X	
T21		X	X					X
T22		X		X				
T23		X		X		X		
T24		X		X			X	
T25		X		X				X
T26		X			X			
T27		X			X	X		
T28		X			X		X	
T29		X			X			X
T30		X				X		

T31		X					X	
T32		X						X

6.3 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL QUESO PANELA.

Las muestras de queso tipo panela fueron analizadas por triplicado. Se determinó el contenido de humedad AOAC 2005 (método 926.08); contenido de cenizas por el AOAC 2005 (método 935.42); contenido de grasa mediante el método de Gerber (NMX-F-100-1984); y proteína total mediante el método Kjeldahl (NMX-F-098-1976). El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de los componentes. En el Anexo C se encuentran las determinaciones que se le realizaron a los quesos.

6.4 ANÁLISIS FÍSICO DEL QUESO PANELA.

6.4.1 Determinación del porcentaje de sinéresis y rendimiento

Los quesos después de 4 h de haberse mantenido en bolsas de plástico a una temperatura de 6 °C, se pesaron y se expusieron a una temperatura de 25 °C en una cámara de incubación durante 1 h; transcurrido este tiempo se extrajo el suero eliminado de cada queso y se midió su volumen. Simultáneamente el queso fue nuevamente pesado, de tal manera que la sinéresis fue evaluada en función al queso y se reportó como mL de suero/g de muestra, Paz et al. (1998). El mismo procedimiento se siguió durante los 15 d de almacenamiento. El rendimiento fue evaluado en base a kg de queso por kg de leche empleada.

6.4.2 Determinación de textura

Se realizó el análisis de perfil de textura (PT) de las muestras de quesos tipo panela utilizando un texturómetro (TA-XT plus, Stable Microsystems Inc., Reino Unido). Los parámetros evaluados del perfil de textura fueron: dureza, cohesividad, adhesividad y gomosidad en muestras cilíndricas de queso de 3 cm de diámetro y 2 cm de altura. Las pruebas se llevaron a cabo a una velocidad de 10 mm/s y una distancia de penetración de 10 mm. Se utilizó una sonda de compresión de 75 mm

de diámetro. Las condiciones de operación fueron a una distancia de compresión de 30 mm. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado.

6.5 ANALISIS SENSORIAL

Se aplicó la técnica de descripción sensorial perfil flash (PF) para la obtención de atributos sensoriales y el posicionamiento de los quesos evaluados, esta técnica consiste en cuatro sesiones, según Gómez Alvarado et al. (2010).

6.5.1 Reclutamiento y entrenamiento de catadores

Se invitó a los alumnos de maestría y residentes del Instituto Tecnológico de Tuxtepec, para formar parte de catadores, a todos los interesados se les solicitó su nombre y edad, durante la primera sesión, se usaron dos marcas de quesos panelas comerciales donde se codificaron con tres números diferentes, los quesos comerciales fueron divididos en dos partes, la primera fue sumergida en ácidos grasos omega-3, y la segunda sin ácidos grasos omega-3, en total fueron 4 tratamientos comerciales. Se les pidió que generaran una lista individual de atributos en sabor, textura y olor, con el propósito de ayudar a los sujetos en el desarrollo de los atributos sensoriales, se les instruyó para la percepción y agrupación de los términos de apariencia, textura (en tacto y en boca), olor y aroma por separado. En la segunda sesión se les pidió a los sujetos comparar su lista con la del resto del grupo y así actualizar su lista final si lo consideraban necesario. fue la sesión de selección y eliminación de términos descriptivos no deseados empleando la siguiente fórmula: $M = \sqrt{F \cdot I}$ (donde M=media aritmética, F=frecuencia con la que es mencionado el atributo descriptivo por los panelistas e I=intensidad con la que se percibe el atributo descriptivo por los panelistas (AFNOR ISO 11035, 1995; NC-ISO 8586-1: 2004). La tercera sesión fue definir los atributos seleccionados. En la tabla 6 se muestra la codificación de los mejores tratamientos de quesos elaborados.

6.5.2 Análisis sensorial de queso tipo panela.

La cuarta sesión fue medir la intensidad y el nivel de agrado de las propiedades sensoriales de los quesos obtenidos, estos fueron evaluados por el panel entrenado conformado por 11 catadores (4 hombres y 7 mujeres) con un rango de edad de entre 20 y 27 años, fueron reclutados en el Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca de un total de 16 entrevistados. se utilizó una prueba de intervalo usando una escala no estructurada donde solo se definieron los extremos de las escalas, a cada catador se le sirvió una muestra de queso cortada cilíndricamente a un tamaño homogéneo de 1 cm³ y colocada en platos y codificados con tres dígitos diferentes, las muestras de queso fueron presentadas

JUEZ	Codificación de las muestras de queso fresco						
Juez 1	149	647	249	945	353	235	568
Juez 2	149	647	249	945	353	235	568
Juez 3	149	647	249	945	353	235	568
Juez 4	149	647	249	945	353	235	568
Juez 5	149	647	249	945	353	235	568
Juez 6	149	647	249	945	353	235	568
Juez 7	149	647	249	945	353	235	568
Juez 8	149	647	249	945	353	235	568
Juez 9	149	647	249	945	353	235	568
Juez 10	149	647	249	945	353	235	568
Juez 11	149	647	249	945	353	235	568
Codificación de las muestras de queso fresco	149=T1	647=T13	249=T28	945=T24	353=T25	235=T17	568=T29

a los sujetos de manera simultánea múltiple y en orden aleatorio (Gómez Alvarado et al., 2010). Se evaluaron los 5 mejores tratamientos de quesos tipo panela con adición de omega-3 e inulina a diferentes concentraciones, en los que se incluyó un queso control, elaborados a partir de leche estandarizada a un contenido de 1.5 y 2% de grasa con las mismas condiciones de estandarización, teniendo así 7 muestras. Las pruebas se realizaron en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Con los datos obtenidos se obtuvo el perfil sensorial por medio de una gráfica radial. En anexo D se encuentran los formatos utilizados para análisis sensorial.

Tabla 6. Codificación de los mejores tratamientos de queso tipo panela.

6.6 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL QUESO PANELA.

Se utilizaron muestras de 10 g y se transfirieron asépticamente en contenedores estériles y se homogenizaron en 90 mL de agua peptonada esteril Se analizaron microbiológicamente de acuerdo a la NOM-243-SSA1-2010 (anexo E). Determinando Coliformes totales, *Staphylococcus aureus*, Salmonella, Mohos y Levaduras.

6.7 CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

6.7.1 Extracción de la fase lipídica del queso

Se pesó 100 g de muestra de queso tipo panela que fueron homogenizado en una licuadora (Oster Core, México) durante 2 minutos con 75 mL de cloroformo, 150 mL de metanol y 75 mL de agua destilada. A la mezcla se le agregó 75 mL de cloroformo y se licuo nuevamente por 30 s, posteriormente al homogenizado se le adicionó 75 mL de agua destilada y se licuó por 30 s. El homogenizado se filtró a través de un papel filtro Whatman No. 1 en un embudo Büchner con ayuda de una bomba de vacío (ED330, Edwards High Vacuum, Gran Bretaña) el residuo seco del papel filtro se volvió a mezclar con 75 mL de cloroformo (adicionados dosificadamente con ayuda de una pipeta Pasteur. El filtrado se transfirió a un tubo de plástico para centrifugarlo; se centrifugó a 2365 rpm x 10 min a 30 °C en una centrifuga (Rotina 380R, Hettich zentrifugen, Alemania), se dejó reposar unos minutos para que se presentara la separación de las fases. Posteriormente se procedió a la separación de las fases con ayuda de una pipeta Pasteur, eliminando la fase alcohólica y recuperando la fase clorofórmica en un tubo de ensaye. Esta última fase es la que contiene el lípido purificado. Al presentarse turbidez, se le adicionó Na₂SO₄ anhidro previamente secado en un horno eléctrico para su secado y esterilizado (BM/401, Riossa, México) con la finalidad de asegurar que la fase alcohólica fue eliminada; se agitó el tubo de ensaye en un Vortex 30 s y se volvió a centrifugar a 2365 RPM x 10 min a 30 °C. La fase clorofórmica fue recuperada del tubo para centrifugar con ayuda de una pipeta

Pasteur y se colocó en un matraz de bola, el cual fue llevado al rotavapor (R-3, BUCHI Labortechnik AG, Suiza) que previamente fue programado a 45 °C (considerando el punto de ebullición de los solventes utilizados) durante 10-15 min. Finalizando esta última etapa, la fase clorofórmica que contiene el lípido purificado fue guardado en tubos Eppendorf identificados y se almacenaron en refrigeración hasta su posterior utilización.

6.7.2 Metilación de muestras de queso tipo panela

La metilación se realizó pesando 200 mg de muestra del lípido extraído previamente a un tubo de ensaye con tapón de rosca. Se le adicionó 1 mL de la mezcla metanol-HCl 2:1 y se calentó a baño seco a 80 °C x 20 min, posteriormente se dejó enfriar a 25 °C. Se adicionó 200 µL de agua destilada a cada tubo metilado y 2 mL de hexano; se agitó con un vortex y con ayuda de una pipeta Pasteur se retiró el hexano. Se agregó sulfato de sodio anhidro previamente secado en un horno eléctrico para su secado y esterilizado (BM/401, Riossa, México) y centrifugado por 5 min. Al final se obtuvo la muestra y fue vaciada a cada vial, identificándolos y refrigerándolos hasta su análisis por cromatografía de gases.

6.7.3 Análisis del perfil lipídico por cromatografía de gases

Las muestras fueron analizadas utilizando un Cromatografo de gases (CG) (Agilent technologies, modelo 7820A, Shanghai, China) para determinar su contenido de ácidos grasos, usando una columna SUPELCOWAX™ capilar de sílica fundida 60 m x 320 µm de diámetro interno x 0.25 µm de espesor de la partícula. Las condiciones fueron las siguientes: puertos de inyección y detección por ionización de llama (FID) fueron programadas a 210 °C, el gas transportador fue nitrógeno con un flujo de 3 mL/min; la presión de la columna fue de 25.821 Psias. Las muestras fueron eluidas de la columna usando un gradiente de temperatura de 120 a 250 °C en una rampa de temperatura de 5, 7 y 10 °C por

minuto, en un tiempo total de 24 min. Se inyectó como estándar: una mezcla de ácidos grasos omega-3 de aceite de salmón noruego de marca comercial All Nature con un contenido de 0.29 g de ácido eicosapentaenoico (EPA), 0.20 g de ácido docosahexaenoico (DHA), 0.02 g de ácido docosapentaenoico (DPA) y otros ácidos grasos.

6.8 ANÁLISIS DE CONTENIDO ENERGÉTICO

Para el contenido energético se utilizaron los resultados químicos que se obtuvieron del queso tipo panela elaborado, usando el sistema de factores específicos de Atwater, un refinamiento basado en un nuevo examen del sistema de Atwater, fue introducido en 1955 por Merrill y Watt (1955). Integra los resultados de 50 años de investigación y deriva diferentes factores para proteínas, grasas y carbohidratos, según los alimentos en los que se encuentran. Se usó valores promedio de proteínas, grasas y carbohidratos totales, basándose en la tabla de Atwater (FAO, 2002).

6.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía y la prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$ empleando el software estadístico Minitab v.17. y statistica v.10 para las correlaciones con $p < 0.05$.

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 ANÁLISIS DE LA LECHE DE ACUERDO CON LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS.

Los resultados de los análisis que se determinaron a la leche se muestran en la tabla 7. Se observa que la leche se encuentra dentro de lo establecido por las NOM-155-SCFI-2012 y la NMX-F-446-1984 a excepción de las proteínas con 41 g/L y grasas con 40 g/L, esto es debido a varios factores, entre ellos la raza de la vaca (la leche ordeñada fue proveniente de vacas comunes mezcladas con vaca

holandesas, dando así origen a vacas sintéticas) y por el tipo de alimentación que se les brinda (cebada mezclada con melaza, pastos). En este caso, la leche utilizada se puede considerar rica en proteínas y grasa, sin embargo, para fines del proyecto la leche se estandarizó a contenidos de grasa de 1.5 y 2 %.

Tabla 7. Análisis de la leche de acuerdo con las normas oficiales mexicanas.

Prueba	Leche pasteurizada	Normas
Acidez (g/L de ácido láctico)	1.38±0.05	1.33-1.7 g/L de ácido láctico (NOM-155-SCFI-2012)
Proteína g/L	41±0.13	30 g/L (NOM-155-SCFI-2012)
Grasa g/L	40±0.1	30 g/L (NOM-155-SCFI-2012)
pH	6.42±0.01	6.6-6.8 (NMX-F-446-1984)
Densidad g/mL	1.03±0.002	1.029-1.032 g/mL (NOM-155-SCFI-2012)

Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar.

7.2 MICROSCOPIA ÓPTICA DE LECHE AL 1.5 Y 2% DE GRASA (RESOLUCIÓN 63X)

Se observó en el microscopio óptico una notable disminución del tamaño de glóbulos de grasa cuando la leche fue sometida a ultrasonificación (figura 7 A, C, E, G, I y K), esto es debido a la variación de presión provocada por las ondas de sonido en la leche (conocido como cavitación acústica), lo que provoca una implosión y disminución del tamaño de las gotas (Modarres et al., 2018). Shanmugam et al., 2014 describe la emulsión ultrasónica como un proceso en dos pasos: en el primer paso, la turbulencia causada por la vibración mecánica conduce a la erupción de las gotas de la fase dispersa en la fase continua y el segundo paso consiste en la ruptura de las gotas a través de las fuerzas de corte generadas por cavitación en la interfaz. El proceso también se puede describir como dos “pasos” elementales opuestos: el primero es la ruptura de la gota que conduce a la formación de varias gotas más pequeñas y la coalescencia de la gota que conduce a la formación de una gota más grande.

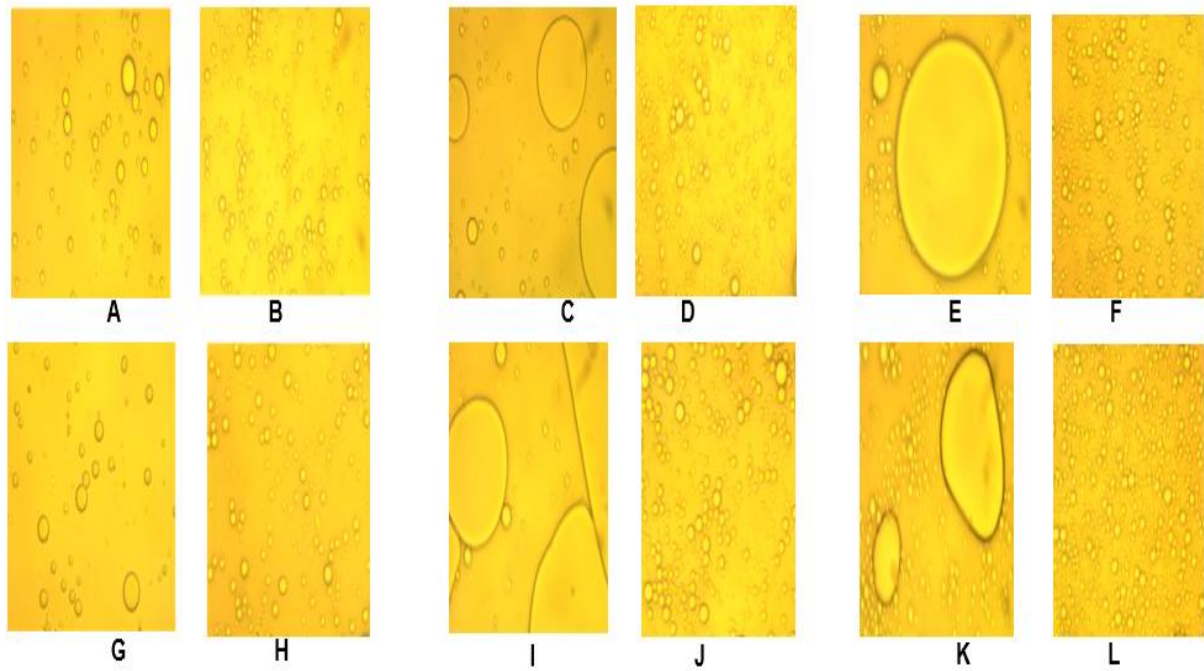


Figura 7. Micrografía de leche de vaca

7.3 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LOS QUESOS TIPO PANELA ELABORADOS.

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de los quesos tipo panela elaborados. En la tabla 8 se muestra la correlación de datos entre los resultados obtenidos de las distintas pruebas de análisis. Los resultados en negritas muestran una correlación significativa ($p < 0.05$).

Tabla 8. Correlación de datos entre los resultados obtenidos de las distintas pruebas de análisis.

Variable	%H	%C	%G	%P	%CT	DU	CO	AD	GO	pH	%S	%R
[GL]	-0.75	-0.36	0.90	0.62	0.13	-0.55	-0.90	0.42	-0.80	-0.07	-0.80	0.91
%IN	-0.50	0.02	-0.05	0.31	0.82	-0.63	-0.04	-0.50	0.03	-0.52	-0.50	0.28
%O	-0.33	-0.06	0.51	0.53	-0.08	-0.30	-0.18	0.12	-0.15	-0.27	-0.12	0.14
%H	1.00	0.24	-0.79	-0.87	-0.53	0.87	0.79	-0.09	0.64	0.37	0.85	-0.89
%C		1.00	-0.37	-0.16	-0.21	0.13	0.32	-0.34	0.29	-0.11	0.26	-0.35
%G			1.00	0.71	0.04	-0.57	-0.88	0.43	-0.76	-0.11	-0.73	0.87
%P				1.00	0.20	-0.80	-0.72	0.08	-0.61	-0.46	-0.73	0.75
%CT					1.00	-0.54	-0.15	-0.27	-0.03	-0.22	-0.42	0.35
DU						1.00	0.70	0.05	0.51	0.57	0.86	-0.79
CO							1.00	-0.36	0.85	0.18	0.80	-0.91
AD								1.00	-0.34	0.38	-0.15	0.29
GO									1.00	0.05	0.64	-0.79
pH										1.00	0.44	-0.27
%S											1.00	-0.89
%R												1.00

Los resultados en negritas muestran una correlación significativa de p (<0.05). GL= grasa en leche, IN= diferentes porcentajes de inulina, O= diferentes porcentajes de omega-3, %H= porcentaje de humedad, %C= porcentaje de cenizas, %G= porcentaje de grasa, %CT= porcentaje de carbohidratos, DU= dureza, CO= cohesividad, AD= adhesividad, GO= gomosidad, %S= porcentaje de sinéresis y %R= porcentaje de rendimiento.

La composición química de los quesos tipo panela elaborados se muestra en las figuras 8, 9, 10 y 11. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de humedad, grasas, proteínas y carbohidratos totales con respecto a los controles.

En humedad (figura 8) se observó una disminución de 72.72-63.14% en quesos con 1.5% de grasa en leche y 63.75-54.75% en quesos con 2% de grasa en leche, con una correlación de $R=-0.75$, es decir a mayor concentración de grasa menor contenido de humedad. Esta disminución también se vio correlacionada con la adición de inulina, a mayor concentración de inulina, el porcentaje de humedad disminuyó con una correlación de $R=-0.50$ esto es debido a la naturaleza higroscópica de la inulina que favoreció la absorción de humedad en el queso y al aumento proporcional del contenido total de sólidos en el queso (Giri et al., 2017).

En proteínas (figura 9) se observó un incremento en el porcentaje, debido al efecto de concentración de sólidos, con una correlación con respecto a la humedad de $R=-0.87$, esto es, a menor porcentaje de humedad mayor contenido de proteínas. También se encontró una correlación de $R= 0.62$ con respecto al contenido de grasa en leche es decir quesos con 1.5% de grasa en leche tuvieron un contenido de proteínas de 18.34-22.26 % y quesos con 2% de grasa en leche de 20.43-25.51 %. Otro factor es la concentración de ácidos grasos omega-3 con una correlación de $R=0.53$, esto es debido a que las mezclas utilizadas contenían 0.01 g de proteínas. Los resultados se compararon con la norma COFOCALEP-2012, en porcentaje de humedad los quesos control se obtuvieron con un incremento entre 4 y 10 % por encima de lo establecido por la norma, sin embargo, los quesos con 3 y 5% de inulina al 2% de grasa en leche se encontraron dentro de lo establecido por la norma (62% de humedad). El contenido de proteínas en los quesos estuvo entre 18–25% siendo valores superiores a lo marcado por la norma (17%) por lo tanto los quesos elaborados se consideran ricos en proteínas. En cuanto al contenido de grasa (figura 10) se encontró que el aumento de la concentración de grasa en leche favoreció el incremento significativo del contenido de grasa los quesos obteniéndose valores entre 4 y 10% aproximadamente, con una correlación de $R=0.90$; el incremento de grasa también fue afectado significativamente por la adición de omega-3 con una correlación de $R=0.51$. Quesos bajos en grasa poseen entre 5-6% de grasa de acuerdo a Amador-Espejo et al. 2021. Por otro lado, la adición de inulina al 3 y 5% incrementó

significativamente el porcentaje de carbohidratos totales (figura 11) con respecto al control, con una correlación significativa de $R=0.82$. sin embargo, los valores obtenidos fueron similares comparados a la norma COFOCALEC-2012. En cuanto a porcentaje de cenizas no se encontraron diferencias estadísticas significativas respecto al control.

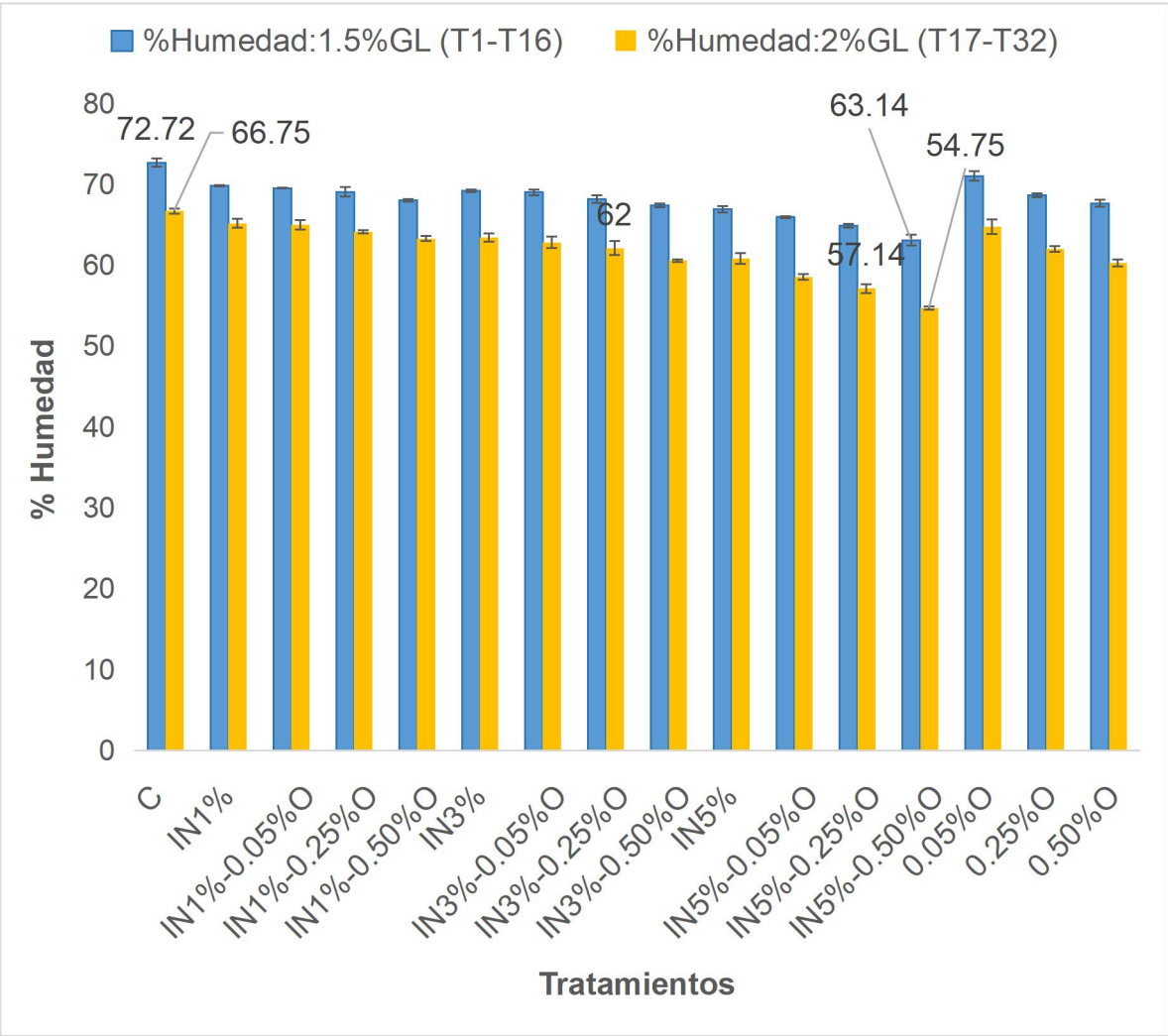


Figura 8. Análisis del porcentaje de humedad en los quesos tipo panela elaborados. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

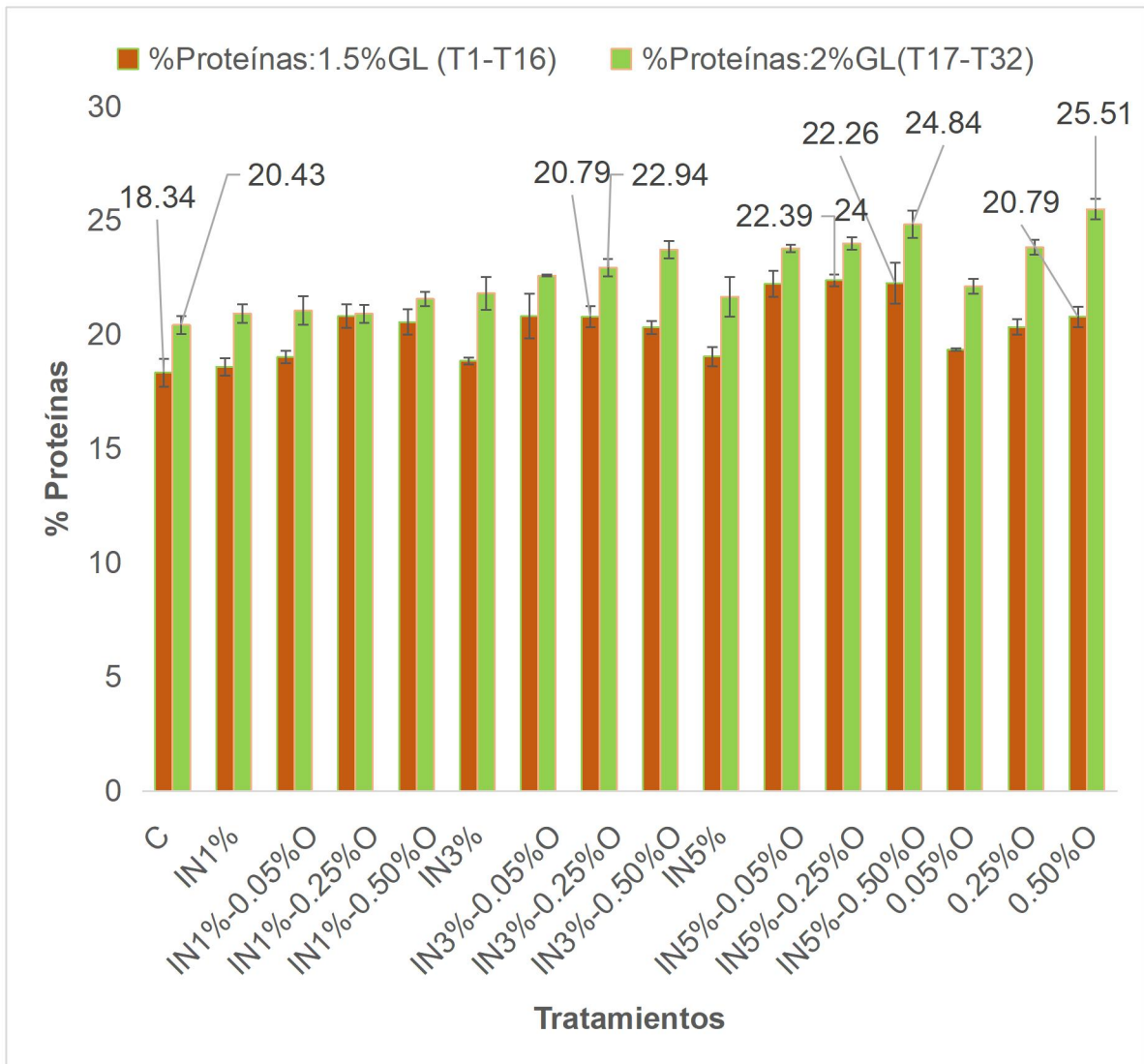


Figura 9. Análisis del porcentaje de proteínas en los quesos tipo panela elaborados. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

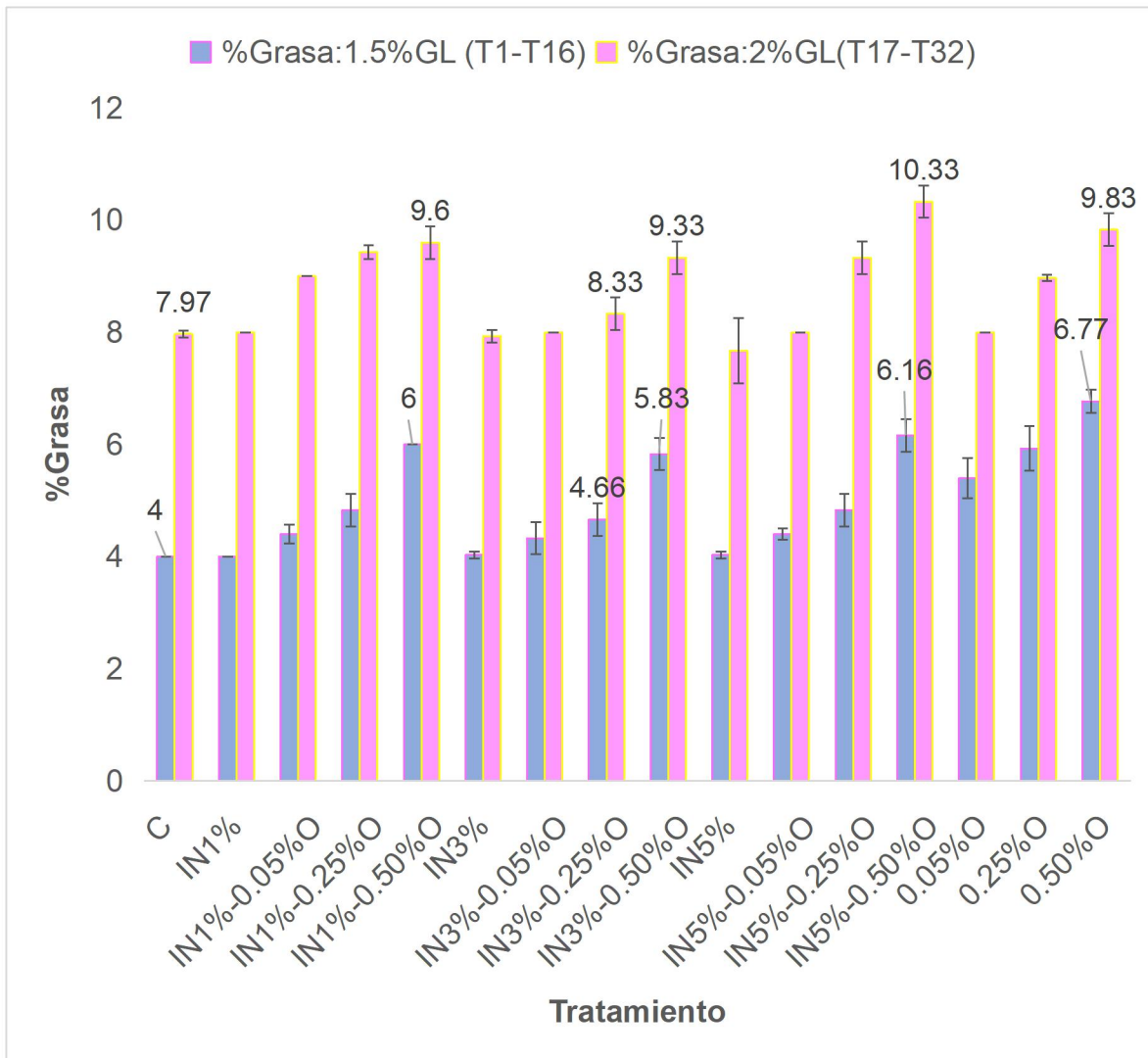


Figura 10. Análisis del porcentaje de Grasa (A) en los quesos tipo panela elaborados. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

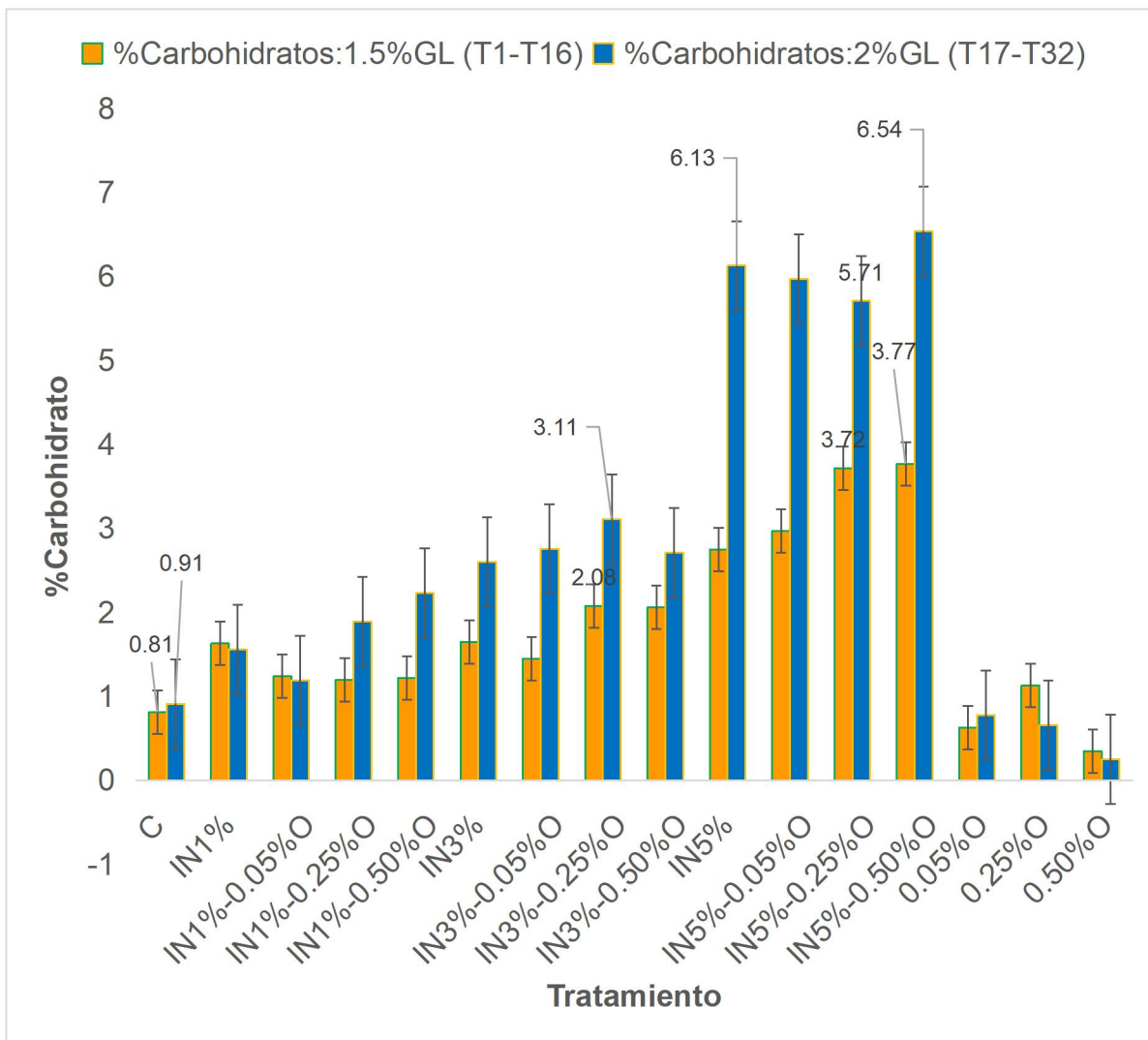


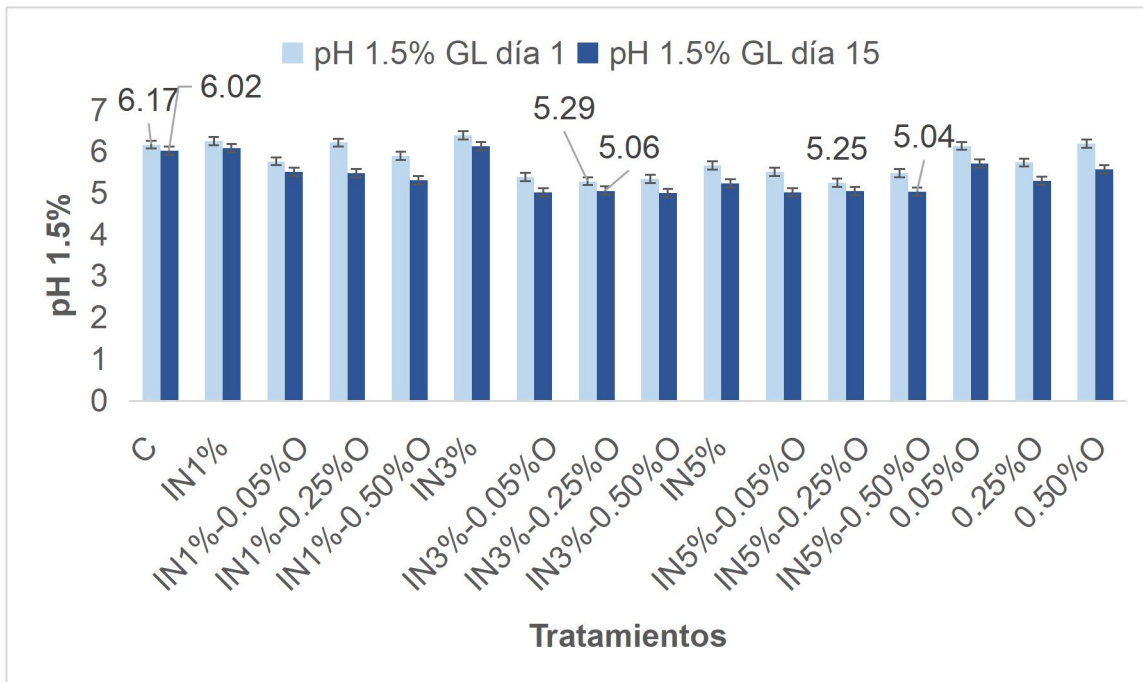
Figura 11. Análisis del porcentaje de carbohidratos totales en los quesos tipo panela elaborados. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

7.4 ANÁLISIS DE pH, SINÉRESIS Y RENDIMIENTO

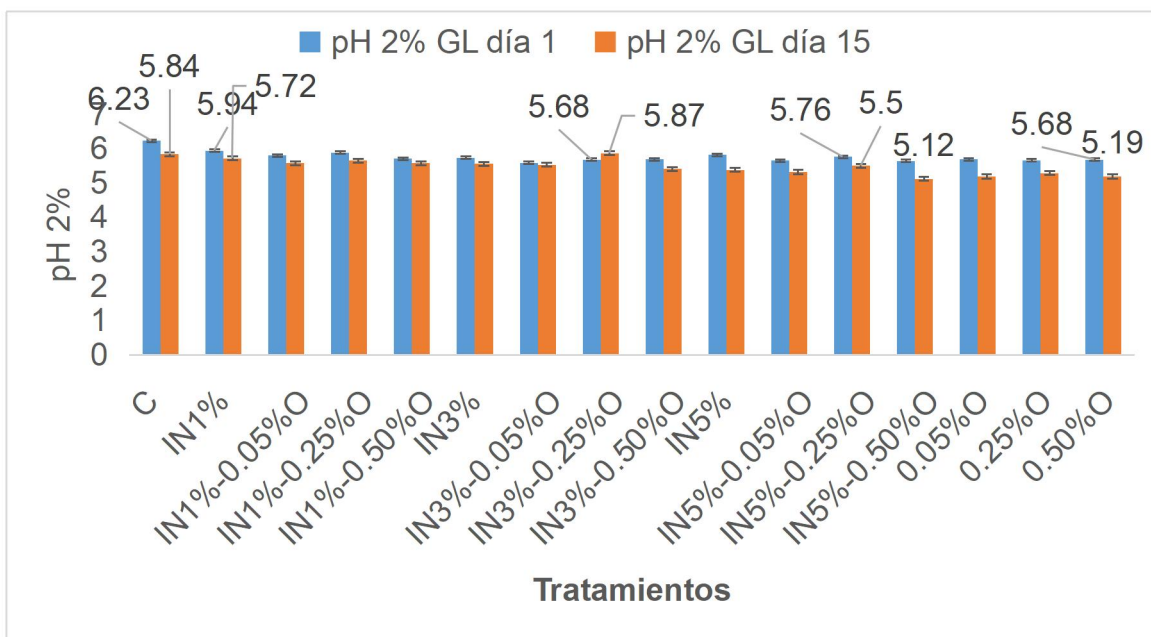
En las figuras 12, 13 y 14 se observa el comportamiento del pH, %sinéresis y %rendimiento en los quesos elaborados con 1.5 y 2% de grasa en leche en el día 1 y a los 15 días de almacenamiento.

En relación al pH (figura 12), se encontró diferencia significativa entre los tratamientos con respecto al control, la adición de inulina tuvo efecto significativo sobre el pH con una correlación de $R=-0.52$, es decir a mayor concentración de inulina, el pH disminuyó de 6 a 5, esto podría deberse a que la inulina favoreció

posiblemente el desarrollo de algunas bacterias, debido a que la inulina genera un efecto prebiótico, aunado a esto el elevado contenido de humedad y la falta de conservadores, favorecen el desarrollo de dichas bacterias (Calampa et al., 2018). Se observó una disminución significativa de sinéresis (figura 13) en quesos con 2% de grasa en leche comparados con los de 1.5% en el día 1 de 10.93-6.84% y en el día 15 de 29.6-21.7%, con una correlación de %GL-%S de $R=-0.80$, esto se debe a la estructura del queso el fosfoparacaseinato de calcio el cual tiene una estructura porosa, dentro de esas porosidades se encuentran moléculas de agua y moléculas de grasa, por lo tanto al haber mayor concentración de grasa en leche, ésta va a sustituir las cavidades del agua por grasa en esa estructura. Por lo tanto, habrá menor expulsión de suero, consecuentemente menor sinéresis. La inulina también fue otro factor de disminución del porcentaje de sinéresis con una correlación de $R=-0.50$, debido a la higroscopicidad de la inulina, lo que favoreció la absorción de suero. En relación al rendimiento (figura 14) se encontró que la concentración de grasa en leche aumenta el rendimiento con una correlación de $R=0.91$, sin embargo, después de 15 días disminuye significativamente con respecto al día 1, esto es debido a la pérdida de suero durante su almacenamiento, favoreciéndose el rendimiento por la adición de inulina y omega-3 a los 15 días de almacenamiento en relación al control. Los resultados fueron similares a lo reportado por Ochoa-flores et al., 2013 ellos elaboraron quesos frescos con diferentes concentraciones de estabilizadores, como resultados obtuvieron que los quesos con mayor rendimiento fueron los elaborados con carragenina al 0.075% (rendimiento=21.64%), y con el menor contenido de sinéresis fue, pectina al 0.075% (sinéresis=10.09%).

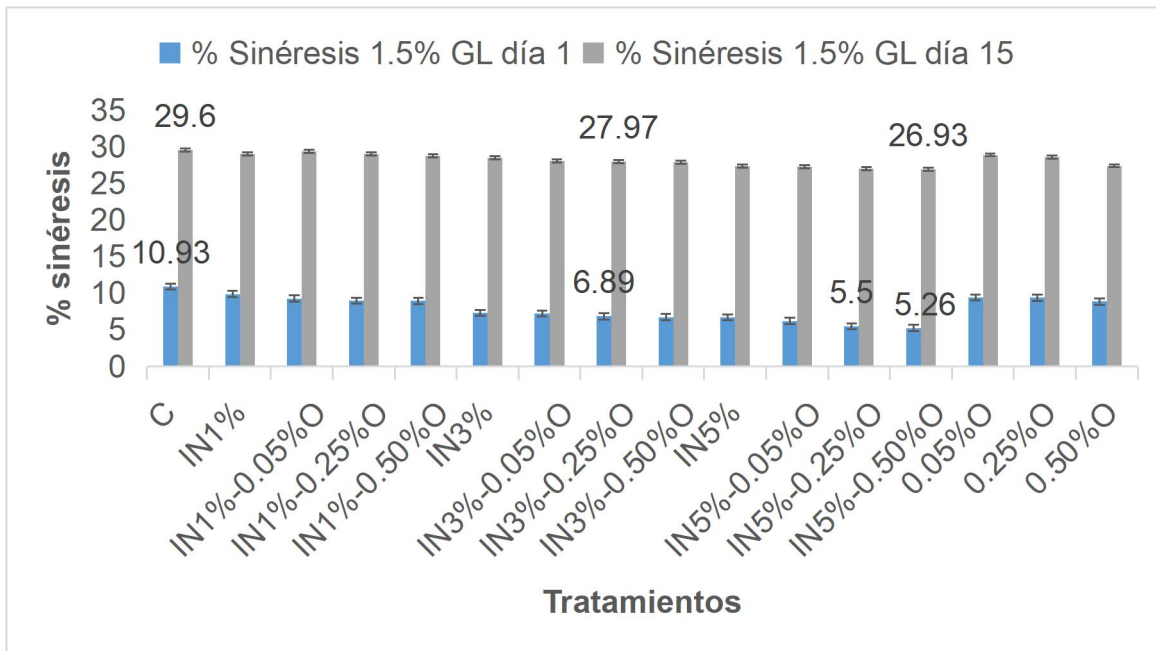


A

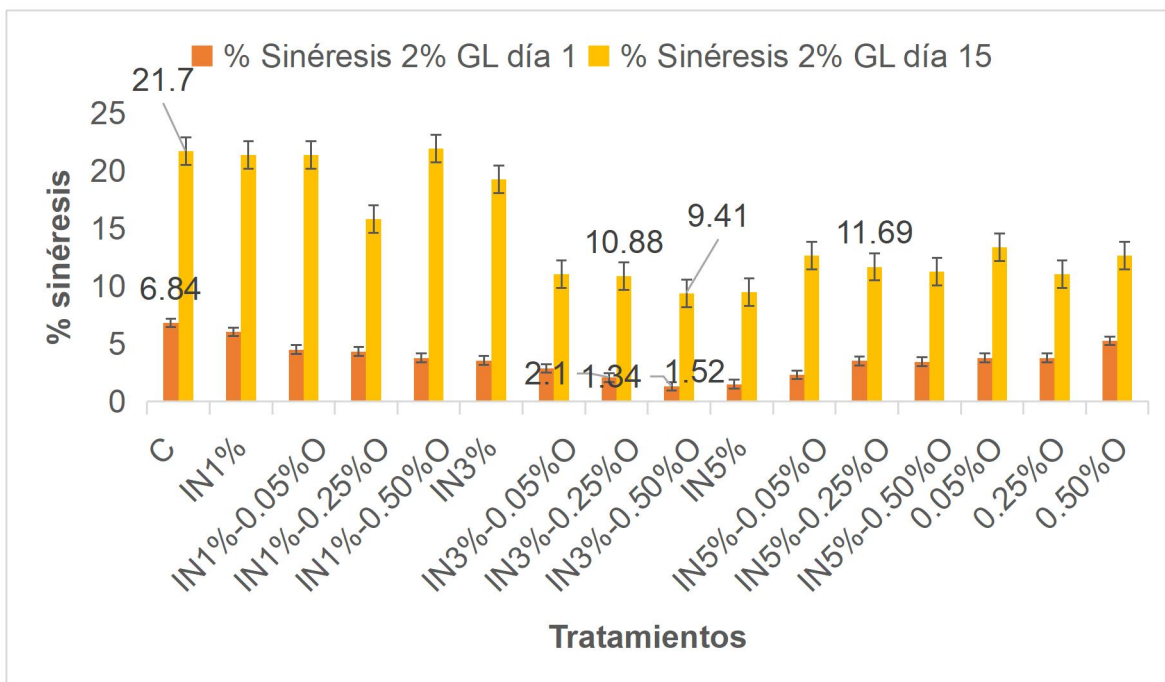


B

Figura 12. Análisis del pH al 1.5% de grasa en leche (A) y al 2% de grasa en leche (B) al día 1 y 15 de almacenamiento a 4 °C±1 °C. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

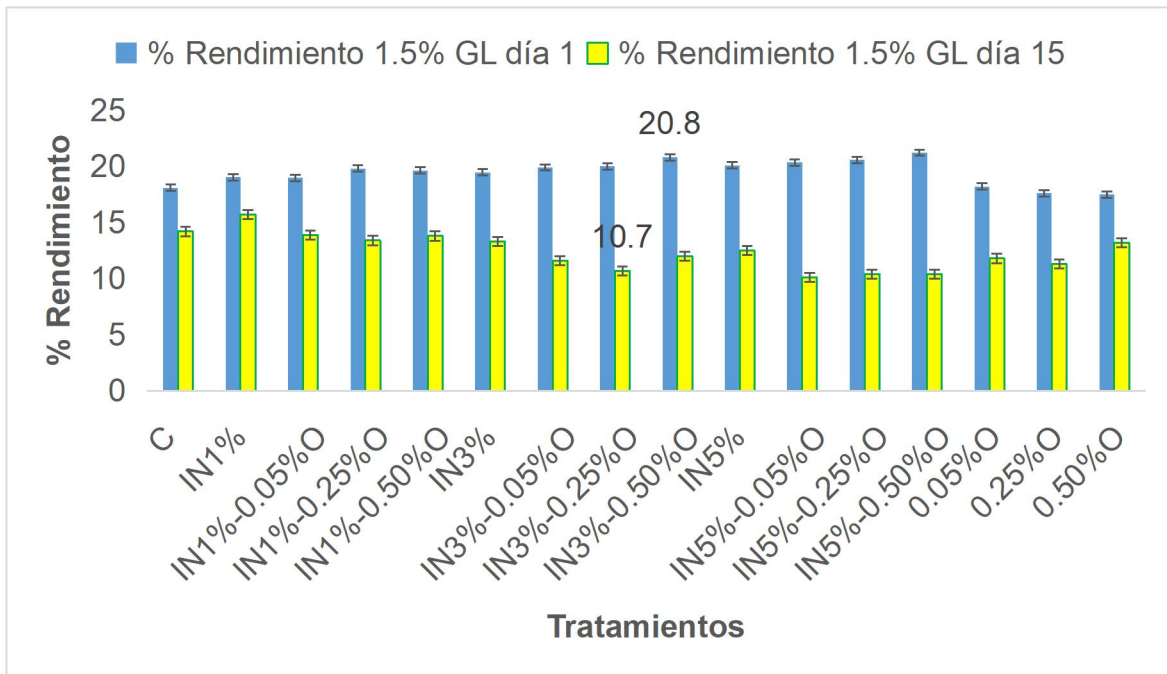


A

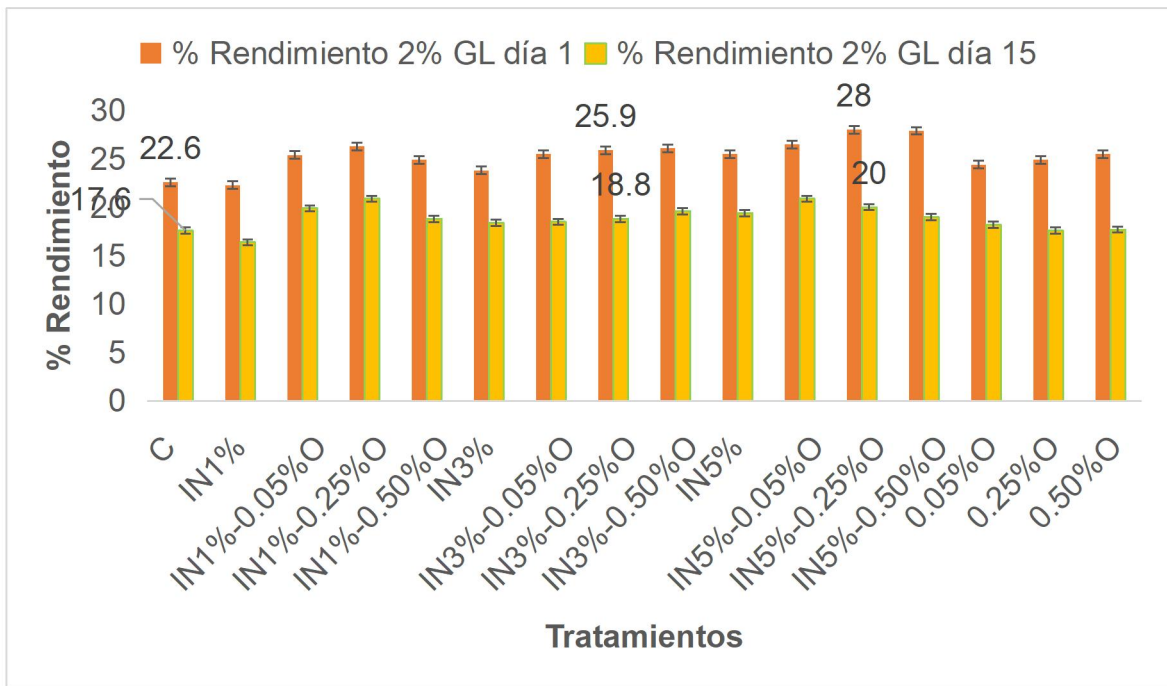


B

Figura 13. Análisis del porcentaje de sinéresis al 1.5% de grasa en leche (A) y 2% de grasa en leche (B) al día 1 y 15 de almacenamiento a 4 °C±1 °C. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.



A



B

Figura 14. . Análisis del porcentaje de rendimiento al 1.5% de grasa en leche (A) y porcentaje de rendimiento al 2% de grasa en leche (B) al día 1 y 15 de almacenamiento a 4 °C±1 °C. GL=grasa en leche, C= control, IN=inulina, O=ácidos grasos omega-3.

7.5 ANÁLISIS DE TEXTURA DE LOS QUESOS TIPO PANELA ELABORADOS.

En relación al perfil de textura (Dureza, Cohesividad, Adhesividad y Gomosidad) de los diferentes quesos tipo panela elaborados, se encontró que en cuanto a dureza (tabla 9) se observa que quesos con inulina a partir del 1% y omega-3 al 0.05% fueron significativamente menos duros con respecto al control, la dureza disminuyó desde un 7.58-3.82 N en quesos con 1.5% de grasa en leche y 7.50-2.29 N en los elaborados con 2% de grasa en leche, como se esperaba al aumentar la concentración de inulina la dureza disminuyó con una correlación de $R=-0.63$, ésta disminución de dureza se debe a que las cadenas de la inulina forman microcristales cuando se mezclan con leche interactuando entre si y formando pequeños agregados en la fase acuosa provocando una textura suave y cremosa (Karimi et al., 2014). Comparando los resultados con Borges et al., 2019, ellos elaboraron queso fresco de leche de oveja semidescremada (SSC) y semidescremada con inulina al 5% (SSCI), obtuvieron una dureza de 11.99 N (SSC) y 8.17 N (SSCI) los resultados no fueron similares, pero sí tuvieron la misma tendencia a la disminución. En el trabajo de Juan et al., 2014, obtuvieron una disminución en la dureza de 4.85-4.63 N en quesos frescos reducidos en grasas y adicionado con inulina al 5%. También se observa una correlación significativa de %GL-DU de $R=-0.55$, es decir a mayor concentración de grasa en leche la dureza disminuyó, esto es debido a que la grasa de leche actúa como material de relleno en la matriz proteica, es decir el fosfoparacaseinato de calcio tiene una estructura porosa, formada por moléculas de agua y glóbulos de grasa, por lo tanto, cuando el porcentaje de grasa es alto, hay más glóbulos de grasa que moléculas de agua en las cavidades del queso por lo tanto es menos duro. Se observó un incremento de dureza en los quesos después de 15 días de almacenamiento, sin embargo, quesos con 2% de grasa en leche fueron significativamente menos duros comparado con los quesos al 1.5% de grasa en leche ya que estos alcanzaron dureza de hasta 34 N, la acción de remover el contenido de grasa en leche, implica la formación de quesos más duros y más rígidos, debido a que los glóbulos de grasa funcionan como extensores de la estructura en la matriz de caseína (Amador-Espejo et al. 2021), así a menor

número y tamaño de glóbulos, las micelas de caseínas tienden a agregarse y contraerse con mayor intensidad, generando una estructura más rígida (Castro et

tratamientos	Dureza (N)		Cohesividad (adimensional)	
	1 día	15 días	1 día	15 días
Quesos tipo panela al 1.5% de grasa en leche				
T1 _C	7.58±0.61 ^{aB}	34.15±3.35 ^{abcA}	0.46±0.10 ^{aA}	0.54±0.12 ^{abcA}
T2 _{IN1%}	7.31±2.72 ^{abcB}	27.82±4.14 ^{defA}	0.57±0.11 ^{aA}	0.72±0.17 ^{aA}
T3 _{IN1%-0.05%O}	6.93±1.72 ^{bcB}	35.97±4.37 ^{abA}	0.50±0.14 ^{aA}	0.59±0.05 ^{abcA}
T4 _{IN1%-0.25%O}	6.71±1.77 ^{bcdB}	23.82±3.67 ^{fgA}	0.56±0.09 ^{aA}	0.54±0.11 ^{abcA}
T5 _{IN1%-0.50%O}	6.58±0.65 ^{cdB}	20.07±1.34 ^{gA}	0.48±0.12 ^{aA}	0.64±0.12 ^{abcA}
T6 _{IN3%}	5.35±1.84 ^{dB}	29.58±0.54 ^{cdefA}	0.58±0.09 ^{aA}	0.69±0.12 ^{abA}
T7 _{IN3%-0.05%O}	5.32±2.35 ^{dB}	32.82±2.86 ^{abcdA}	0.63±0.07 ^{aA}	0.63±0.12 ^{abcA}
T8 _{IN3%-0.25%O}	5.20±2.17 ^{deB}	29.99±5.58 ^{bcdeA}	0.54±0.12 ^{aA}	0.58±0.10 ^{aA}
T9 _{IN3%-0.50%O}	5.05±0.99 ^{deB}	27.64±0.30 ^{defA}	0.47±0.10 ^{aA}	0.52±0.05 ^{bcA}
T10 _{IN5%}	4.85±1.69 ^{defB}	37.25±5.79 ^{aA}	0.49±0.18 ^{aA}	0.52±0.12 ^{bcA}
T11 _{IN5%-0.05%O}	4.49±0.86 ^{defg} B	27.34±1.78 ^{defA}	0.47±0.20 ^{aA}	0.56±0.13 ^{abcA}
T12 _{IN5%-0.25%O}	4.43±2.38 ^{fgB}	27.69±2.58 ^{defA}	0.56±0.15 ^{aA}	0.51±0.13 ^{bcA}
T13 _{IN5%-0.50%O}	3.82±1.79 ^{gB}	29.27±7.91 ^{cdefA}	0.49±0.16 ^{aA}	0.52±0.13 ^{bcA}
T14 _{0.05%O}	7.47±1.33 ^{abB}	32.21±2.19 ^{abcdA}	0.51±0.20 ^{aA}	0.55±0.16 ^{abcA}

al., 2014) Este aumento de dureza es debido al incremento del porcentaje de sinéresis con una correlación de R=0.86. El aumento de la fracción proteica ha sido asociado con un incremento en la firmeza de los quesos, reflejado en un elevado esfuerzo y deformación de fractura (Castro et al. 2014).

En cohesividad (tabla 9) no se encontraron diferencias estadísticas significativas con respecto al control en los quesos con 1.5% de grasa, sin embargo en los quesos con 2% de grasa en leche disminuyó significativamente con respecto al control en los tratamientos adicionados a partir de inulina al 1% y omega-3 al 0.05%, esta disminución se debe al aumento de la concentración de grasa en leche, donde R=-0.90, comparando los resultados con Lobato et al., 2006, ellos elaboraron un queso tipo panela adicionado con aceite de canola, tuvieron como resultados una disminución en la cohesividad de 0.8-0.5. En el día 15 no se encontraron diferencia estadística significativas con respecto al control. Se observó que la adhesividad (tabla 10) en los tratamientos no tuvo diferencias estadísticas significativas respecto al control, sin embargo, valores negativos indican que el queso es adhesivo, pudiéndose pegar al paladar del consumidor al momento de su consumo. La gomosidad (tabla 10) por otra parte disminuyó por la concentración de grasa en leche con una correlación significativa de R=-0.80.

T15	0.25%O	7.10±1.23 ^{bcB}	25.04±4.94 ^{efgA}	0.58±0.16 ^{aA}	0.52±0.18 ^{bcA}
T16	0.50%O	6.69±1.52 ^{cdB}	30.19±3.92 ^{bcdeA}	0.48±0.17 ^{aA}	0.58±0.05 ^{abcA}

Quesos tipo panela al 2% de grasa en leche

Tratamientos	Adhesividad (Kg/cm ²)	Gomosidad (N)
T18	7.25±1.08 ^{abB}	15.24±0.64 ^{abA}
T19	5.54±0.63 ^{bB}	13.22±0.74 ^{cdA}
T20	4.59±0.92 ^{bcabA}	15.29±1.84 ^{efgA}
T21	4.26±0.91 ^{bcabB}	11.07±1.33 ^{efA}
T22	4.23±1.00 ^{bcB}	17.02±1.06 ^{abB}
T23	3.59±0.93 ^{efA}	7.54±1.43 ^{efA}
T24	3.03±0.92 ^{efB}	15.61±3.71 ^{bcdeA}
T25	3.42±0.93 ^{efB}	15.05±2.06 ^{bcdeA}
T26	3.49±1.04 ^{efB}	17.04±2.07 ^{abA}
T27	3.37±1.09 ^{efB}	15.49±2.04 ^{bcdeA}
T28	3.02±0.90 ^{efB}	13.15±2.57 ^{cdA}
T29	2.50±0.75 ^{efB}	7.93±0.79 ^{efA}
T30	2.26±0.74 ^{efB}	8.18±0.77 ^{efA}
T31	4.29±1.46 ^{efB}	16.09±1.80 ^{bcdeA}
T32	3.49±1.30 ^{efB}	9.10±0.31 ^{efA}
T33	3.36±0.83 ^{efB}	12.92±1.08 ^{cdA}

Tabla 9. Análisis de dureza y cohesividad de los quesos tipo panela elaborados al 1.5% y 2% de grasa en leche a 1 y 15 días.

Los valores representan la media de cuatro determinaciones ± desviación estándar.

Las letras minúsculas diferentes entre filas indican diferencia estadística significativa

(p<0.05). Las letras mayúsculas diferentes entre columnas de la misma propiedad indican diferencia estadística significativa (p<0.05). C= control; IN=inulina y O=omega-3.

Tabla 10. Análisis de adhesividad y gomosidad de los quesos tipo panela al 1.5% y 2% de grasa en leche a 1 y 15 días.

T14 _{0.05%O}	-0.06±0.04 ^{abcA}	-0.06±0.04 ^{aA}	5.53±2.46 ^{cdB}	18.04±6.13 ^{abcdA}
T15 _{0.25%O}	-0.03±0.03 ^{abA}	-0.03±0.04 ^{aA}	6.34±1.53 ^{dB}	13.66±6.90 ^{abA}
T16 _{0.50%O}	-0.04±0.03 ^{abcA}	-0.06±0.05 ^{aA}	6.10±2.49 ^{cdB}	17.45±3.29 ^{abcdA}
Quesos tipo panela al 2% de grasa en leche				
T17 _C	-0.02±0.02 ^{abA}	-0.11±0.07 ^{abA}	3.89±0.68 ^{abB}	10.98±1.86 ^{abA}
T18 _{IN1%}	-0.05±0.02 ^{abA}	-0.13±0.07 ^{abcB}	3.42±0.26 ^{abB}	10.45±1.46 ^{abA}
T19 _{IN1%-0.05%O}	-0.02±0.01 ^{abA}	-0.07±0.05 ^{aA}	2.08±0.70 ^{cdeB}	7.99±0.56 ^{cdA}
T20 _{IN1%-0.25%O}	-0.03±0.01 ^{abA}	-0.15±0.11 ^{abcA}	1.85±0.24 ^{cdeB}	9.46 ±2.96 ^{abcA}
T21 _{IN1%-0.50%O}	-0.03±0.02 ^{abA}	-0.15±0.04 ^{abcB}	2.04±0.13 ^{cdeB}	6.76±0.27 ^{dA}
T22 _{IN3%}	-0.04±0.02 ^{abA}	-0.20±0.06 ^{bcB}	2.32±0.12 ^{cdeB}	9.09±0.74 ^{bcA}
T23 _{IN3%-0.05%O}	-0.01±0.02 ^{abA}	-0.08±0.05 ^{abA}	2.08±0.47 ^{cdeB}	3.45±0.38 ^{eA}
T24 _{IN3%-0.25%O}	-0.02±0.03 ^{abA}	-0.12±0.04 ^{abcB}	3.43±0.73 ^{abB}	9.46 ±0.80 ^{abcA}
T25 _{IN3%-0.50%O}	-0.01±0.01 ^{bA}	-0.08±0.02 ^{abB}	2.12±0.44 ^{cdeB}	11.38±1.21 ^{aA}
T26 _{IN5%}	-0.04±0.03 ^{abA}	-0.24±0.12 ^{cB}	2.69±0.30 ^{bcB}	9.18±0.48 ^{bcA}
T27 _{IN5%-0.05%O}	-0.04±0.03 ^{abA}	-0.11±0.10 ^{abA}	2.32±0.37 ^{cdeB}	7.99±0.65 ^{cdA}
T28 _{IN5%-0.25%O}	-0.05±0.03 ^{abA}	-0.07±0.03 ^{aA}	3.38±1.16 ^{abA}	3.93±0.50 ^{eA}
T29 _{IN5%-0.50%O}	-0.05±0.02 ^{aA}	-0.17±0.07 ^{abcB}	1.66±0.33 ^{deB}	3.79±0.51 ^{eA}
T30 _{0.05%O}	-0.04±0.03 ^{abA}	-0.05±0.02 ^{aA}	2.57±0.57 ^{bcdB}	9.50±1.03 ^{abcA}
T31 _{0.25%O}	-0.04±0.02 ^{abA}	-0.13±0.06 ^{abcB}	1.79±0.31 ^{cdeB}	4.24±0.32 ^{eA}
T32 _{0.50%O}	-0.03±0.03 ^{abA}	-0.07±0.03 ^{aA}	1.32±0.60 ^{eB}	7.59±0.88 ^{cdA}

Los valores representan la media de cuatro determinaciones ± desviación estándar.

Las letras minúsculas diferentes entre las filas indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Las letras mayúsculas diferentes entre columnas de la misma propiedad indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). C= control, IN=inulina, O=omega-3.

7.5.1 Preselección de los mejores tratamientos

De acuerdo a los resultados se seleccionaron los tratamientos que presentaron una mejor calidad en cuanto a su composición química, menor contenido de sinéresis y menor dureza respecto al queso control (tabla 11), los cuales fueron los quesos adicionados con 5% inulina-0.50% Ω -3 (1.5% grasa de leche); 3% de inulina-0,25% de Ω -3; 3% de inulina-0.50% de Ω -3; 5% de inulina-0.25% de Ω -3; 5% de inulina-0.50% Ω -3 (2% de grasa en la leche). Estos fueron evaluados sensorialmente para después seleccionar los mejores tratamientos de acuerdo a su sabor y textura.

Tabla 11. Resultados de los tratamientos preseleccionados.

Análisis	T1	T13	T17	T24	T25	T28	T29
%Humedad	72.72	66.75	66.75	62.14	60.60	57.14	54.75
%Cenizas	4.13	3.94	3.94	3.47	3.62	3.82	4.53
%Grasa	4.00	7.97	7.97	8.33	9.33	9.33	10.33
%Proteínas	18.34	20.43	20.43	22.94	23.73	24.00	24.84
%Carbohidratos	0.81	0.91	0.91	3.11	2.71	5.71	6.54
Dureza (N)	7.58	7.50	7.50	3.43	3.49	2.50	2.26
Cohesividad	0.46	0.44	0.44	0.23	0.13	0.23	0.11
Adhesividad (Kg m ² s ²)	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.05	-0.05
Gomosidad(N)	3.42	3.89	3.89	3.43	2.12	3.38	1.66
pH	6.17	6.23	6.23	5.68	5.69	5.76	5.64
%Sinéresis	10.93	6.84	6.84	2.10	1.34	3.54	3.47
%Rendimiento	18.1	22.6	22.6	25.9	26.1	28.0	27.9

T1=Tratamiento control con 1.5% de grasa en leche, T13=1.5% de grasa:5% de inulina y 0.50% de omega-3; T17= tratamiento control con 2% de grasa en leche; T24=2% de grasa:3% de inulina y 0.25% de omega-3; T25=2% de grasa:3% de inulina y 0.50% de omega-3; T28=2% de grasa:5% de inulina y 0.25% de omega-3; T29=2% de grasa:5% de inulina y 0.50% de omega-3.

7.6 EVALUACIÓN SENSORIAL

7.6.1 Resultados del entrenamiento del panel de catadores.

En la tabla 12 se muestran los atributos que fueron generados por los panelistas entrenados, los cuales se determinaron mediante la ecuación de la media aritmética, donde se evaluó la frecuencia con la que los panelistas mencionaban el atributo y la intensidad con la que percibían el atributo. La mayoría de los atributos fueron seleccionados por su elevado porcentaje de media aritmética como fueron: porosidad (PR), granulosis (GR), amarillento (AM), blanco (BL), dulce (DC), sabor a leche (SL), simple (SP), salado (SA), aroma a leche (AL), aroma a pescado (AP), suave (SU), firme (FI) y blando (BD).

Tabla 12. Atributos seleccionados mediante la ecuación de media aritmética.

Atributos (Descripción)	Parámetros			
	Frecuencia de los atributos	Intensidad de los atributos	Media aritmética	Porcentaje
aspecto				
PR	0.32	0.35	0.33	33.45
GR	0.12	0.41	0.22	22.42
color				
AM	0.22	0.34	0.27	27.33
BL	0.63	0.43	0.52	52.08
sabor				
DC	0.16	0.39	0.25	25.23
SL	0.21	0.31	0.25	25.43
SP	0.23	0.22	0.22	22.49
SA	0.16	0.29	0.22	21.92
Aroma				
AL	0.40	0.37	0.39	38.78
AP	0.03	0.19	0.08	7.70
Textura				
SU	0.21	0.37	0.28	28.07
FI	0.19	0.59	0.33	33.36
BD	0.14	0.36	0.22	22.41

7.6.2 Resultados del análisis sensorial de quesos tipo panela tratados.

Se evaluaron 7 quesos T1 y T17 ambos controles, con 1.5% y 2 % de grasa en leche respectivamente, sin adición de inulina y ácidos grasos omega-3, también fueron evaluados los quesos seleccionados en cuanto a las propiedades fisicoquímicas, los cuales fueron quesos con 1.5% grasa de leche- 5% inulina- 0.50% Ω -3(T13), 3% de inulina-0,25% de Ω -3(T24); 3% de inulina-0,50% de Ω -3 (T25); 5% de inulina-0,25% de Ω -3 (T28); 5% de inulina-0.50% Ω -3 (T29), todos con 2% de grasa en la leche (figura 15).

Se encontró que el T29 (2% de grasa en leche-5% inulina-0.5% de omega-3), fue percibido por los panelistas como el más poroso, granuloso y más amarillento, esto se correlacionó con la humedad del queso ($R=-0.62$), es decir como este

tratamiento fue el que presentó menor humedad la porosidad aumentó, Para los atributos sensoriales de color amarillento y aroma a pescado se encontró correlaciones significativas ($R=84$: $R=0.51$) con el %G, es decir los tratamientos con mayor contenido de grasa, resultaron tener mayor intensidad del color amarillento y aroma a pescado estos tratamientos fueron: T13, T25 y T29. Los panelistas percibieron más blanco el tratamiento T1 (1.5 de grasa en leche sin adición de inulina y ácidos Grasos omega-3), se encontró una correlación de $R= -0.67$ y $R=-0.50$ del color blanco con el porcentaje de grasa y proteína respectivamente, esto es a menor contenido de grasa mayor intensidad de color blanco, debido a que al reducirse el contenido de grasa se concentran las micelas de caseína, las cuales reflejan la luz impartiendo un color blanco al queso. En sabor dulce (DC), sabor a leche (SL), sabor salado (SA no se encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Si se encontró diferencia significativa en el aroma a leche (AL), siendo T13 el de menor intensidad, debido a la presencia de ácidos grasos omega-3 el aroma a leche disminuyó, los tratamientos con mayor intensidad fueron los controles (T1 y T17). En aroma a pescado (AP) se encontró diferencia estadística significativa, siendo los tratamientos con mayor intensidad el T13 seguido del T29, debido a que contenían concentraciones más elevadas de ácidos grasos omega-3 (0.50%) consecuentemente se percibió el olor característico de salmón. En firmeza los tratamientos se percibieron significativamente diferentes, siendo los tratamientos más firmes los controles (T1 y T17). En cuanto a textura blanda T28 y T29 resultaron significativamente diferentes siendo los de mayor intensidad, los atributos sensoriales de firmeza y textura blanda se correlacionaron con el % CT, mientras mayor fue el %CT los quesos fueron menos firmes ($R=-0.52$) y más blandos ($R=0.56$), esto demuestra el efecto de la inulina en la textura sobre los quesos siendo los tratamientos T13, T28 y T29 los que presentaron mayor suavidad. Los atributos de porosidad, aroma a leche, color blanco y firmeza ya han sido utilizados por Gómez et al. (2010), y Alvarado et al. (2013) como atributos para describir un queso, los cuales han sido percibidos por catadores durante la obtención de un perfil sensorial.

En relación al nivel de aceptación, se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos con respecto a los controles. Los tratamientos más aceptados fueron los tratamientos controles, seguido del tratamiento T24 que contenía 3% de inulina y 0.25% de ácidos grasos omega-3, los de menor agrado para los catadores fueron los tratamientos T13 y T25, los cuales contenían las concentraciones más elevadas de omega-3 e inulina (figura 16).

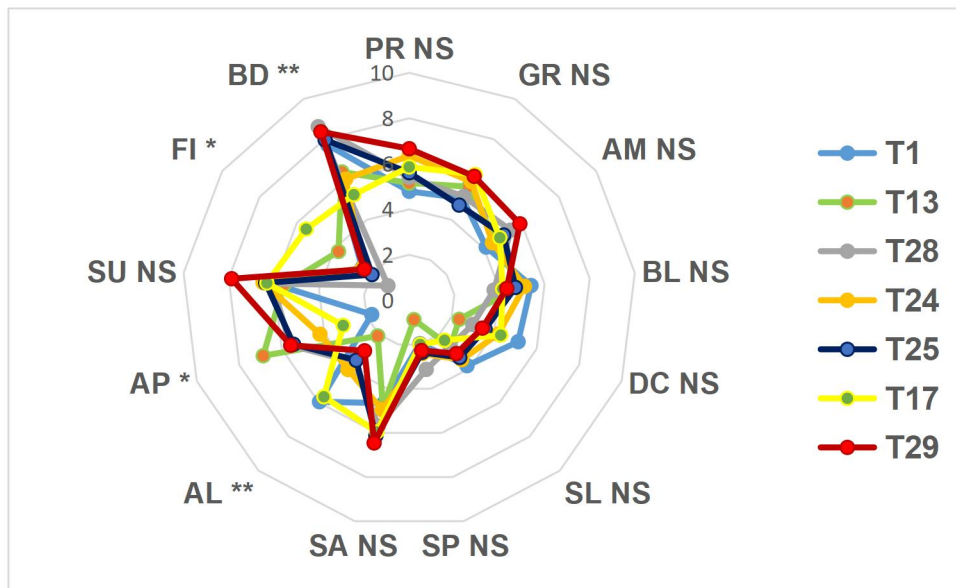


figura 15. Perfil sensorial de las muestras de quesos. *=p<0.01; **=p<0.05; y NS= No Significativo.

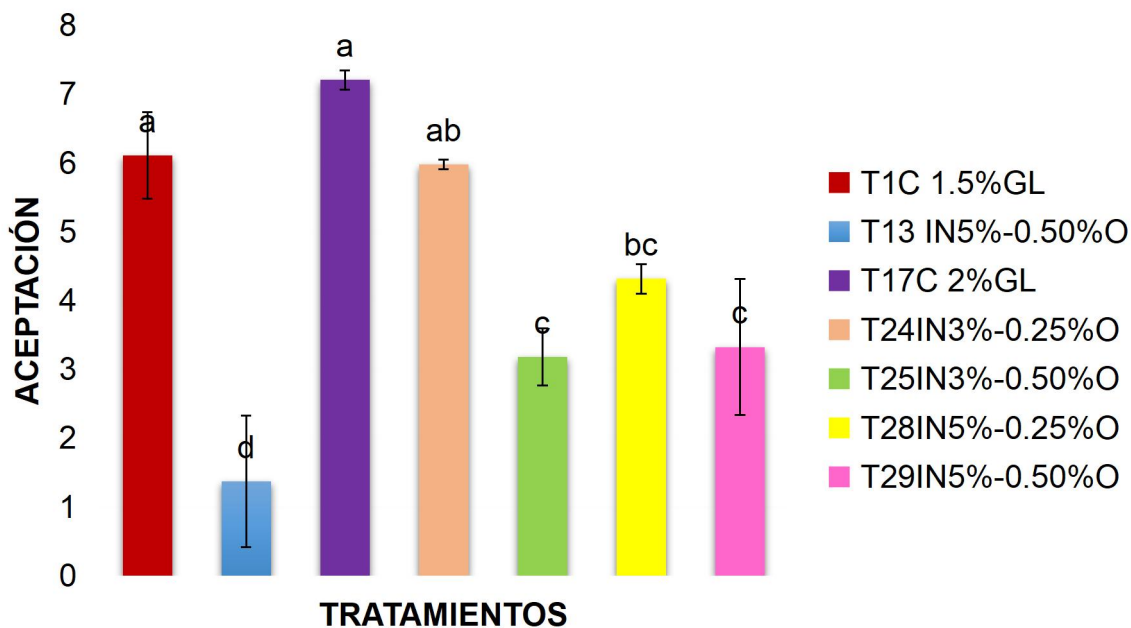


Figura 16. Nivel de aceptación de los quesos elaborados. Los valores representan la media de 11 panelista \pm desviación estándar. Las letras minúsculas diferentes indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

La correlación de los datos físicos y químicos con lo obtenidos del perfil sensorial es mostrada en la tabla 13. Se observó que el atributo sensorial de porosidad tuvo una correlación significativa con el porcentaje de humedad con una $R = -0.62$ es decir a mayor porosidad menor será el %H, cohesividad con una $R = -0.65$. Para los atributos sensoriales de color amarillento y aroma a pescado se encontró correlaciones significativas ($R = 0.84$; $R = 0.51$) con el %G, es decir los tratamientos con mayor contenido de grasa, mayor era la intensidad del color amarillento y aroma a pescado estos tratamientos fueron: T13, T25 y T29. Los atributos sensoriales de firmeza y blando se correlacionaron con el %CT, mientras mayor era el %CT los quesos fueron menos duros ($R = -0.52$) y más blandos ($R = 0.56$), esto demuestra el efecto de la inulina en la textura sobre los quesos panela elaborados, ya que la inulina es un carbohidrato por lo que son directamente proporcional, los tratamientos T13, T28 y T29 presentaron mayor suavidad. Algo similar a esta correlación encontró Cunha et al. (2010), quienes observaron que

los colores percibidos por los panelistas se correlacionaban con el queso análogo que contenía la mayor concentración de grasa vegetal (50%).

Tabla 13. Correlación de datos físicos y químicos entre los resultados obtenidos del perfil sensorial.

Variable	PR	AM	BL	DC	SP	SA	AL	AP	SU	FI	BD
%H	-0.62	-0.87	0.61	0.67	-0.40	-0.65	0.72	-0.76	-0.55	0.44	-0.45
%C	-0.59	-0.35	0.16	-0.24	-0.63	.045	-0.09	0.09	-0.57	0.33	-0.21
%G	0.76	0.84	-0.67	-0.39	0.56	0.83	-0.43	0.51	0.63	-0.27	0.27
%P	0.60	0.78	-0.50	-0.66	0.36	0.59	-0.75	0.78	0.48	-0.46	0.40
%CT	0.44	0.79	-0.49	-0.66	0.30	0.41	-0.72	0.71	0.49	-0.52	0.56
DU	-0.46	-0.65	0.33	0.71	-0.31	-0.35	0.84	-0.82	-0.36	0.62	-0.49
CO	-0.65	-0.69	0.30	0.16	-0.66	-0.67	0.35	-0.35	-0.69	0.63	-0.57
AD	0.24	-0.23	0.14	0.51	0.29	0.22	0.45	-0.39	0.05	0.14	-0.32
GO	-0.53	-0.60	0.15	.020	-0.58	-0.70	0.01	0.01	-0.81	0.49	-0.61

Los resultados en negritas muestran una correlación significativa de $p < 0.05$.

%H= porcentaje de humedad, %C= porcentaje de cenizas, %G= porcentaje de grasa, %CT= porcentaje de carbohidratos, DU= dureza, CO= cohesividad, AD= adhesividad, GO= gomosidad, poroso (PR), amarillento (AM), blanco (BL), dulce (DC), simple (SP), salado (SA), aroma a leche (AL), aroma a pescado (AP), suave (SU), firme (FI) y blando (BD).

7.6.3 Selección de los mejores tratamientos

La selección se realizó en base al nivel de agrado y al nivel de intensidad de los mejores atributos. Por lo que se eligieron los mejores tratamientos de acuerdo con el nivel de agrado que tuvieron los panelistas con cada queso panela elaborado, los cuales fueron: T17 y T24. Sin embargo, también se consideró el T28 que contenía 0.25 % de ácidos grasos omega-3 igual al T24. Una vez obtenido los mejores tratamientos se realizó el análisis microbiológico y cuantificación de ácidos grasos omega-3.

7.7 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis microbiológicos realizados a los diferentes tratamientos del queso tipo panela elaborados se muestran en las tablas 14, 15 y 16.

Se determinó que todos los tratamientos en el día 0 estuvieron dentro del rango establecido por la norma oficial mexicana NOM-243-SSA1-2010. Sin embargo, en el día 7 se observó en T17 crecimiento de *Staphylococcus aureus* (3.57 Log UFC/g), Coliformes totales (3.23 Log UFC/g) y levaduras (3 Log UFC/g) quedando fuera del rango permitido por la norma. Cabe hacer mención que en el día 7 únicamente en el T24, *Staphylococcus aureus* estuvo dentro de lo permitido por la norma, aunque alcanzó 3.12, 3.06 y 3.10 Log UFC/g de Coliformes totales, mohos y levaduras respectivamente, quedando fuera de lo permitido por la norma. T28 alcanzó una cuenta de 3.57, 2.74, 2.93, 3.04 Log UFC/g de *Staphylococcus aureus*, Coliformes totales, Mohos y Levaduras respectivamente encontrándose fuera de la norma que establece 3, 2, 2.7 y 2.7 Log UFC/g respectivamente. En todos los tratamientos no se detectó *salmonella* spp. hasta el día 15, la presencia de bacteria, mohos y levaduras contaminantes puede ser atribuida al elevado contenido de humedad, así como a lactosa residual e inulina en los quesos, lo que ocasiona que se desarrollen fácilmente, aunado a las posibles prácticas de contaminación cruzada ocasionadas por un mal manipuleo de las muestras, por lo que se sugiere la utilización de un conservador o bioconservador para este tipo de quesos., varios investigadores han revelado la presencia de microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus* y *salmonella* spp en quesos blancos blandos como el queso Oaxaca, aunque estos quesos se consideran “quesos pasteurizados” ya que en el malaxado se emplea agua caliente, no es suficiente para evitar la presencia de microorganismos patógenos, por lo tanto, en los quesos panela es inevitables que no crezcan microorganismos patógenos durante su almacenamiento (Mackencie et al., 2019).

Tabla 14. Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 2% de grasa en leche (T17 c).

T17 c	Tiempo (días)			Límites máximos NOM-243-SSA1-2010 Log UFC/g
	0	7	15	
Microorganismos				
<i>Staphylococcus aureus</i>	AUSENTE	3.57±0.02	INCONTABLES	3
Coliformes totales	AUSENTE	3.23±0.07	INCONTABLES	2
Mohos	AUSENTE	2.54±0.09	INCONTABLES	2.7
Levaduras	AUSENTE	3.00±0.07	INCONTABLES	2.7
<i>Salmonellas spp.</i> en 25 g	AUSENTE	AUSENTE	PRESENTE	AUSENTE

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar, con ($p < 0.05$)

Tabla 15. Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 3% de inulina y 0.25% de omega-3 (T24 IN3%-0.25%o).

T24 IN3%-0.25%O	Tiempo (días)			Límites máximos NOM-243-SSA1-2010 Log UFC/g
	0	7	15	
Microorganismos				
<i>Staphylococcus aureus</i>	AUSENTE	2.89±0.07	INCONTABLES	3
Coliformes totales	AUSENTE	3.21±0.02	INCONTABLES	2
Mohos	AUSENTE	3.06±0.03	INCONTABLES	2.7
Levaduras	AUSENTE	3.10±0.02	INCONTABLES	2.7
<i>Salmonellas spp.</i> en 25 g	AUSENTE	AUSENTE	PRESENTE	AUSENTE

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar, con ($p < 0.05$)

Tabla 16. Recuento de microorganismos patógenos en queso tipo panela elaborado con 5% de inulina y 0.25% de omega-3 (T28 IN5%-0.25%O).

T28 IN5%-0.25%O	Tiempo (días)			Límites máximos NOM-243-SSA1- 2010 Log UFC/g
	0	7	15	
Microorganismos				
<i>Staphylococcus aureus</i>	AUSENTE	3.40±0.07	INCONTABLES	3
Coliformes totales	1±1.41	2.74±0.05	INCONTABLES	2
Mohos	AUSENTE	2.93±0.04	INCONTABLES	2.7
Levaduras	AUSENTE	3.04±0.05	INCONTABLES	2.7
<i>Salmonellas spp.</i> en 25 g	AUSENTE	AUSENTE	PRESENTE	AUSENTE

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar, con ($p < 0.05$)

7.8 CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN LOS QUESOS TIPO PANELA ELBORADOS

De acuerdo a los resultados de la cuantificación de ácidos grasos omega-3 en el estándar (mezcla de ácidos grasos omega-3 de aceite de salmón noruego de marca comercial All Nature con 0.29 g de ácido eicosapentaenoico (EPA), 0.20 g de ácido docosahexaenoico (DHA), 0.02 g de ácido docosapentaenoico (DPA) y otros ácidos grasos) se identificaron tres ácidos grasos con un porcentaje de: 37.87% de ácido eicosapentaenoico (C20:5), 13.38% de ácido docosapentaenoico (C22:5) y 33.40% de ácido dosahexaenoico (C22:6). Con base a tiempos de retención obtenidos al utilizar un estándar de ácidos grasos omega-3 (tabla 17). Se observó que en el tratamiento T17 no hubo presencia de ácidos grasos omega-3 esto debido a que el T17 es la muestra control sin adición de omega-3. Estos resultados se pueden comparar con Tejeda et al., 2017 ellos encontraron veinticuatro ácidos grasos, fueron identificados con base a tiempos de retención obtenidos al utilizar un estándar de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME Mix C:4-C:24). Sin embargo, en los quesos controles que ellos elaboraron no

encontraron ácido eicosapentaenoico (C20:5), ácido docosapentaenoico (C22:5) y ácido dosahexaenoico (C22:6). Tomando como referencia lo reportado con Vargas-Bello-Pérez (2015) estos autores mostraron que, en un queso fresco, la mayor proporción la tienen los ácidos grasos saturados (68.21%), ácidos grasos mono-insaturados (22.86%) y menor contenido de ácidos grasos poli-insaturados. Se observó que el T24 no tuvo diferencias estadísticas significativas con respecto al T28, ya que las dos muestras contenían la misma concentración de ácidos grasos omega-3 (0.25%). Estos resultados demuestran que los quesos tipo panela elaborados T24 y T28 sí retuvieron ácidos grasos omega-3 con un porcentaje de retención total de 59.67%-62.38% respectivamente.

Tabla 17. Porcentajes de ácidos grasos omega-3 en quesos tipo panela elaborados, por cromatografía de gases.

Muestras	C20:5	C22:5	C22:6	%suma C20:5-C22:6	%otras grasas
Estándar	37.87±0.21 ^a	13.38±0.70 ^a	33.40±0.70 ^a	84.65±0.21 ^a	15.35±0.21 ^a
T17 c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c	100±0.0 ^c
T24 IN3%-0.25%O	27.49±0.19 ^b	9.40±1.53 ^b	22.78±1.25 ^b	59.67±0.07 ^b	40.32±0.07 ^b
T28 IN5%-0.25%O	27.91±0.12 ^b	10.49±0.55 ^{ab}	23.97±1.03 ^b	62.38±1.46 ^b	37.63±1.46 ^b

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar. Las letras minúsculas entre las filas indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). C20:5= ácido eicosapentaenoico, C22:5=ácido docosapentaenoico, C22:6=ácido dosahexaenoico, C= tratamiento control, IN= inulina y O=ácidos grasos omega-3.

7.9 VALOR ENERGÉTICO Y PROPORCIÓN DE AUMENTO-DISMINUCIÓN

Comparando el tratamiento control T17 (2% de grasa en leche) con T24 (2% de grasa en leche, 3% de inulina y 0.25 % de ácidos grasos omega-3) se encontró un contenido energético para T17 de 161 Kcal/100g y para T24 de 183 kcal/100 g. Por otro lado, se observó una proporción de disminución en el porcentaje de humedad de 7.11%, dureza de 54.26% y sinéresis de 69.29%; mientras que hubo una proporción de aumento en el contenido energético de 13.92 kcal/100g, proteínas de 12.28%, grasa de 4.51%, carbohidratos totales de 240% y rendimiento de 14.60%. Lo que demuestra que un queso tipo panela adicionada con inulina y ácidos grasos omega-3 que es aceptado sensorialmente, únicamente incrementa 13.92 kcal/100g, y se favorece el aumento de proteínas, grasas y carbohidratos, rendimiento y en una disminución de humedad, sinéresis y dureza.

Tabla 18. Contenido energético y de proporción de aumento-disminución del

MUESTRAS (100 g)	Proporción		
	T17	T24	Aumento% Disminución%
Contenido Energético (Kcal)	160.81	183.21	13.92
Proteínas (g)	20.43	22.94	12.28
Grasas (g)	7.97	8.33	4.51
Carbohidratos Totales (g)	0.91	3.11	240
%Humedad	66.75	62	7.11
Dureza	7.50	3.43	54.26
%Sinéresis	6.84	2.10	69.29
%Rendimiento	22.6	25.9	14.60

tratamiento control comparado con el tratamiento seleccionado T24.

T17= Tratamiento control con 2% de grasa en leche; T24= Tratamiento con 2% de grasa en leche, 3% de inulina y 0.25% de ácidos grasos omega-3.

8. CONCLUSIONES

- Las propiedades fisicoquímicas de la leche bronca del rancho santa maría palmilla Tuxtepec se encontraron dentro de los límites permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas.
- El aumento de la concentración de inulina favoreció la disminución el contenido de humedad con el consecuente aumento de carbohidratos en quesos elaborados a partir de leche con 1.5 y 2% de grasa. La adición de 0.5% de ácidos grasos omega-3 aumentó el contenido de grasa y proteínas en los quesos.
- La inulina disminuyó el porcentaje de sinéresis y el valor de pH. La grasa en leche aumentó el rendimiento en los quesos elaborados.
- La reducción de grasa en leche al 1.5% generó mayor dureza en los quesos y mayor gomosidad, mientras que la adición de inulina disminuyó la dureza. En cohesividad y adhesividad no tuvieron diferencias estadísticas significativas en quesos elaborados a partir de leche con 1.5 y 2% de grasa.
- Los mejores tratamientos de acuerdo al nivel de agrado que tuvieron los panelistas con cada queso panela elaborado, fueron los tratamientos con 2% de grasa en leche, 3 y 5% de inulina-0.25% de omega-3.
- Los análisis microbiológicos demostraron que los quesos con 3% de inulina, se mantienen dentro de los límites permisibles de bacterias patógenas durante 7 días.
- Se demostró la retención de ácidos grasos omega-3 (EPA-DHA) en los quesos adicionados con 0.25% de mezclas de ácidos grasos omega-3.

9. REFERENCIAS

- Ahmed, W., & Rashid, S. (2017). Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>
- Alvarado, J. G., Almaraz, D. R., Canul, L. R. & Rivera, E. (2013). Determination of the quality of cheese" Chihuahua" type: Sensory and physicochemical approaches. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(6), 409.
- Akram, W., Garud, N., & Joshi, R. (2019). Role of inulin as prebiotics on inflammatory bowel disease. *Drug Discoveries & Therapeutics*, 13(1), 1-8. <https://doi.org/10.5582/ddt.2019.01000>
- Amador-Espejo, G. G., Ruiz-Lopez, I. I., Gibbens-Bandala, P. J., Delgado-Macuil, R. J., & Ruiz-Espinosa, H. (2021). Thermosonicated whey protein concentrate blends on quality attributes of reduced fat Panela cheese. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105621. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105621>
- Apolinário, A. C., de Lima Damasceno, B. P. G., de Macêdo Beltrão, N. E., Pessoa, A., Converti, A., & da Silva, J. A. (2014). Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, 101, 368-378. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.081>
- Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas, G. (2015). Milk Pasteurization, Curdling and Salting. Processing and Impact on Active Components in Food, 199-206. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404699-3.00024-x>
- Bos, D. J., van Montfort, S. J. T., Oranje, B., Durston, S., & Smeets, P. A. M. (2016). Effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on human brain

morphology and function: What is the evidence? *European Neuropsychopharmacology*, 26(3), 546-561.

<https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2015.12.031>

- Borges, J. V., de Souza, J. A., Fagnani, R., Nobre Costa, G., & Sifuentes dos Santos, J. (2019). Reduced-fat Frescal sheep milk cheese with inulin: a first report about technological aspects and sensory evaluation. *Journal of Dairy Research*, 86(3), 368-373. <https://doi.org/10.1017/s0022029919000487>
- Bowen, K. J., Harris, W. S., & Kris-Etherton, P. M. (2016). Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Are There Benefits? Current Treatment Options in *Cardiovascular Medicine*, 18(11), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11936-016-0487-1>
- Castro, A., Novoa, C., Algecira, N., & Buitrago, G. (2014). Rheology and texture of low-fat cheese. *RECYT*, 22, 58–66.
- Calampa, L., Fernández-Jerí, A., & Bernal, W. (2018). Physicochemical and microbiological evaluation quality of fresh cheese in the dairy basins of the Amazon Region, Peru. *Agroindustrial Science*, 8(2), 117–121. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2018.02.06>
- Cardoso, L. G., Bordignon Junior, I. J., Vieira da Silva, R., Mossmann, J., Reinehr, C. O., Brião, V. B., & Colla, L. M. (2020). Processed cheese with inulin and microencapsulated chia oil (*Salvia hispanica*). *Food Bioscience*, 37, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100731>
- Castellanos, L., Murillo, K., Ortega, D., Velásquez, I., Ramírez, N., & Juan, S. (2016). Empleo de inulina en matrices alimentarias. *la alimentación latinoamericana*, 325, 62-68.

- CANILEC, ESTADISTICA DEL SECTOR LATEO 2021. <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>
- CONSEJO PARA EL FOMENTO DE LA CALIDAD DE LA LECHE Y SUS DERIVADOS NMX-F-742-COFOCALEC-2012. Sistema producto leche. Alimentos-Lácteos-Queso panela. Denominación, especificaciones y métodos de prueba.
- Dergal, B. S. Química de los Alimentos. cuarta edición pearson, méxico 2006. Capitulo (12).
- Domínguez, M. R. L. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. Instituto de Investigación Nutricional–IIN Consultora-AgroSalud.
- Durand Villarroel, A. (2018). elaboración de un analogo de queso fresco por sustitución de la grasa lácteas con emulsiones de aceite vegetales ricos en omega 3 y 6 con incorporación de aceites esenciales. universidad autonoma de barcelona, 1, 1-212.
- Drabińska, N., Zieliński, H., & Krupa-Kozak, U. (2016). Technological benefits of inulin-type fructans application in gluten-free products – A review. Trends in Food Science & Technology, 56, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.015>
- Elagizi, A., & Lavie, C. J. (2019). Omega-3 Fatty Acids and the Cardiovascular System. Omega Fatty Acids in Brain and Neurological Health, 213-228. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815238-6.00014-6>

- Etchegaray, M.J. (2017). Ingredientes funcionales. 25 junio del 2020. Fundación para la innovación agraria. Sitio web: <http://www.fia.cl/wp-content/uploads/2018/03/N-5-Revista-Mayo-2017.pdf>
- FAO. (2002, 6 diciembre). symfony project. Food Energy – Methods of Analysis and Conversion Factors. Recuperado 6 de febrero de 2022, de https://www.sennutricion.org/media/Docs_Consenso/Food_energy_methods_of_analysis_and_conversion_factors-FAO_2002
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>
- Giri, A., Kanawjia, S. K., & Singh, M. P. (2017). Effect of inulin on physico-chemical, sensory, fatty acid profile and microstructure of processed cheese spread. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2443-2451. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2686-5>
- Gómez Alvarado, T., Hernández Cervantes, M., López Velázquez, J., Santiago Cabrera, R., Ramón Canul, L. G., Juárez Barrientos, J. M., & Ramírez Rivera, E. J. (2010). Caracterización sensorial del queso fresco “cuajada” en tres localidades de Oaxaca, México: diferencias en la percepción sensorial. *Caracterización sensorial del queso fresco “cuajada” en tres localidades de Oaxaca, México: diferencias en la percepción sensorial*, 2(1), 127–140.
- González-Córdova, A. F., Yescas, C., Ortiz-Estrada, Á. M., De la Rosa-Alcaraz, M. . d. e. . l. o. s. . Á., Hernández-Mendoza, A., & Vallejo-Cordoba, B. (2016). Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3250-3262. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10103>

- González Ramírez, E. (2010). "Caracterización de la composición fisicoquímica del queso fresco elaborado artesanalmente en sehualaca municipio de Minatitlán Veracruz". Tesis de licenciatura. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad veracruzana. Veracruz, Ver.
- González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas* Lam) Fritos por Inmersión: Parte 1: Textura. *Información tecnológica*, 26(1), 95–102. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642015000100011>
- Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Silva, R., Rocha, R. S., Graça, J. S., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science*, 33, 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>
- Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Silva, R., Rocha, R. S., Graça, J. S., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science*, 33, 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>
- Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., & Kulhari, H. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 852-863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188>
- Hernando, S., Requejo, C., Herran, E., Ruiz-Ortega, J. A., Morera-Herrerias, T., Lafuente, J. V., Ugedo, L., Gainza, E., Pedraz, J. L., Igartua, M., & Hernandez, R. M. (2019). Beneficial effects of n-3 polyunsaturated fatty acids administration in a partial lesion model of Parkinson's disease: The role of glia and NRF2

regulation. *Neurobiology of Disease*, 121, 252-262.
<https://doi.org/10.1016/j.nbd.2018.10.001>

- Hleap, J. L. & Velasco, V. A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología en el Sector agropecuario y agroindustrial*, 8(2), 46-56.
- Home. (2008, 14 noviembre). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/home/en/>
- Jiménez-Guzmán, J., Flores-Nájera, A., Cruz-Guerrero, A. E., & García-Garibay, M. (2009). Use of an exopolysaccharide-producing strain of *Streptococcus thermophilus* in the manufacture of Mexican Panela cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 42(9), 1508-1512.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.009>
- Jimenez-Maroto, L. A., Lopez-Hernandez, A., Borneman, D. L. & Rankin, S. A. (2016). A comparison of fresh, pasta filata, and aged Hispanic cheeses using sensory, chemical, functional, and microbiological assessments. *Journal of dairy science*, 99(4), 2680-2693.
- Juan, B., Zamora, A., Quintana, F., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2013). Effect of inulin addition on the sensorial properties of reduced-fat fresh cheese. *International Journal of Dairy Technology*, n/a. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12057>
- Judprasong, K., Tanjor, S., Puwastien, P., & Sungpuag, P. (2011). Investigation of Thai plants for potential sources of inulin-type fructans. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4-5), 642-649.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.12.001>

- Karimi, R., Azizi, M. H., Ghasemlou, M., & Vaziri, M. (2015). Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. *Carbohydrate Polymers*, 119, 85–100. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.029>
- Koca, N., & Metin, M. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, 14(4), 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.006>
- Kolida, S., Tuohy, K., & Gibson, G. R. (2002). Prebiotic effects of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, 87(S2), S193-S197. <https://doi.org/10.1079/bjn/2002537>
- Lucey, J. A. (2017). Formation, Structural Properties, and Rheology of Acid-Coagulated Milk Gels. *Cheese*, 179-197. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-417012-4.00007-7>
- Mackencie Tobar, K. T., Moreno Peñafiel, R. M., & Bernal Gutiérrez, A. E. (2020). Influencia de la inulina en el contenido graso del queso mozzarella fresco y aromatizado. *Revista InGenio*, 3(1). <https://doi.org/10.18779/ingenio.v3i1.32>.
- Mazraeh, R., Azizi-Soleiman, F., Jazayeri, S. M. H. M., & Noori, S. M. A. (2019). Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 35(2), 575-580. <https://doi.org/10.12669/pjms.35.2.701>
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-155-SCFI-2012, Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

- 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.
- Ochoa-Flores, A. A., Hernández-Becerra, J. A, López-Hernández, E., y García-Galindo. G. S., *universidad y ciencia*, 29(3): 277-286-2013.
- Paniwnyk, L. (2017). Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 794-806. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.12.025>
- Parra-Ocampo, K. A., Martín-del-Campo, S. T., Montejano-Gaitán, J. G., Zárraga-Alcántar, R., & Cardador-Martínez, A. (2020). Evaluation of Biological, Textural, and Physicochemical Parameters of Panela Cheese Added with Probiotics. *Foods*, 9(10), 1507. <https://doi.org/10.3390/foods9101507>
- Pinho, O., Mendes, E., Alves, M.M. & Ferreira, I.M.(2004). Chemical, physical, and sensorial characteristics of “Terrincho” ewe cheese: Changes during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science*. 87(2):249-257
- Rafter, J., Bennett, M., Caderni, G., Clune, Y., Hughes, R., Karlsson, P. C., Klinder, A., O’Riordan, M., O’Sullivan, G. C., Pool-Zobel, B., Rechkemmer, G., Roller, M., Rowland, I., Salvadori, M., Thijs, H., Van Loo, J., Watzl, B., & Collins, J. K. (2007). Dietary synbiotics reduce cancer risk factors in polypectomized and colon cancer patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(2), 488-496. <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.2.488>
- Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., & Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *International Dairy Journal*, 34(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.07.007>

- Sakr, S. S., El-Assar, M. A., Abou-Dawoo, S. A., & Younis, N. M. (2019). Low-fat Processed Cheese Spread with Added Inulin: Its Physicochemical, Rheological and Sensory Characteristics. *International Journal of Dairy Science*, 14(1), 12-20. <https://doi.org/10.3923/ijds.2019.12.20>
- Sánchez Salinas, A. G., Guerrero Ponce, S., Reyes Castillo, D. E., Hernández Galindo, H. S., Alanís García, E., & Ramírez Moreno, E. (2020). Evaluación de la información nutrimental de quesos tipo panela. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 8(16), 107–109. <https://doi.org/10.29057/icsa.v8i16.4921>
- Shanmugam, A., & Ashokkumar, M. (2014). Ultrasonic preparation of stable flax seed oil emulsions in dairy systems – Physicochemical characterization. *Food Hydrocolloids*, 39, 151-162. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.01.006>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019). Boletín de leche. <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/06/Nuevo-Boletin-de-la-Leche-ene-may2021-PDF-final.pdf> (Consulta: DIC, 2021).
- Panorama de lechería en México. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019). trimestral Mayo-2020 de leche de bovina. <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20Cuarto%20Trimestre%202019.pdf>
- Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A., & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*, 147, 444-454. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>

- Ramírez-López, C. & Velez-Ruiz, J. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6-2.
- Valle Flores, J. A., Fariño Cortéz, J. E., Mayner Tresol, G. A., Perozo Romero, J., Blasco Carlos, M., & Nestares, T. (2020). Oral supplementation with omega-3 fatty acids and inflammation markers in patients with chronic kidney disease in hemodialysis. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(8), 805-811. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0729>
- Walstra, P. (2006). Principles of cheese making. *Dairy Science and Technology*. 577-582.
- Yan, L., Xie, Y., Satyanarayanan, S. K., Zeng, H., Liu, Q., Huang, M., Ma, Y., Wan, J.-B., Yao, X., Su, K.-P., & Su, H. (2020). Omega-3 polyunsaturated fatty acids promote brain-to-blood clearance of β -Amyloid in a mouse model with Alzheimer's disease. *Brain, Behavior, and Immunity*, 85, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.05.033>

10. ANEXOS

Anexo A: Normas utilizadas para la caracterización de la leche.

- Grasa butírica (por el método de Gerber). Se colocaron los butirómetros limpios y secos en una gradilla, se introdujó en cada uno de ellos 10 mL de ácido sulfúrico, usando el medidor automático, cuidando de no impregnar el cuello del butirómetro. Se mezcló la muestra a analizar, invirtiendo el recipiente tapado en tres o cuatro tiempos e inmediatamente se medió 11 mL de leche, depositándola en los butirómetros, de la siguiente manera: La punta de la pipeta fue apoyada en posición oblicua (aproximadamente en ángulo de 45°) contra la pared interna del cuello del butirómetro, para permitir que la leche se deslice a lo largo del vidrio y se superponga al ácido sulfúrico sin producir rastros de ennegrecimiento (evitar que el ácido y la leche se mezclen). Para terminar, se

añadió 1.0 mL de alcohol amílico dentro de cada butirómetro. Se tapó el butirómetro, utilizando el pulsador como punto de presión. Se agitó los butirómetros hasta conseguir que la leche y el ácido sulfúrico se mezclaran y la proteína se disolviera. La agitación terminó cuando no quedó vestigios de caseína sin disolver. Durante esta operación se recomienda tener el butirómetro envuelto en una tela, ya que la mezcla de ácido sulfúrico con la leche ocasionó una reacción exotérmica. Inmediatamente se colocó los butirómetros en la centrífuga. Se centrifugaron los butirómetros durante 5 minutos, a la velocidad de 1000 a 1200 rpm. Se Ajustó la columna de grasa, girando con cuidado el tapón se colocó los límites de la capa de grasa dentro de la escala, haciendo coincidir la parte inferior de la capa de grasa con una de las divisiones de la escala del butirómetro. La diferencia entre esta división y la correspondiente al menisco de la parte superior de la capa de grasa, indicó el contenido de grasa de la leche en porcentaje w/v.

- Determinación de pH. Se tomaron 10 mL de muestra de leche y se procedió a medir el pH utilizando un potenciómetro marca Ultra Basic®, calibrado previamente con solución amortiguadora buffer 4 y 7, en donde se introdujo el electrodo a la muestra de leche y se tomó la lectura final.
- Acidez titulable. Para la determinación de acidez se tomó 10 mL de muestra de leche se añadió 2 gotas de fenolftaleína, se tituló con hidróxido de sodio al 0.1 N hasta la aparición de un color rosado pálido en la muestra. La acidez de la leche se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación. (NMX-F-420-1982.)

$$\text{Acidez g/L (ácido láctico)} = (V \times N \times 90) / M$$

En donde:

V = Volumen de solución de hidróxido de sodio 0.1 N gastado en la titulación de la muestra, en cm³

N = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

M = Volumen de la muestra, en cm³

90 Equivalente del ácido láctico.

- Proteína. Se adicionó 10 ml de leche en un vaso de precipitado, se añadió 3 gotas de fenolftaleína, se tituló con NaOH al 0.1 N hasta lograr el viraje a color rosado persistente. Se adicionó 2 mL de formol, que hace perder su coloración rosada, tornándose algo amarillenta. Se mezcló bien y se dejó en reposo 5 minutos. Se volvió a titular con NaOH hasta viraje de color rosado pálido (segunda titulación). Se anotó el gasto (V2). Se calculó, mediante las siguientes relaciones: % Proteína = $V2 * 2.00\%$ Caseína = $V2 * 1.63\%$.

Anexo B: Se observa el proceso de la elaboración de quesos tipo panela con la adición de inulina y ácidos grasos omega-3.



Imagen 1. Se utilizó el equipo Elecrem con capacidad de 10 L para descremar la leche



Image
de gra



Imagen 3. Se adicionó omega-3 (0.05, 0.25 y 0.5%) en 200 mL de leche pasteurizada y



Imagen 4. La muestra se sometió a ultrasonificación, utilizando un ultrasonido marca Hielscher, equipado con un sonotrodo de titanio S24d40 (diámetro de punta de 40 mm). 5 min, 185 watts de potencia, amplitud



Imagen 5. Comparación visual de la ultrasonificación.



Imagen 6. Se observó en un microscopio óptico (LEICA,DM750P) las emulsiones.



Imagen 7. Leche enriquecida con omega-3.



Imagen 8. Adición de inulina.



Imagen 9. Adición del cuajo.



Imagen 10. coagulación



Imagen 11. Corte de cuajada.



Imagen 12. Calentamiento a 39 °C incrementando 1 °C por cada min.



Imagen 13. Adición de NaCl (8 g de sal/1 L de leche).



Imagen 14. Mezclado, moldeado y refrigerado 4 °C ± 1 °C/2 h.



Imagen 15. Desmoldado y empaquetado para sus posteriores análisis.



Imagen 15. Humedad.



Imagen 16. Cenizas.

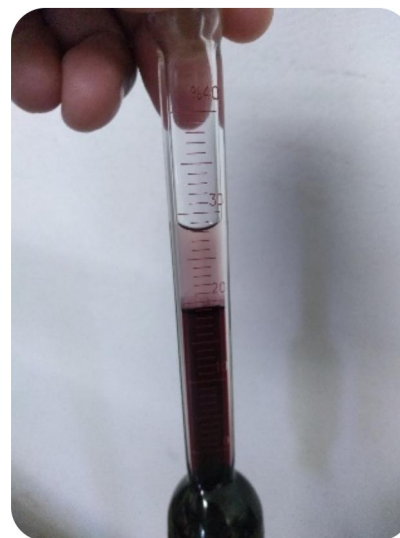


Imagen 17. Grasas.



Imagen 18. Proteínas

Anexo C: Determinación química del queso panela.

Determinación de humedad

La metodología consiste en la pérdida de peso de un alimento al someterlo en condiciones de tiempo y temperatura.

Se pesaron 3 g de muestra con exactitud y se dejaron en una capsula (previamente puesta a peso constante), dentro de una estufa a 110 °C durante 4 h, se pasó al desecador y se pesó la muestra con rapidez, por último, se calculó el % de humedad siguiendo la ecuación que se muestra a continuación.

$$\%H = \left(\frac{\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} \right) * 100$$

Determinación de cenizas

El método se basa en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.

Se pesó 3 g de muestra con exactitud. Se procedió a precalcinar previamente la muestra en placa calefactora, evitando que se inflamara, luego se colocó en la mufla y se incineró a 550 °C hasta cenizas blancas o grisáceas. Se enfrió en la mufla apagada y luego se traspasó a un desecador y se pesó a temperatura ambiente. Y por último se calculó el % de cenizas siguiendo la ecuación que se muestra a continuación.

$$\% \text{Cenizas totales} = \left(\frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right) * 100$$

m₂: masa de la cápsula con las cenizas, en gramos.

m₁: masa de la cápsula con la muestra, en gramos.

m₀: masa de la cápsula vacía, en gramos.

Determinación de grasa (método de Gerber)

Este método se basa en la digestión parcial de los componentes del queso, excepto la grasa, en ácido sulfúrico. Emplea alcohol isoamílico para ayudar a disminuir la tensión en la interface entre la grasa y la mezcla en reacción (ácido sulfúrico-leche), lo que facilita el ascenso de los glóbulos pequeños de grasa por centrifugación. El alcohol isoamílico reacciona con el ácido sulfúrico formando un éster que es completamente soluble en dicho ácido.

Se pesó directamente en el butirómetro 3 g de queso, se agregó al butirómetro 17.5 mL de ácido sulfúrico (65%). Se tapó el butirómetro y se agitó vigorosamente. Se colocó en el baño maría a 65 °C agitando continuamente hasta que se disolvió el queso. Cuando se disolvió por completo se sacó del baño maría y se le añadió 1 mL de alcohol isoamílico y se agitó y se dejó 5 minutos en baño maría a 65 °C, se centrifugó a 5 minutos a 1200 rpm. Se pone en baño maría 5 minutos a 65 °C y se realizó la lectura.

Determinación de proteínas

Este método se basa en la descomposición de los compuestos de nitrógeno orgánico por ebullición con H_2SO_4 . El hidrógeno y el carbón de la materia orgánica se oxidan hasta agua y CO_2 . Por otra parte, en forma simultánea, el ácido sulfúrico se transforma a SO_2 , el cual reduce el material nitrogenado a amoníaco. Este amoníaco se libera después por la adición de hidróxido de sodio y se destila recibiendo en una solución al 4% de ácido bórico. Posteriormente, el nitrógeno amoniacal se titula con una solución valorada de ácido, cuya normalidad dependerá de la cantidad de nitrógeno que contenga la muestra. Se usa el sulfato de cobre como catalizador y el sulfato de sodio para aumentar la temperatura de ebullición de la mezcla y acelerar la digestión.

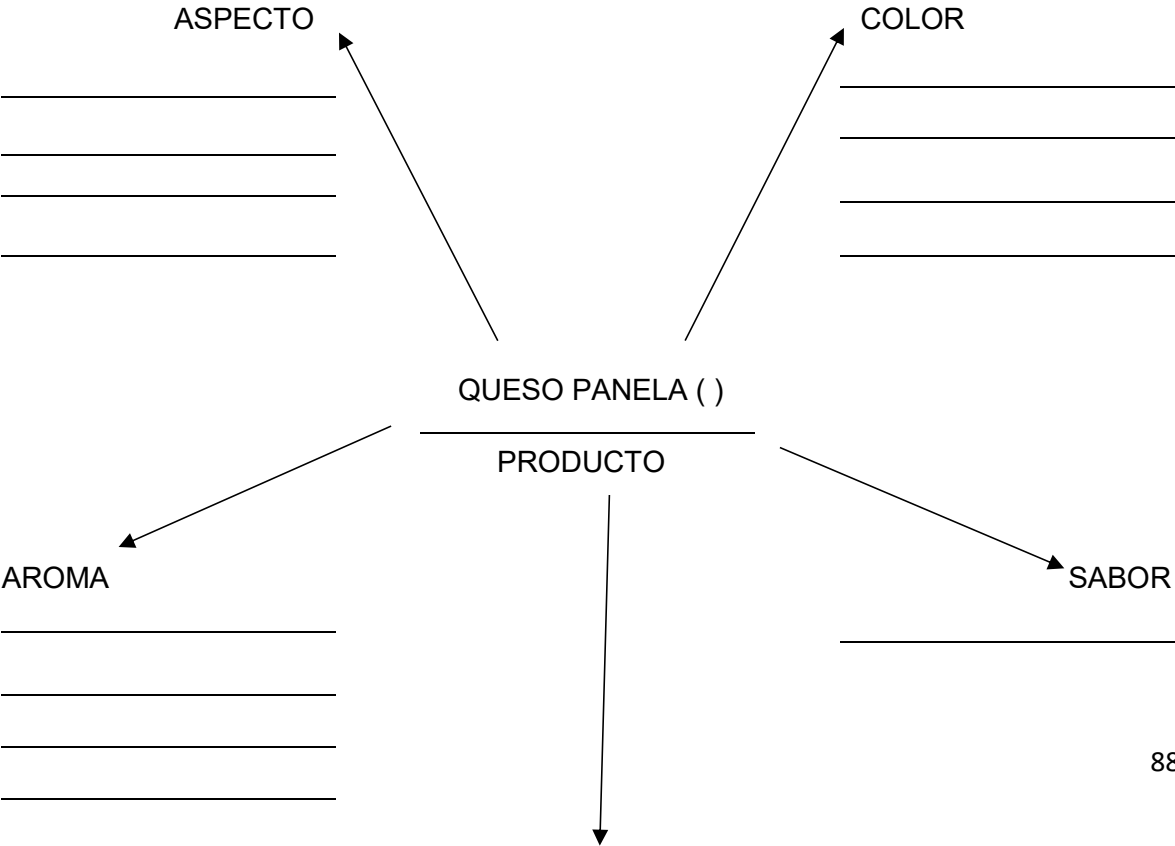
Se pesó exactamente alrededor de 15-40 mg de muestra y se transfirió a un tubo microkjeldahl; se añadió 2 g de mezcla catalizadora y 3 mL de H_2SO_4 . Se puso a digerir la muestra en el equipo de digestión de microkjeldahl hasta que clarificó manteniendo el calentamiento de 1.5-2 horas. Se dejó enfriar por 15 min. El residuo se disolvió con 10 mL de agua destilada. En un matraz Erlenmeyer se colocó 5 mL de solución de ácido bórico al 5% con dos gotas de indicador. Se colocó en la terminal del condensador el matraz Erlenmeyer cuidando de que este quedara dentro de la solución. El tubo con muestra se colocó en el destilador y se adicionó 10 mL de solución de hidróxido de sodio-tíosulfato de sodio a través de la válvula de seguridad. Se inició la destilación por arrastre de vapor, recolectando aproximadamente de 75-100 mL de destilado, esta solución se tituló con HCl 0.01 N hasta que viró en el color del indicador de verde a violeta muy tenue. Y por último se calculó el % de nitrógeno siguiendo la ecuación que se muestra a continuación

$$\%N = \left(\frac{(V_2 - V_1)(eqN)N}{M} \right) * 100$$

En donde:

%N= Porcentaje de nitrógeno total. V_1 = volumen de HCl gastado en titular el blanco (mL), V_2 = Volumen de HCl gastado en titular la muestra (mL), EqN= 14.007, N= Normalidad de HCl (0.01), M= peso de la muestra.

Anexo D: Se incluyen los formatos utilizado para la realización del análisis sensorial.



DESCRIPCION	DEFINICION	MENOS
Poroso	Superficie que tiene pequeñas y pequeños orificios	
Granuloso	Que tiene pequeñas partículas que dan la sensación como si fueran granos de arena	
Color amarillento	Una tonalidad débil a amarillo	
Color blanco	Color acromático con claridad máxima y oscuridad nula	
Sabor a leche	Un sabor característico debido a sus componentes tales como la caseína y la lactosa	
Dulce	Alto contenido de azúcares y carbohidratos	
Simple	Insípido, sin algún sabor detectable	
Aroma a leche	Debido a sus compuestos volátiles.	
Olor a pescado	Similar al olor del huevo a choquilla, compuestos nitrogenados (aminas)	
Suave	Sensible a deslizar el tacto.	
Firme	Es compacto, que no se deforma al aplicar presión.	
Blando	Moldeable y al presionarlo pierde su forma	

DESCRIPCION	DEFINICION	MENOS
Poroso	Superficie que tiene pequeñas orificios pequeños	
Granuloso	Que tiene pequeñas partículas que dan la sensación como si fueran granos de arena	
Color amarillento	Una tonalidad débil a amarillo	
Color blanco	Color acromático con claridad máxima y oscuridad nula	
Sabor a leche	Un sabor característico debido a sus componentes tales como la caseína y la lactosa	
Dulce	Alto contenido de azúcares y carbohidratos	
Simple	Insípido, sin algún sabor detectable	
Aroma a leche	Debido a sus compuestos volátiles.	
Olor a pescado	Similar al olor del huevo a choquilla, compuestos nitrogenados (aminas)	
Suave	Sensible a deslizar el tacto.	
Firme	Es compacto, que no se deforma al aplicar presión.	
Blando	Moldeable y al presionarlo pierde su forma	
Nivel de agrado	Que tanto le gusta el producto	Me disgusta muchísimo Me gusta muchísimo

Anexo E: Análisis microbiológico

- Determinación de Coliformes totales. Medio de cultivo: agar billis y rojo violeta (RVBA).

Para la determinación de coliformes totales se depositó 0.1 mL sobre la superficie de las placas de agar RVBA. Se distribuyó el inóculo sobre la superficie de las placas del agar con varillas de vidrio estériles en ángulo recto. Se mantuvo las cajas en su posición hasta que el inóculo fue absorbido por el agar. Posteriormente se invirtió las cajas y se incubaron 24 horas a 37 °C. Después del periodo especificado para la incubación, se contaron las colonias con el contador de colonias. Las colonias típicas son de color rojo claro o rosa, la morfología colonial es semejante a lentes biconvexos con un diámetro de 0.5 a 2 mm.

- *Staphylococcus aureus*. Medio de cultivo: agar sal y manitol.

Para la determinación de *Staphylococcus aureus* se depositó 0.1 mL sobre la superficie de las placas de agar sal y manitol. Se distribuyó el inóculo sobre la superficie de las placas del agar con varillas de vidrio estériles. Se mantuvo las cajas en su posición hasta que el inóculo fue absorbido por el agar. Posteriormente se invirtieron las cajas y se incubaron de 24 a 48 horas a 37 °C después se cuantificaron el crecimiento de colonias, las colonias típicas son amarillas, circulares de diámetro de 1-2 mm.

- Determinación de *Salmonella*. Medios de cultivo: caldo lactosado, caldo tetracionato, agar sulfito de bismuto, agar triple hierro y azúcar.

Para la determinación de *salmonella* se utilizó 25 g de muestra de queso en 225 mL de caldo lactosado, se incubó a 37 °C/24 h para su preenriquecimiento. Posteriormente se transfirió 1 mL de la solución a 9 mL de caldo tetracionato a 37 °C/24 h. Se tomó una asada de la muestra y se inóculó por estría en una caja Petri con el agar sulfito de bismuto previamente gelificado, se incubó durante 24 h a 37 °C, transcurrido el tiempo de incubación se observó colonias de color negro y rodeadas de un halo verde brillante, se transfirió a un tubo con agar triple hierro y azúcar para la prueba bioquímica, fue inóculada por estría.

- Determinación Mohos y Levaduras. Medios de cultivo: agar dextrosa y papa. para la determinación de mohos y levaduras se depositó 0.1 mL sobre la superficie de las placas de agar dextrosa y papa. Se distribuyó el inóculo sobre la superficie de la placa del agar con varillas de vidrio estériles en ángulo recto. Se mantuvieron las cajas en su posición hasta que el inóculo fue absorbido por el agar, posteriormente se invirtieron las cajas y se incubaron a 48 h a 25 °C se cuantificaron el crecimiento de colonias.