



Evaluación del efecto de la proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) en las propiedades bromatológicas, texturales y microestructurales de un queso fresco

Jhon Eduardo Rodríguez Meza

UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE
LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS**

CARTAGENA DE INDIAS D. T. H. Y C.

(2024)



Evaluación del efecto de la proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*) en las propiedades bromatológicas, texturales y microestructurales de un queso fresco

Jhon Eduardo Rodríguez Meza

UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE
LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS**

ASESORES:

DIOFANOR ACEVEDO CORREA, Ph.D.

CARMEN MOLINARES BRITO, Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. H. Y C.

2024

Cartagena, 28/Junio/2024

Doctor:

RICARDO PÉREZ SÁENZ

Director de Investigaciones

Universidad del Sinú EBZ

Seccional Cartagena

L. C.

Cordial saludo.

La presente tiene como fin someter a revisión y aprobación para la ejecución del proyecto de investigación titulado: Evaluación del efecto de la incorporación de la proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) en las propiedades bromatológicas, texturales y microestructurales de un queso, del estudiante Jhon Eduardo Rodriguez Meza, adscrito a la Maestría en Gestión de la Calidad de los Alimentos en el área de posgrado.

Atentamente,

Dra. OLGA TATIANA JAIME PRADA

Jefe del Programa de Nutrición y Dietética

DRA. TANIA YADIRA MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Coordinadora de Investigaciones del Programa de Nutrición y Dietética

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena DT y C, (DIA/MES/AÑO)

DEDICATORIA

A mi más grande héroe en la vida, mi abuelo Eliseo. Me apoyas desde el cielo, lo sé.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios porque sin su infinita misericordia no estaría hoy dando un paso en mi formación posgradual.

A mis padres, hermanos, abuelas, sobrinos y demás familiares que son el pilar de mi vida y me ayudan cada día a salir a delante y me llenan siempre de amor.

Un agradecimiento muy especial a mis directores de tesis los doctores Carmen Molinares Diofanor Acevedo Correa y Piedad Montero Castillo y todo el equipo del Grupo de Investigación IDAA de la Universidad de Cartagena, principalmente Luis Beltrán y Hader Alcázar, que con su ayuda y disposición ayudaron a desarrollar esta investigación, financiado a través del proyecto: Efecto de la incorporación de proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) en las propiedades bromatológicas, texturales, sensoriales, microbiológicas y microestructurales de un queso costeño

A todos mis compañeros de la maestría. A cada uno de los docentes que me acompañaron en este increíble recorrido, al programa de Nutrición y Dietética y al Área de Investigación Formativa de la Unisinú, por su apoyo en este escalón más de mi vida.

A TODOS UN MILLÓN DE GRACIAS.

Tabla de contenido

Introducción	12
Planteamiento del problema	14
Pregunta de investigación	16
Justificación	17
Objetivos.....	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Revisión literaria	20
Marco teórico	20
Queso	20
Quesos típicos colombianos	22
Queso costeño	22
Queso doble crema.....	22
Queso antioqueño.....	22
Análisis bromatológico, microbiológico y sensorial	23
Antecedentes.....	24
Marco conceptual	31
Ajonjolí su origen y zonas productoras.	31
Características Botánicas.	33
Variedades de la semilla de sésamo.....	34
Variedad Negro	34
Variedad Dorado:.....	34
Variedad S12:	35
Escoba	35
Composición nutricional del ajonjolí y beneficios a la salud.....	35
Otros componentes del ajonjolí.....	39
Proteínas vegetales	40
Metodología.....	42
Tipo de Investigación	42
Materiales	42
Métodos	43

Extracción de proteína aislada de ajonjolí (<i>Sesamum Indicum</i> L.).....	43
Diseño experimental y elaboración queso	44
Determinación de las propiedades bromatológicas de la proteína aislada de ajonjolí y del queso.....	46
Capacidad de retención de agua	47
Capacidad de retención de grasa	47
Índice de Actividad emulsificante	48
Estabilidad de la emulsión	48
Capacidad Espumante.....	48
Determinación del análisis del perfil de textura (TPA).....	49
Evaluación de la microestructura mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	50
Determinación de propiedades sensoriales	50
Análisis Estadístico	51
Resultados.....	52
Análisis a la proteína aislada de ajonjolí	52
Análisis bromatológico	52
Propiedades funcionales.....	54
Análisis al queso con incorporación de proteína aislada de ajonjolí	55
Análisis bromatológicos y fisicoquímicos	55
Análisis de perfil de textura (TPA).....	58
Análisis microestructural (SEM)	60
Análisis sensorial	62
Conclusiones	63
Referencias Bibliográficas (APA 7 ^a edición)	64
Anexos.....	77

Resumen

Las proteínas vegetales son valiosas en la producción de alimentos por su valor nutricional y propiedades funcionales. En la elaboración del queso, la pérdida de proteína durante la etapa del desuerado y la variación en las características texturales durante el almacenamiento son un problema importante, lo que hace que las proteínas vegetales sean una alternativa viable.

Esta investigación se centró en la extracción de proteína de ajonjolí para su uso en la elaboración de un queso fresco. Se utilizaron diferentes concentraciones de proteína aislada de ajonjolí (2, 4 y 8%) para estudiar su efecto en las características bromatológicas, texturales, microestructurales y sensoriales del queso fresco, también se evaluaron parámetros fisicoquímicos como pH, acidez y actividad de agua (A_w), importantes para la calidad y conservación del queso.

Los análisis bromatológicos revelaron quesos con altos contenidos de proteína aproximadamente entre un 16,29% y 21,65%, un incremento en el contenido humedad hasta un 51,06%. La adición de proteína aislada de ajonjolí a 2% y 4% mejoró la dureza, masticabilidad y cohesividad de los quesos, sin embargo, la adición de proteína aislada al 8% deterioró la textura, exhibiendo una reducción en el parámetro de elasticidad. Además, produjo una estructura en forma de racimo y glóbulos de grasa más pequeños, que se logró evidenciar con las micrografías del análisis microestructural. De acuerdo a la evaluación sensorial, la muestra T2, con un 2% de proteína aislada de ajonjolí, mostró los mejores atributos los cuales fueron muy similares al control, mientras que porcentajes mayores de incorporación no fueron aceptables en parámetros como sabor y color. Finalmente, esta investigación resalta los

beneficios en los atributos de calidad del fresco con incorporación de la proteína aislada de ajonjolí y agregar valor a este cultivo en la región

Palabras Claves: Proteína aislada, ajonjolí (*Sesamum Indicum*), propiedades bromatológicas, productos lácteos, microestructura

Abstract

Plant proteins are valuable in food production due to their nutritional value and functional properties. In cheese making, the loss of protein during the whey removal stage and the variation in textural characteristics during storage are significant problems, making plant proteins a viable alternative.

This research focused on extracting sesame protein for use in the production of fresh cheese. Different concentrations of isolated sesame protein (2%, 4%, and 8%) were used to study its effect on the bromatological, textural, microstructural, and sensory characteristics of fresh cheese. Physicochemical parameters such as pH, acidity, and water activity (A_w) were also evaluated, as they are important for the quality and preservation of the cheese.

The bromatological analyses revealed cheeses with high protein content, approximately between 16.29% and 21.65%, and an increase in moisture content up to 51.06%. The addition of 2% and 4% isolated sesame protein improved the hardness, chewiness, and cohesiveness of the cheeses. However, the addition of 8% isolated protein deteriorated the texture, showing a reduction in elasticity. Additionally, it produced a cluster-like structure and smaller fat globules, which was evidenced by microstructural analysis micrographs. According to the sensory evaluation, the T2 sample, with 2% isolated sesame protein, showed the best attributes, which

were very similar to the control, while higher incorporation percentages were not acceptable in terms of flavor and color. Finally, this research highlights the benefits of incorporating isolated sesame protein into fresh cheese, improving quality attributes, and adding value to this crop in the region.

Keywords: Isolated protein, sesame (*Sesamum indicum*), bromatological properties, dairy products, microstructure.

Introducción

Las proteínas de origen vegetal se utilizan tradicionalmente en la elaboración de productos alimenticios tanto por su valor nutricional, como por sus propiedades funcionales y texturales. Estas representan un conjunto de propiedades tanto tecnológicas como sensoriales que inciden sobre el producto final (Ouyang *et al.*, 2022). La funcionalidad de las proteínas vegetales es una característica indispensable para su aplicación, como lo son el balance de aminoácidos y la ausencia de factores antinutricionales, además de su disponibilidad y costo (Kumar *et al.*, 2022). Para lograr satisfacer la demanda creciente de proteínas alimentarias es necesario seguir explorando nuevas fuentes (Arrutia *et al.*, 2020; Kotecka-Majchrzak *et al.*, 2020). En la actualidad, las proteínas de soja son las más utilizadas; por lo tanto, cualquier desarrollo comercial debe ser capaz de competir con ella. Recientemente, la atención de las proteínas vegetales aisladas se ha centrado principalmente en las semillas oleaginosas de algodón, maní, colza, soja y girasol (Kumar *et al.*, 2022; Schweiggert-Weisz *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2023).

Sin embargo, el ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) siendo una semilla importante dentro de las oleaginosas con un alto contenido de proteína (20-25%) y gran funcionalidad (Gandhi y Srivastava, 2007) ha recibido poca atención en Colombia, a pesar de que existen muchas investigaciones en la literatura, es pertinente la generación de nuevo conocimiento en este tipo de matrices. Ahora bien, diferentes parámetros de producción expresan que la proteína aislada de ajonjolí (máximo 90-95% según el método de extracción) podría usarse en formulaciones de alimentos para mejorar las composiciones nutricionales, dado que su proteína contiene una cantidad adecuada de aminoácidos esenciales como la metionina, cisteína, valina, leucina y

triptófano que son aminoácidos limitantes en algunas proteínas vegetales (Fasuan *et al.*, 2018; Arrutia *et al.*, 2020; Nouska *et al.*, 2024).

A partir de esto, se han realizado diversos estudios para a aumentar el nivel proteico del queso, mediante la utilización de polvos concentrados obtenidos a partir de leche y lactosuero (Masotti *et al.*, 2016), y también a partir de fuentes de origen vegetal, entre las que se encuentran semillas oleaginosas y cereales.

Además, estudios recientes a nivel internacional han investigado la incorporación de proteínas de origen vegetal en este tipo de alimentos para mejorar algunos parámetros como la textura y han logrado avances significativos. Autores como, Paximada *et al.* (2020), lograron adaptar las propiedades nutricionales, físicas y mecánicas de un queso cheddar bajo en grasa, con la aplicación de proteínas aisladas de arroz y calabaza utilizando técnicas como la emulsión doble. Otro estudio realizado por Aly *et al.* (2020), evaluó el efecto del polvo de semilla de sésamo en la microestructura y algunas propiedades del labneh, un tipo de queso árabe, logrando un aumento en su contenido de grasa, proteína y cenizas.

Sin embargo, en Colombia existen pocos estudios donde se incorporen proteínas vegetales, como la proteína aislada de ajonjolí, en productos lácteos como el queso fresco. Por consiguiente, la finalidad de esta investigación es evaluar la incorporación de la proteína aislada de ajonjolí en un queso fresco, lo cual es pertinente para el área agroalimentaria en el desarrollo de nuevos productos que permitan dar a conocer el potencial aprovechamiento de este cultivo, y a su vez contribuir a la producción de alimentos con buenas propiedades de textura, mejorando su calidad y aceptabilidad sensorial.

Planteamiento del problema

Mundialmente los quesos frescos son conocidos como un producto elaborado a partir de leche cruda o pasteurizada, con un alto consumo a nivel general, lo cual lo convierte en un producto importante dentro de la canasta básica familiar de muchos países en sus tamaños y formas variados (Mejía-López *et al.*, 2017). Debido a la naturaleza de su proceso de elaboración, uno de los nutrientes que cobra mayor importancia en este derivado lácteo es el contenido de proteína, el cual varía dependiendo de las condiciones de elaboración dadas tanto a la leche, como a la cuajada. Sin embargo, en este proceso no se logra extraer todas las proteínas presentes en la leche, quedando una fracción en el lactosuero compuesta por lactoalbúminas y lactoglobulinas que representan el 20% del total proteico de la leche (Arce-Méndez *et al.*, 2015). Además, una de las características distintivas del queso es su textura, la cual puede verse afectada por el proceso de elaboración. En algunos casos, se ha observado que los productos pierden firmeza durante el almacenamiento.

Con base en lo anterior, se han realizado estudios orientados a la incorporación de proteínas de origen vegetal en amplia variedad de alimentos, concretamente en queso, con el fin de aumentar su valor nutricional, características fisicoquímicas, entre otras. Esencialmente los estudios se han basado en analizar el efecto en la textura durante la etapa de almacenamiento del queso (Lu *et al.*, 2010; Esen y Güzeler, 2023; Tojan *et al.*, 2024), aunque actualmente, se han reportado un grupo de proteínas de origen vegetal que pueden contribuir al enriquecimiento de productos lácteos.

En este orden de ideas, el ajonjolí es un cultivo oleaginoso ancestral que crece en temperaturas de 11 a 29°C, con crecimiento óptimo en temperaturas cálidas (Vaca *et al.*, 2001). Particularmente, el departamento de Bolívar cuenta con una importante producción, proveniente

en gran parte de los municipios que hacen parte de los Montes de María (Córdoba, Zambrano, El Carmen de Bolívar y San Jacinto). A pesar de esto, la implementación de este en la zona de producción se sigue dando de manera tradicional, por lo cual no cuentan con herramientas para maximizar su aprovechamiento.

Por otra parte, una de las fuentes vegetales que se han estudiado para la obtención de proteínas son las semillas oleaginosas, como soya, cacahuete, girasol, colza y ajonjolí (Zhang *et al.*, 2023). Este último, podría ser utilizado en formulaciones alimentarias, debido a que contiene una cantidad balanceada de aminoácidos esenciales como la metionina, cisteína, valina, leucina y triptófano, siendo este último un aminoácido limitante en otras proteínas de origen vegetal (Zhang *et al.*, 2023). Además, se ha demostrado que la proteína aislada de ajonjolí posee características fisicoquímicas y funcionales que podrían ser útiles para su incorporación en matrices alimentarias, como gran capacidad de retención de agua, mejora de viscosidad, potencial emulsificante, capacidad de formación de espuma, formación de estructuras de gel, entre otras; las cuales pueden variar dependiendo del método utilizado para la extracción (Nouska *et al.*, 2024). En estudios donde se incorporó este aislado proteico en queso, mejoró las características microestructurales, tuvo mejores características organolépticas, especialmente el sabor, apariencia y textura (Aly *et al.*, 2020).

En virtud de lo expuesto, el presente trabajo de investigación pretende caracterizar la proteína aislada de ajonjolí e incorporarla en un queso fresco, dado los altos porcentajes de proteínas que contiene esta semilla, además de su bajo costo y elevada producción en la Región Caribe de Colombia. Esta investigación se realizó con el fin de conocer el efecto de la proteína aislada de ajonjolí en el perfil nutricional, sensorial, microbiológico, de textura y microestructural de un queso fresco.

Pregunta de investigación

¿Qué efecto tendría la incorporación de proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*) en las propiedades bromatológicas, texturales, sensoriales, y microestructurales de un queso fresco?

Justificación

Los derivados lácteos, como los quesos frescos, representan un producto altamente consumido en Colombia, se producen tanto de manera artesanal como industrial en distintos departamentos, donde presentan variaciones debido a su proceso de elaboración y aplicación. Según Vargas Prieto (2021) los quesos colombianos se dividen en tres categorías: Primero, los quesos frescos ácidos como queso crema, quesillo tolimense, queso pera, entre otros; la segunda categoría comprende quesos madurados como el queso Paipa de Boyacá y en la tercera categoría se encuentran los frescos no ácidos como el queso campesino, queso molido de Nariño y el queso costeño. Este último, es elaborado en los departamentos de la Región Caribe como Córdoba, Bolívar, Sucre y Atlántico, el cual se caracteriza por ser fresco, no ácido, con un porcentaje alto en sal y baja humedad que le permite conservarse un periodo mayor comparado con otros quesos (Tirado *et al.*, 2016). En la costa colombiana este derivado lácteo es insignia gastronómica, se consume en diferentes zonas, además es un insumo importante en la elaboración de alimentos como productos de panadería y platos típicos.

Con el fin de dar una posible solución a una problemática que se ha presentado en la elaboración del queso fresco en la Región Caribe, en el que la cantidad de proteína perdida durante su elaboración es significativa; se planteó esta investigación enfocada en la utilización de la proteína aislada de ajonjolí, pretendiendo dar un valor agregado a este cultivo en la región, mediante su incorporación en la elaboración de un queso fresco, mejorando además los atributos texturales y sensoriales, resultando en un producto de mayor calidad y estabilidad.

En este sentido, el ajonjolí es una semilla oleaginosa importante, la cual tiene en su mayoría, proteínas (20-25%), grasa (40-50%), también contiene una buena cantidad de fibra y minerales como el magnesio (Mejía, 2023). En la literatura se han descrito varios efectos en la

salud al consumir esta semilla oleaginosa, como reducción de hipertensión, propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Nouska *et al.*, 2024). A nivel proteico, es una fuente balanceada de proteína de alta calidad, con una proporción significativa de aminoácidos no esenciales y esenciales comparado con otras semillas (Nouska *et al.*, 2024). Según datos de Agronet, la producción nacional de ajonjolí fue de 3950,38 toneladas con un área sembrada de 4604,2 hectáreas para el año 2021, de los cuales el departamento de Magdalena tiene la mayor producción (1780,27 ton.) seguido de Bolívar (868), Sucre (648.30), Tolima (478,5), Córdoba (136,3), Cesar (34,13) y Vichada (4, 6 ton.) (Agronet, 2024).

En Colombia, a pesar del alto nivel de cultivo de la semilla de ajonjolí y el notable crecimiento en el desarrollo de nuevos ingredientes y productos con proteína vegetal que marcan tendencia en el mercado, no se han realizado suficientes investigaciones que busquen aprovechar esta semilla de manera efectiva. Además, no se han implementado estrategias para transferir este conocimiento a los agricultores, lo que a menudo resulta en desperdicios debido al escaso aprovechamiento del cultivo (Pérez *et al.*, 2018).

La incorporación de la proteína de ajonjolí en productos lácteos como el queso fresco representa una excelente alternativa para diversificar nutricionalmente estos alimentos (Lu *et al.*, 2010). Dado que el queso fresco es uno de los productos más populares en la Región Caribe, su sector productivo se beneficiaría significativamente con la adición de este aislado de proteína, ofreciendo así un producto más completo nutricionalmente para los consumidores.

Objetivos

Objetivo general

•Evaluar el efecto de la incorporación de la proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum* L.) en las propiedades bromatológicas, texturales y microestructurales de un queso fresco.

Objetivos específicos

•Analizar propiedades bromatológicas y funcionales de la proteína aislada del ajonjolí cultivado en Córdoba-Montes de María (Bolívar)

•Evaluar las características bromatológicas de las muestras de queso fresco.

•Analizar las propiedades texturales y microestructurales del queso con incorporación de proteína aislada de ajonjolí

•Analizar las propiedades sensoriales de los productos finales de queso con incorporación de proteína aislada de ajonjolí

Revisión literaria

Marco teórico

Queso

El queso es un producto alimenticio de la familia de los lácteos realizado a base de leche fermentada, existe una gran diversidad de quesos con una gran variedad de sabores y formas en todo el mundo, donde cada región aporta sus ingredientes en base a su cultura y recursos que se dispongan (Khattab *et al.*, 2019). Según la norma técnica colombiana 750, el queso se puede definir como un producto fresco o que puede estar madurado, texturalmente pueden ser sólidos o semisólidos, que se puede obtener mediante la coagulación de la leche cruda, o leche pasteurizada, o mezcla pasteurizada de leche fresca con derivados lácteos, por la acción del cuajo u otros coagulantes aprobados, y escurriendo parcialmente el lactosuero que se produce (NTC 750, 2009).

En relación a la composición química general de los quesos, representan una fuente de proteínas de calidad, además de un contenido de agua, vitaminas, minerales, carbohidratos, y la grasa que es una de las mayores diferencias entre tipos de quesos. Pero a nivel de calificación cuantitativa se hace difícil establecer valores estandarizados al queso debido a que hay muchos factores que afectan su composición química, como la duración del período de maduración, la humedad y la cantidad de sal añadida, el tipo de leche utilizada e incluso las diferencias culturales del lugar donde se produzca, por lo tanto, es difícil proporcionar una composición definitiva para el queso (Rashidinejad *et al.*, 2017).

La proteína de alta calidad nutricional del queso contiene todos los aminoácidos esenciales necesarios para la buena nutrición del ser humano, su contenido varía del 4% al

40% y, por lo general, si aumenta el contenido de grasa, la proteína disminuye (Rashidinejad *et al.*, 2017). Las caseínas constituyen entre el 97% y el 98% de las proteínas del queso, que tienen unos niveles más bajos de aminoácidos azufrados que las proteínas del suero. En la tabla 1, se puede ver la cantidad de proteínas de algunos quesos populares del mundo, al hacer comparaciones se puede ver que los quesos frescos como el queso costeño se encuentran muy por debajo del contenido proteico, evidenciando que con la incorporación de proteínas de origen vegetal se podría tener un valor mayor en su contenido proteico (Viola y Ortiz, 2020)

Tabla 1. Contenido de proteína en gramos de algunos quesos populares,

Nombre del queso	Proteína (g)
Queso Camembert	20.9
Queso Edam	26
Azul Danés	20.1
Queso Mozzarella	25.1
Queso Costeño	19
Parmesano	39.4
Roquefort	19.7

Fuente: (Rashidinejad *et al.*, 2017; Viola y Ortiz, 2020).

La fase más importante en la elaboración de queso es la etapa de coagulación, las fases anteriores y posteriores a esta como la adición del cultivo, acidificación, salazón, envasado y refrigeración son utilizadas para que este derivado lácteo pueda conservarse. Los coágulos de leche formados por acción del cuajo son cortados y separados del lactosuero dando comienzo al proceso de sinéresis (Acevedo *et al.*, 2015; Lucey, 2011). En la costa caribe colombiana, el queso fresco conocido como queso costeño es un alimento autóctono que ha

ocupado un lugar trascendental en la canasta básica familiar, incluso expandiéndose comercialmente a otros rincones del país.

Quesos típicos colombianos

Algunos de los quesos más reconocidos se describen corresponden al queso costeño, el queso doble crema y el queso antioqueño:

Queso costeño

Queso fresco y semiduro, elaborado a partir de coagulación enzimática de leche de vaca, se caracteriza por ser alto en sal y bajo en humedad, permitiendo así conservarse mayormente en comparación a otro tipo de quesos. Oriundo de la región caribe, es producido de manera artesanal en los departamentos de la costa colombiana (Peña, 2018; Granados y Torres, 2011).

Queso doble crema

Queso de pasta semiárida fresco, hilado, semiblando y semigraso, tiene alto contenido de humedad y grasa, similar al queso mozzarella italiano. Sus características sensoriales son propias de este tipo de queso y tiene un tiempo de vida útil aproximado de 15 días (Grajales, 2009; Granados y Torres, 2011).

Queso antioqueño

Queso fresco sin maduración, no ácido y molido, para después ser moldeado a mano. Internamente su consistencia es blanda, ya que se deshace fácilmente. Este producto es consumido fresco ya que tiene un periodo de conservación de 15 días (Granados y Torres, 2011).

Análisis bromatológico, microbiológico y sensorial

Dentro de los análisis realizados para evaluar los quesos con incorporación de proteína aislada de ajonjolí, las pruebas bromatológicas buscan determinar la composición proximal de los alimentos, para determinar si el alimento es de calidad y si es apto para el consumo humano. Dentro de estas se evalúan diferentes datos de las propiedades químicas del alimento, como puede ser el contenido de humedad, grasa, material orgánico dentro del alimentos a través de pruebas de ceniza, perfil de aminoácidos y contenido de proteína presente en dicho alimento (Acero, 2007). Cada una de estas pruebas están mostradas en la AOAC, y sus valores o resultados para la determinación de la calidad de los alimentos está determinada por el tipo de alimento y por las normativas que lo rijan.

Los análisis microbiológicos son el conjunto de pruebas químicas utilizadas para la identificación de microorganismos patógenos que se encuentren dentro de los alimentos, y en base a la cantidad de microorganismos determinan la calidad del alimento, y su viabilidad para el consumo humano. Los resultados arrojados por este tipo de pruebas para evaluar al alimento están ligados al tipo de alimento y a la normativa alimentaria (Mendonca *et al.*, 2020).

Las análisis sensoriales son aquellos que se realizan para determinar un conjunto de atributos sensoriales de un alimento, cuando se habla de pruebas sensoriales en el queso se podrían definir como las respuestas humanas a percepciones de los diferentes estímulos que se experimentan al momento de consumir los alimentos, y generalmente se puede describir usando términos definidos dentro de las categorías de apariencia, sabor y textura (Drake y Delahunty, 2017), la evaluación sensorial a los quesos se hace necesaria ya que estas tienen el fin de determinar la influencia de las características sensoriales en la alimentación calidad del queso y su aceptabilidad por parte del consumidor (Drake y Delahunty, 2017). La determinación

de cada uno de estos aspectos sensoriales, dan una visión bastante amplia de las características que se deberían mejorar en el queso para poder llegar a ser apetecible, siendo esto posible mediante la utilización de los sentidos del ser humano e importante para conocer la viabilidad del producto.

Antecedentes

Se construyó una base bibliométrica a partir de artículos científicos provenientes de las principales bases de datos, tales como Scopus, Web of Science y Science Direct. Estas investigaciones permitieron identificar las tendencias actuales, los principales enfoques teóricos y metodológicos, así como las problemáticas en torno a la aplicación de proteínas vegetales en derivados lácteos como el queso.

Para analizar los datos se utilizó el software VOSviewer, que es una herramienta avanzada para visualizar y analizar redes bibliométricas. Al utilizar esta herramienta, fue posible identificar los autores principales y los resultados de la investigación que se han destacado para la comprensión del tema, así como determinar los patrones de colaboración entre investigadores y analizar la evolución de los temas a lo largo del tiempo. Las palabras claves empleadas fueron: proteína aislada, ajonjolí (*Sesamum Indicum*), propiedades bromatológicas, productos lácteos, microestructura.

En la Figura 1 se evidencia el análisis bibliométrico para recopilación de publicaciones científicas encontrándose que las investigaciones se han centrado en el estudio de la incorporación de aislados proteicos y de compuestos bioactivos de origen vegetal en productos lácteos frescos y bebidas fermentadas.

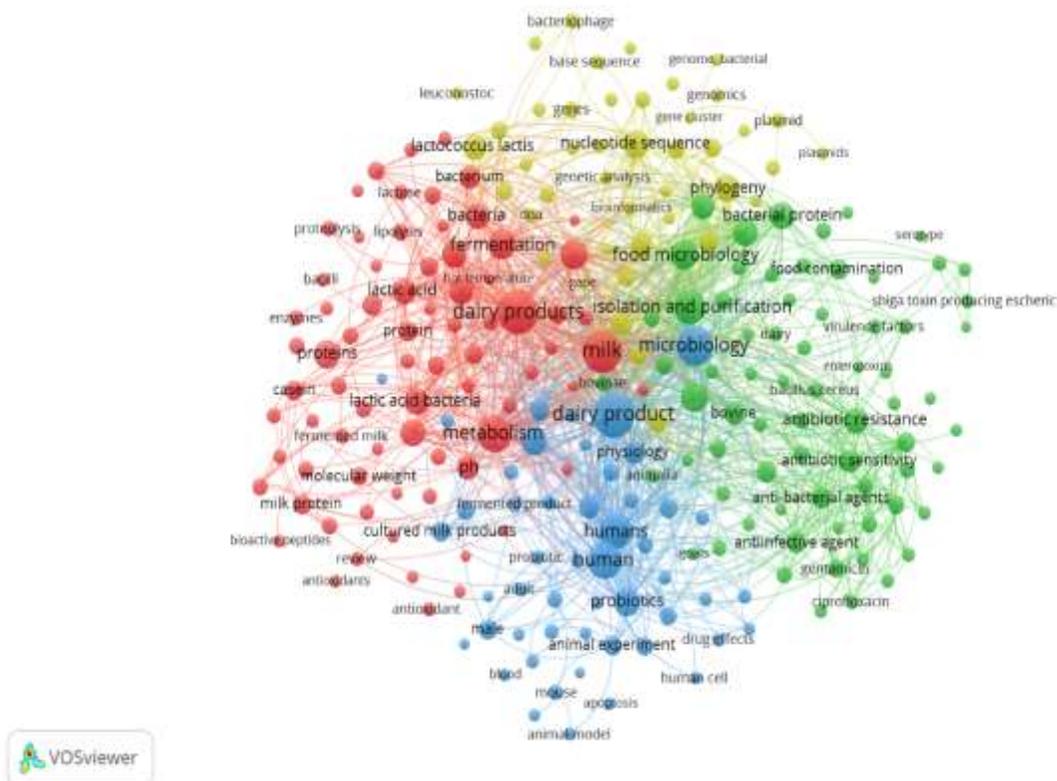


Figura 1. Análisis bibliométrico para recopilación de publicaciones científicas

En la Figura 2 se observa el análisis bibliométrico de los principales autores y frecuencia de citación encontrándose que en los últimos años se las investigaciones de aislados proteicos continúa en aumento, principalmente en países como China y en Europa como España e Italia. Esta revisión de la literatura permitió identificar los principales autores y estudios que han contribuido significativamente al conocimiento del tema, así como las metodologías y enfoques más utilizados.

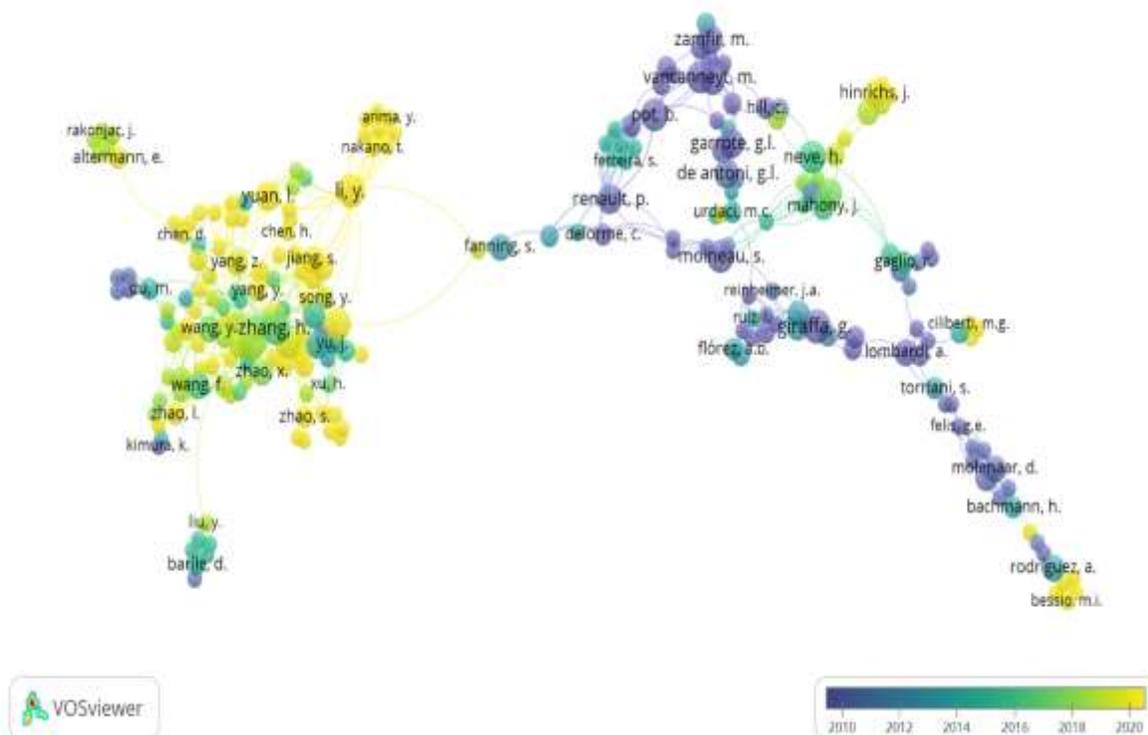


Figura 2. Análisis bibliométrico de los principales autores y frecuencia de citación

Además, el análisis bibliométrico se centró en la recopilación de artículos pertinentes de la última década, proporcionando una visión general completa y actual del estado actual de las cosas. La selección de los artículos que se describen a continuación se basó en criterios específicos, como su relevancia temática, impacto de publicación y frecuencia de citación:

Las proteínas vegetales están cada vez más presentes en la industria alimentaria, impulsadas por las crecientes preocupaciones de los consumidores acerca del impacto ambiental asociado a la producción de proteínas animales, además de la percepción de beneficios para la salud que ofrecen. No obstante, el uso exclusivo de proteínas vegetales en los alimentos presenta limitaciones debido a su baja solubilidad en agua y algunas propiedades de textura desfavorables, como la falta de cuerpo. Sin embargo, al combinarlas con proteínas

lácteas, pueden surgir oportunidades para crear nuevas estructuras con propiedades sensoriales y funcionales mejoradas (Silva *et al.*, 2019). Proteínas vegetales como la de sésamo, soja y guisante se han incorporado en matrices de queso, observándose cambios en la composición, propiedades sensoriales, textura y microestructura (Ouyang *et al.*, 2022).

En ese orden de ideas Zhang *et al.* (2024) evaluaron el uso de aislados de proteínas vegetales como sustitutos de la proteína de leche descremada en quesos procesados, enfocándose en la composición química y las propiedades funcionales de los aislados de garbanzo, maní y sésamo. En quesos procesados con 5, 10 y 15% de estos aislados, solo el contenido de nitrógeno total mostró cambios, mientras que los sólidos totales, la grasa y la sal permanecieron inalterados. La investigación concluyó que la sustitución parcial de la proteína de leche descremada por aislados de garbanzo, maní y sésamo en niveles de 5 y 10% presenta propiedades químicas similares a las del queso procesado tradicional.

Duanis-Assaf (2020) investigaron el efecto del aislado de proteína de sésamo en quesos blandos elaborados con leche bovina. Descubrieron que la adición de este aislado, en concentraciones de 0% a 12%, afectó la fermentación de la leche y la proteólisis de la kappa-caseína, resultando en un tiempo de coagulación más prolongado. Además, incrementar la cantidad de aislado de proteína de sésamo redujo el módulo de almacenamiento de la leche cuajada y prolongó el tiempo de coagulación. A concentraciones bajas (4% y 8%), mejoró propiedades como la dureza, cohesividad, adhesividad y gomosidad del queso, pero a una concentración alta (12%) deterioró la textura, el aislado de proteína de sésamo mostró una interacción significativa con el coloide de caseína a lo largo del proceso de elaboración del queso.

De manera similar, Lu *et al.* (2012) investigaron cómo la adición de aislado de proteína de sésamo y diferentes niveles de calcio en la leche afectan la calidad y estructura del queso. Estudiaron dos variedades de queso: uno elaborado con leche cruda y otro con leche enriquecida con un 8% de aislado de proteína de sésamo, añadiendo calcio en concentraciones de 0, 5, 10 y 20 mM. Encontraron que el aislado de proteína de sésamo prolonga el tiempo de coagulación y reduce la firmeza inicial del queso, pero en combinación con calcio, aumenta la dureza, cohesividad, adhesividad y fundibilidad del queso durante el envejecimiento. Además, observaron que el calcio enriquecido produce una microestructura más uniforme en el queso, indicando una mayor agregación de micelas, lo cual es crucial para las propiedades finales del producto.

En otro estudio, Omrai *et al.* (2020) investigaron las características del queso Feta sin suero utilizando concentrado de proteína de leche y aislado de proteína de soja. Se llevaron a cabo seis tratamientos con diferentes proporciones (12:0, 10:2, 9:3, 8:4, 7:5, 6:6% p/v), y se almacenaron durante 45 días. Los resultados indicaron que las distintas concentraciones de aislado de proteína de soja afectaron el pH, la acidez, los sólidos totales y el color del queso. A medida que se incrementó la concentración de aislado de proteína de soja, se observó una reducción en la luminosidad y el tono verdoso, así como un aumento en el tono amarillento. El estudio concluyó que el aislado de proteína de soja puede ser una alternativa adecuada al concentrado de proteína de leche en concentraciones del 2 al 3%, sin impactos negativos significativos en las propiedades del queso.

Khiabanian, *et al.* (2022) también investigaron el efecto de diversas concentraciones de aislado de proteína de soja (0–6% p/v base seca) en quesos tipo feta acidificados bacteriológicamente (BAF), utilizando concentrado de proteína de leche, a lo largo de un

período de almacenamiento de 45 días. Se encontró que, al sustituir parte del concentrado de proteína de leche por aislado de proteína de soja, se incrementó la acidez y el tiempo de coagulación. La incorporación del aislado de proteína de soja resultó en una reducción de parámetros de textura como dureza, cohesividad, gomosidad y elasticidad, lo cual sugiere una estructura menos compacta. En conclusión, se demostró que es posible sustituir hasta un 3% del concentrado de proteína de leche por aislado de proteína de soja sin afectar negativamente las propiedades sensoriales del queso.

En una investigación realizada por Kumar *et al.* (2010) evaluaron cómo el uso de aislado de proteína de soja en el paneer bajo en grasa afecta sus propiedades nutricionales y de textura. Compararon cuatro tipos de paneer hecho con leche baja en grasa y diferentes cantidades de aislado de proteína de soja (0, 0.1, 0.2 y 0.3%) con paneer tradicional alto en grasa. Evidenciaron que medida que aumentaba el aislado de proteína de soja, el rendimiento y el contenido de proteínas y cenizas del paneer aumentaban, mientras que los niveles de grasa, humedad, lactosa y calorías disminuían. La acidez y el pH mostraron variaciones mínimas. En términos de textura, características como la gomosidad, masticabilidad y firmeza mostraron patrones similares entre las muestras, con poca diferencia en resiliencia y cohesión. Concluyeron que el paneer con un 0.2% de aislado de proteína de soja tuvo la mejor aceptación sensorial.

Salinas-Valdés *et al.* (2015) realizaron un estudio sobre quesos panela utilizando aislados de proteínas de soja y maní, suplementados con transglutaminasa. Los quesos enriquecidos con transglutaminasa y proteína de soja exhibieron niveles más altos de humedad y rendimiento crudo. Además, los quesos que recibieron tratamiento con transglutaminasa y una adición del 100% de proteína vegetal mostraron un rendimiento de sólidos mayor. Todos

los quesos que incluyeron aislados de soja y transglutaminasa presentaron valores superiores de masticabilidad y cohesividad, similares a los del queso de control. La elasticidad fue constante en todos los tratamientos, aunque la dureza fue más pronunciada en los quesos preparados con aislado de proteína de maní añadido con transglutaminasa. Estos hallazgos sugieren que los quesos enriquecidos con estos aislados proteicos poseen un contenido proteico superior al del queso control elaborado con leche, manteniendo características de textura similares.

Mazinani *et al.* (2021) investigaron cómo el aislado de proteína de soja afecta la proteólisis y las características organolépticas del queso Cheddar durante su maduración. El estudio utilizó diferentes proporciones de leche de vaca y aislado de proteína de soja (97:3, 96:4, 95:5, 94:6 y 93:7) para elaborar el queso, que fue madurado a $12 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 3 y 5 meses. Después de 5 meses de maduración, se observó una mejora notable en las propiedades organolépticas del queso. Los resultados sugieren que el aislado de proteína de soja puede ser beneficioso para mejorar la calidad del queso Cheddar, recomendando específicamente la adición del 5% de aislado de proteína de soja para mejorar el sabor y la textura del producto final.

Investigaciones como la de Sutter *et al.* (2023) también elaboraron quesos usando proteína de guisante, zeína y combinaciones de ambas. Analizaron sus propiedades viscoelásticas y lubricantes frente a quesos lácteos como mozzarella y raclette. Los quesos con proteína de guisante formaron un gel estable que resistió el calentamiento, mientras que los de zeína mostraron una posible disminución en su estructura durante el calentamiento. Las mezclas de zeína y proteína de guisante, con un 30% de proteína total, destacaron por su

potencial para imitar la fusión de quesos convencionales, sugiriendo mejoras sensoriales en formulaciones futuras.

Las proteínas vegetales son utilizadas en alimentos como alternativas no lácteas, siendo importantes para la salud humana. En un estudio reciente realizado por Mazinani *et al.* (2020), evaluaron el efecto del aislado de proteína de guisante en las propiedades de queso feta fortificado con concentrado de proteína de leche durante 30 días de almacenamiento. Se mezclaron diferentes proporciones de concentrado de proteína de leche y aislado de proteína de guisante (12:0, 10:2, 9:3, 8:4, 7:5 y 6:6%). Los resultados mostraron que la sustitución de concentrado de proteína de leche por aislado de proteína de guisante redujo el módulo de almacenamiento y pérdida, pero aumentó la firmeza, elasticidad y gomosidad del queso durante el almacenamiento. Además, se evidenciaron redes de matriz proteica homogéneas y más densas, debido a una mejor formación de la matriz proteica entrecruzada.

Marco conceptual

Ajonjolí su origen y zonas productoras.

El Ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) es un cultivo antiguo conocido dos siglos antes de cristo y descubierto por el botánico Nikolai Ivanovich Vavilov, quien de acuerdo con los registros estableció que los esclavos africanos transportados a Brasil por portugueses trajeron las semillas de esta planta desde África Central para ser cultivadas en Norte América, donde se utilizó para mejorar el sabor de las comidas (De Mera, 2017). El nombre común de esta semilla en Colombia es ajonjolí (Pérez *et al.*, 2018), no obstante, en algunos estados sureños del Caribe y Estados Unidos es llamado por su nombre africano, benne (De Mera, 2017); hace parte de la familia *Pedaliaceae* y se caracteriza por su alto contenido de aceite en las semillas y

óptimos rendimientos en ambientes con déficit hídrico (Pérez *et al.*, 2018). El ajonjolí se adapta a las condiciones tropicales y es una planta resistente a la sequía, apta para plantar en zonas áridas, semiáridas y con poca lluvia, pudiendo adaptarse a diferentes tipos de suelos (Ferré *et al.*, 2018).

Actualmente el ajonjolí se cultiva en zonas cálidas cerca del ecuador siendo las principales zonas productoras China, India, Honduras, Nicaragua, Ecuador y México, también se cultiva en mayor proporción en Egipto por su capacidad de crecer óptimamente en climas tropicales, pero al mismo tiempo se desarrolla en regiones templadas (Ferré *et al.*, 2018).

En Colombia, el ajonjolí se cultiva principalmente en la región Caribe, en los departamentos de Córdoba, Bolívar, Magdalena y Sucre, que juntos representan más del 60% de la producción nacional. Destacan en esta zona los Montes de María, especialmente los municipios de Carmen de Bolívar y Zambrano, así como el Tolima en el interior del país (Tejada, 2018). Se generan dos cosechas al año, la primera se da entre los meses de junio-agosto, y la segunda entre diciembre y febrero; se ofrece en el mercado en presentaciones natural y descortezado (Ferré *et al.*, 2018). Su producción nacional es alta y se destina en gran medida al consumo familiar y, en menor cantidad, a la comercialización de la semilla; esta baja comercialización es ocasionada por el desconocimiento de prácticas de manejo adecuadas y la falta de estudios que ayuden a comprender la manufactura de la semilla, esta carencia de información sobre este asunto ha provocado que se tenga un menor conocimiento sobre su manejo.

Características Botánicas.

El ajonjolí es una planta anual perteneciente a la familia *Pedaliaceae*, como se observan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Clasificación botánica de la semilla de *Sesamum Indicum L.*

Clasificación	Descripción
<i>Reino</i>	<i>Viridiplantae</i>
<i>Clase</i>	<i>Dicotyledonae</i>
<i>Orden</i>	<i>Scrophulariales</i>
<i>Familia</i>	<i>Pedaliaceae</i>
<i>Género</i>	<i>Sesamum</i>
<i>Especie</i>	<i>S. Indicum L.</i>

Fuente: (Cortez y Sánchez, 2017)

Pedaliaceae es una familia de plantas fanerógamas o superiores caracterizadas por poseer pelos mucilaginosos en tallos y hojas que le aportan una sensación húmeda; suelen tener frutos con ganchos que a su vez producen capsulas con numerosas semillas oleaginosas y son capaces de soportar temperaturas entre los 20 y 35°C, de ahí que los rendimientos estén entre los 400 y 600 kilogramos por hectárea (Rivera *et al.*, 2009)

La planta se caracteriza por ser erecta, herbácea y tener alturas de 1,20 hasta 1,70 m, aunque algunas variedades pueden alcanzar una altura de 2 y hasta 3 m, debido a que es una planta autógena, esto puede variar según la variedad y las condiciones ecológicas a las que se someta (Torres, 2020).

El ciclo de vida de la planta puede variar entre 80 y 130 días, su nombre científico es *Sesamum Indicum L.* y aunque existen distintas variedades que se diferencian por su pronta madurez, ramificación del tallo y tipo de cápsula en la mayoría de ellas se presenta crecimiento

floral en 42 a 45 días con una exposición de 10 horas de luz al día, pero muchas variedades se han adaptado a diferentes tiempos de luz (Cortez y Sánchez, 2017). Las flores al madurar forman unas vainas en cual se contienen las semillas “al madurar las semillas, la vaina eclosiona expandiendo las semillas”; por ello la cosecha se sugiere hacerla a mano y antes de que alcancen a la madurez fisiológica (Ferré, 2018). El pequeño tamaño de las semillas de sésamo plantea ciertos problemas para la mecanización de la siembra y el control del número de plantas obtenidas en la población en comparación con el número de plantas que se desea obtener en (Cortez y Sánchez, 2017). La presencia de 2 a 3% de ácido oxálico en las cáscaras de las semillas hace que se vuelvan amargas, lo que afecta la absorción de calcio y hace necesaria su eliminación (Ferré, 2018).

Variedades de la semilla de sésamo

Variedad Negro

Esta variedad tiene el ciclo de crecimiento más corto, aproximadamente de 80 a 90 días, se destaca por tener hojas inferiores enteras en formas similares a corazones y un tallo ramificado. Sus flores son de color lila claro, y la cantidad de aceite contenido en las semillas es bajo al compararlo con otras variedades, por lo general, entre 44% y 46% (Rivera et al., 2007).

Variedad Dorado:

Esta variedad tiene un ciclo de crecimiento intermedio, alrededor de 90 a 100 días. La planta se caracteriza por ser de tallo único, y de una altura inferior a los 2 metros. Las semillas son de color pardo rojizo (dorado) y su contenido de aceite es alto, entre 52% y 54% (Córdova y Díaz, 2018).

Variedad S12:

Esta planta produce cápsulas que no se abren espontáneamente al alcanzar la madurez para liberar las semillas, lo que permite que la cosecha se realice con maquinaria, ya que las vainas de esta planta no se abren tan fácilmente como en la variedad Escoba. Una desventaja de este tipo de ajonjolí es la variada coloración de las semillas que produce, lo que reduce la calidad del grano (Córdova y Díaz, 2018).

Escoba

La variedad escoba es también conocida como ajonjolí blanco, se produce en una planta ramificada que puede alcanzar los 2 metros de altura. Su ciclo de crecimiento puede superar los 120 días dependiendo de la época de siembra. Las vainas de esta variedad se abren y expulsan las semillas con mucha facilidad cuando están maduras, es decir, son dehiscentes. Por lo anterior, la cosecha de estas semillas no puede hacerse con máquinas. Las semillas además de ser pequeñas, tienen una coloración blanca o blanco crema, y poseen una gran cantidad de aceite comestible, entre 50% y 52% (Córdova y Díaz, 2018).

Composición nutricional del ajonjolí y beneficios a la salud

Ajonjolí es el cultivo más importante de las oleaginosas en las zonas tropicales, su semilla la consumen los humanos y de ella se extrae aceite debido a su aporte nutricional (Lugo-García *et al.*, 2017). La planta de ajonjolí es importante al ser considerada una fuente de ácidos grasos insaturados de excelente calidad, debido a su balance en lecitina, omega 6 y omega 9 ;un elevado contenido de antioxidantes naturales; además, posee un alto contenido de fibra (3,2%),proteínas vegetales (17,4%), vitaminas A (0,01%)B1, B2, B3, B5, B6, B9, E, K y minerales como el calcio (0,14%), hierro (0,06%), yodo, magnesio, boro, zinc, cobre, fósforo,

potasio , silicio y selenio, que en conjunto le confieren propiedades nutricionales (Iglesias *et al.*, 2018).

Tabla 3. Composición nutricional de semilla de ajonjolí

Nutrientes	Valor x 100g
<i>Agua</i>	<i>4,69 g</i>
<i>Energía</i>	<i>573 kcal</i>
<i>Proteína</i>	<i>17,73 g</i>
<i>Grasas totales</i>	<i>49,67 g</i>
<i>Carbohidratos</i>	<i>23,45 g</i>
<i>Fibra dietética total</i>	<i>11,88 g</i>
<i>Ceniza</i>	<i>4,45 g</i>
Minerales	
<i>Calcio, Ca</i>	<i>975 mg</i>
<i>Hierro, fe</i>	<i>14,55 mg</i>
<i>Magnesio, Mg</i>	<i>351 mg</i>
<i>Fósforo, P</i>	<i>629 mg</i>
<i>Potasio, K</i>	<i>468 mg</i>
<i>Zinc, Zn</i>	<i>7,75 mg</i>

Fuente: (Barreyro, 2018; USDA, 2016)

Se estima que el contenido de oleico y palmítico puede disminuir mínimamente por efecto de operaciones como el descascarillado, cocimiento y/o tostado de la semilla antes de la producción de la pasta. El perfil de ácidos grasos en la semilla y en la pasta es muy similar en su contenido de ácido linoleico, oleico, esteárico y palmítico, a pesar de estando presentes en mayor concentración el oleico y linoleico. La proteína del ajonjolí es ligeramente baja en lisina, no obstante, es rica en metionina, cisteína, arginina y otros aminoácidos (Barreyro, 2018; USDA, 2016)

El consumo adecuado de semillas de ajonjolí puede favorecer la regulación del colesterol en la sangre, fortalecer el sistema nervioso, regular el tránsito intestinal, mejorar la función metabólica del organismo, inhibir el desarrollo de células cancerígenas, contribuir a prevenir la osteoporosis y la arterioesclerosis y, al no contener gluten es una buena alternativa para personas que padecen de enteropatía sensitiva al gluten. Por otro parte, el ajonjolí, contiene una proporción de sesamina, sesamolina y sesamol muy significativas, los cuales constituyen antioxidantes naturales que lo protegen frente a la oxidación y le otorgan alta estabilidad en almacenamiento a temperatura ambiente (Iglesias *et al.*, 2018).

En su composición también incluye lecitina, la cual favorece la disolución de las grasas en medio acuoso, previene el agotamiento cerebral y nervioso manteniendo disuelto el colesterol en la sangre, evitando así el depósito de este en las paredes arteriales (arteriosclerosis); además posee un gran poder emulsionante (Hernández-Monzón *et al.*, 2014). Los fitoesteroles presentes en la semilla de ajonjolí disminuyen el colesterol, aumentan la respuesta inmune y reducen el riesgo de varios tipos de cáncer debido a las propiedades antioxidantes de los componentes presentes en estos, como la sesamina, sesamolina, y sesaminol (Quispe, 2016).

Asimismo, contiene minerales como el calcio el cual se halla biodisponible favoreciendo el desarrollo y formación de dientes y huesos, la contracción de los músculos en general, regula el pH sanguíneo e interviene en la transmisión de impulso eléctrico entre neuronas (Hernández-Monzón, 2014). El hierro que posee cumple varias funciones de las que se destaca transportar el oxígeno que está en la sangre y contiene cinc el cual influye en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas (Díaz, 2011).

También contiene fibra soluble, esta interviene en el metabolismo reteniendo las toxinas en el intestino para su subsiguiente evacuación al exterior mediante la defecación, por lo que el organismo absorbe una menor cantidad de toxinas que pueden ser las responsables de tumores por su almacenamiento (Caluña *et al.*, 2020).

El ajonjolí es fuente de vitamina E y del complejo B, el niacina unido a otras vitaminas puede contribuir a la transformación de los carbohidratos a energía, a la digestión de las grasas y al buen funcionamiento del corazón, así como de los músculos y del aparato digestivo (Cuba y Lovon, 2018). Ahora bien, el ajonjolí no es un alimento tóxico pues su consumo es seguro y no se han descrito contraindicaciones del ajonjolí, excepto en aquellas personas que presentan alergia a este o a algún componente específico (Tejada, 2018).

Cabe mencionar que la cantidad de nutrientes es distinta entre una semilla u otra según la variedad, pero todas son excelentes fuentes de proteína, vitaminas, grasas insaturadas y minerales (Sibrían, 2004). Por otro lado, se ha encontrado en el follaje de la planta, bajas cantidades de ácido palmitoleico, arachídico y mirístico, así como de colina, pentosano, ácido clorogénico y sacarosa (Tejada, 2018).

Esta oleaginosa es muy importante por su amplio y variado contenido de nutrientes, muchos de ellos considerados ingredientes indispensables y necesarios para una sana alimentación, por lo que el ajonjolí se ubica como un alimento excepcional; ya que sus características composicionales permiten que sea utilizado en la prevención de múltiples enfermedades y son muchos los beneficios que otorga a la salud (Hernández-Monzón, 2014).

Otros componentes del ajonjolí

Es importante mencionar que el ajonjolí posee sustancias antinutricionales (FAN) como ácido oxálico (oxalatos), estos son quelantes de minerales como hierro, calcio, cobre, zinc y magnesio, es decir, los hacen precipitar, por lo que se obstruye la absorción de dichos minerales, no obstante, tienen la particularidad de ser termolábiles, por lo tanto, al descortezar el ajonjolí se elimina gran parte de esta sustancia presente en el grano natural, más específicamente en su cáscara (Tejada, 2018). El consumo excesivo de oxalatos puede generar un déficit de los minerales antes citados y en casos de ingesta elevada puede ocasionar efectos tóxicos, siendo letal en dosis de 5 g en adultos (Alonso, 2018).

Por lo tanto, la calidad de las semillas descascaradas es superior debido a que en la cubierta además de tener ácido oxálico contiene fibra no digerible, estos son responsables de impartir cierto amargor, pero, se deben considerar otros parámetros como el tamaño del grano, color, contenido de proteínas y aceite (Hernández-Monzón, 2014).

Adicional posee ácido fítico (fitatos), este es un ácido fosfórico proveniente del mio-inositol que tiene capacidad de conformar quelatos a partir de minerales esenciales como el magnesio y el calcio; formando complejos solubles, por ejemplo Calcio-fitatos-Zinc, resistentes a la acción del tracto intestinal lo que determina la baja disponibilidad de estos minerales, que además interactúan con residuos de proteínas inhibiendo las enzimas digestivas como la pepsina, α -amilasa y pancreatina (Chiriboga, 2013). Los fitatos se inactivan parcialmente con remojo en medio ácido, germinado y fermentado, por ejemplo, el ácido ascórbico (Vitamina C) el cual puede disminuir el efecto de este en el hierro (Tejada, 2018).

En la cuantificación de FAN en las pastas de oleaginosas existe mucha variabilidad, esto se debe a las técnicas implementadas en su determinación, al tratamiento térmico aplicado y a la variedad de la semilla; como se mencionó anteriormente la presencia de FAN puede restarles disponibilidad biológica a los nutrientes y/o digestibilidad produciendo un descenso de su consumo, de la función digestiva, respuesta inmune y eficiencia productiva; no obstante, estos factores antimetabólicos se pueden inactivar mediante la aplicación de diversos tratamientos tecnológicos (efecto térmico, mecánico e hidrotérmico) (Aguilera *et al.*, 2012).

De igual manera se debe tener en cuenta que el ajonjolí es un alimento alergénico, la alergia al sésamo es una alergia desencadenada por su consumo así como por el uso de productos que lo contengan, ya sean cosméticos o de farmacia; la Unión Europea reconoció al sésamo dentro del grupo de alérgenos alimentarios, haciendo que fuera obligatoriamente declarado en las etiquetas de los alimentos; sin embargo en nuestro país aún no se considera alérgeno dentro de la legislación vigente (Tejada, 2018).

Proteínas vegetales

Las proteínas provenientes de fuentes vegetales han sido de reciente interés en los últimos años, debido a la demanda proteínica de la población mundial y los problemas de salud asociados al consumo de proteína animal; esto obliga a explorar estas fuentes con el fin de ser reemplazadas gradualmente como una opción emergente (Tang *et al.*, 2024; Ravindran *et al.*, 2024).

Entre las fuentes más comunes y estudiadas se encuentran cereales y pseudocereales (Arroz, trigo, maíz, quinoa, chía), legumbres (Lentejas, guisantes, garbanzos), y semillas (girasol, soya, colza, ajonjolí). Las proteínas se encuentran en gran abundancia en la naturaleza, pero necesitan ser extraídas para obtenerlas, mediante la utilización de métodos convencionales y

métodos actuales más novedosos. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, lo ideal es que el método seleccionado para la extracción logre obtener el mayor rendimiento, por ende, los investigadores se han enfocado en los métodos novedosos de extracción ya que estos mejoran la extracción y reducen la degradación proteica (Tang *et al.*, 2024).

La extracción de proteínas vegetales comprende las siguientes fases: (i) Disrupción celular, remoción de tejido externo y reducción de partícula de la fuente para liberar todos sus componentes (ii) solubilización de proteínas, en solventes químicos que permiten que la proteína se disuelva (iii) precipitación de proteínas, mediante el punto isoeléctrico que equilibra las cargas de las proteínas provocando su precipitación (iv) concentrado o aislado proteico, en el cual se seca, muele y tamiza el precipitado para así obtener la proteína aislada. Dependiendo de la concentración proteica del polvo resultante, este puede ser llamado harina proteica (menos del 65%), concentrado proteico (del 60 al 80%) y aislado proteico (más del 80%) (Ravindran *et al.*, 2024).

Metodología

Tipo de Investigación

Se desarrolló una investigación experimental de acuerdo con el logro de los objetivos, donde se aplican los conocimientos adquiridos, revisión documental a través de fuentes documentales de información, apoyada en los procedimientos establecidos; generando información que fue utilizada en el estudio. Por otro lado, según el nivel de medición y análisis de la información se define como una metodología de tipo experimental cuantitativa.

Materiales

El ajonjolí utilizado en esta investigación fue adquirido directamente del municipio de Córdoba (Bolívar), asegurando su frescura y calidad, y fue transportado y empacado de forma inocua hasta las instalaciones del laboratorio de Investigaciones del grupo IDAA en Cartagena (Bolívar). La leche entera, ingrediente principal para la elaboración del queso, fue proporcionada por un proveedor local garantizando su origen y condiciones adecuadas de inocuidad. Además, las otras materias primas necesarias para la elaboración del queso, tales como, cuajo, cloruro de calcio y sal, fueron adquiridas de proveedores de ingredientes alimentarios de la ciudad de Cartagena (Bolívar), siguiendo criterios de calidad y especificaciones técnicas requeridas para la producción del queso según la normatividad colombiana. Por otro lado, los reactivos necesarios para ejecutar las pruebas de análisis fueron adquiridos de proveedores especializados de grado analítico, garantizando la pureza y calidad exigidas para los análisis bromatológicos en la ciudad de Medellín (Antioquia).

Métodos

Extracción de proteína aislada de ajonjolí (*Sesamum Indicum L.*)

La extracción de proteína aislada se hizo de acuerdo a la metodología expuesta por Torres Juárez (2002) y Sharma *et al.* (2016) con modificaciones. El proceso se inició con la recepción del ajonjolí que fue obtenida del municipio de Córdoba (Bolívar), a esta materia prima principalmente se le extrajeron los desechos y cuerpos extraños y posteriormente se sometió a un descascarillado manual. Seguido, se procedió al acondicionamiento de la semilla de ajonjolí, mediante vapor sobre calentado a 110 °C durante 30 min. Terminada esta etapa se utilizó una prensa tipo Expeller con un rango de presión de 1200 a 1400 kg/cm², que permitió la extracción de la mayor proporción de aceite de esta semilla; el aceite aquí obtenido fue drenado y recolectado en un contenedor. Luego de este proceso se tuvo una torta de ajonjolí parcialmente desgrasada inferior al 20 % de grasa.

Luego se realizó una molienda, de donde se obtuvo una pasta rica en proteínas y aceite residual, aquí se extrajo la mayoría de la grasa remanente por acción del solvente hexano en un equipo Soxhlet. La grasa separada fue recolectada y la harina obtenida se tamizó con malla entre 100 a 150 micrómetros de luz. De la etapa anterior, se tuvo una harina rica en proteínas, a la cual se le realizó un proceso de solubilización, en la que se mezcló con un agitador junto a una solución de Cloruro de Sodio (NaCl) de 5,0 Molar y un pH de 9. Las moléculas solubilizadas, se pasaron a través de una membrana semipermeable con límite de exclusión entre 70000 a 360000 daltones, para la filtración de aquellas moléculas de peso molecular inferior al rango de corte utilizado. Estas moléculas fueron disueltas en la solución anterior para incrementar el rendimiento de la solución proteica; terminada esta fase, se realizó un filtrado, en el cual se pasó a través de un filtro de carbón activado la disolución, eliminando

péptidos pequeños y otras moléculas generadoras de sabor amargo. La separación de la sal remanente (Cloruro de Sodio) y la obtención de la proteína se hizo a través de su precipitación al llevar el pH del filtrado a 4,5, a una temperatura entre 25 y 30 °C. Aquí se logró acelerar la precipitación de las proteínas por medio de centrifugación a igual temperatura. Por último, el precipitado fue llevado a ultracongelación a -80°C para posteriormente ser liofilizada hasta secar completamente. Como producto final se obtuvo un concentrado proteico de ajonjolí, con poco o nulo sabor amargo y con una composición de mayor al 90% de proteína.

Diseño experimental y elaboración queso

Las formulaciones se realizaron con base en un diseño completamente al azar (DCA) se obtuvieron 4 muestras experimentales, incorporando la proteína aislada de ajonjolí en 4 niveles: 0, 2, 4 y 8%, de acuerdo con la metodología propuesta por Lu et al. (2010). El flujograma de elaboración del queso fresco se muestra en la Figura 3, de acuerdo con lo utilizado por Tirado et al. (2016), para este proceso se usaron 25 L de leche cruda de vaca por tratamiento y se realizó una estandarización hasta llegar a una leche con 3,0% de grasa, se realizaron pruebas de calidad como acidez, densidad y temperatura. Luego la leche fue pasteurizada a una temperatura de 65 °C durante 30 min y se enfrió a 32 °C, para posteriormente adicionar 2 g de cloruro de calcio por cada 10 L y se dejó reposar durante 20 min.

Seguidamente se agregó cuajo a razón de 2,8 g por cada 10 L, y se dejó por 30 min a 32°C hasta formar la cuajada. Una vez obtenida, fue cortada y se dejó reposar por 20 min para drenar la mayor cantidad de lactosuero y recoger la cuajada. Después se realizó el desuerado total obteniendo una acidez final de 0,117.

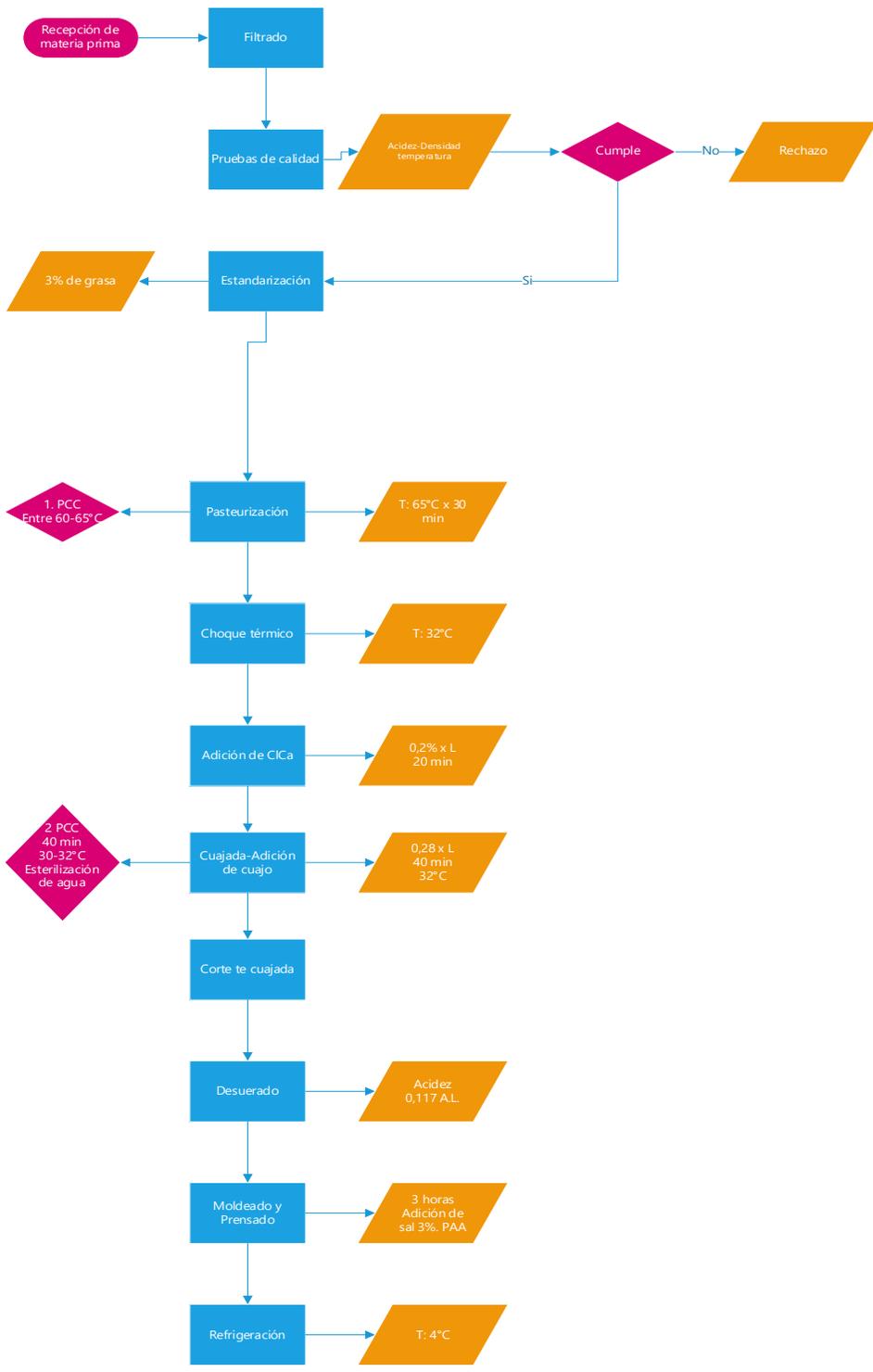


Figura 3. Flujograma de elaboración del queso fresco con incorporación de proteína aislada de ajonjolí
Fuente: Propia

La cuajada fue separada en 4 partes, a cada una se le añadió 3% de sal (NaCl) y el porcentaje de aislado proteico establecido a cada queso en relación % P/P. Posteriormente, se realizó el prensado en cantidades de 5 kg de presión por 30 min, aumentando la masa a 50 kg durante 3 horas. Finalmente se empacó y se almacenó a 4 ± 1 °C. El rendimiento del queso fresco en esta investigación fue del 10%.

Determinación de las propiedades bromatológicas de la proteína aislada de ajonjolí y del queso

Se determinaron los porcentajes de proteína, cenizas, humedad y grasa. Las pruebas se realizaron de acuerdo con los métodos establecidos por la A.O.A.C (2005) y el porcentaje de carbohidratos se calculó por diferencia (Ec. 1). La determinación de sólidos totales se llevó a cabo mediante gravimetría, al igual que las propiedades funcionales del aislado proteico. Para esto, inicialmente se tomaron 10 g de la muestra y se colocaron en una cápsula de porcelana. La muestra se evaporó en baño maría y luego se desecó en una estufa a 110 °C hasta alcanzar un peso constante. Al término de este proceso, se pesó la cápsula con los sólidos residuales para determinar la cantidad de sólidos totales. Para el análisis de proteína, se utilizó el método de Kjeldahl, que implica la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, seguida de la neutralización y destilación para determinar el contenido de nitrógeno, el cual se multiplica por un factor para obtener el porcentaje de proteína. El contenido de cenizas se determinó mediante calcinación de la muestra en un horno a 550 °C hasta obtener un residuo inorgánico constante, que representa las cenizas. La humedad se midió por secado de una muestra previamente pesada en una estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, permitiendo calcular el contenido de agua en la muestra. Para el análisis de grasa, se empleó el método de extracción Soxhlet (AOAC 996.06), utilizando un disolvente como el éter de petróleo para

extraer la grasa de la muestra. Posteriormente, el disolvente se evaporó y la cantidad de grasa residual se pesó para determinar el contenido de grasa

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100\% - (\% \text{ humedad} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína} + \% \text{ cenizas}) \quad (1)$$

El pH se determinó a través de un medidor de pH digital calibrado (marca Hanna Instruments), utilizando una solución tampón para asegurar la precisión de las mediciones. La actividad de agua (A_w) se realizó a través de medición directa en el equipo higrómetro de punto de rocío a 22°C, marca Aqualab serie 4TE con el método sensor de punto de rocío.

Determinación de las propiedades funcionales de la proteína aislada de ajonjolí

Capacidad de retención de agua

Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Heo et al., (2020) 0,5 g de la muestra (M1) se vertió en un tubo de centrifuga de 50 mL. Luego, se agregaron 20 mL de agua destilada. La mezcla se incubó a 60 °C durante 30 min. La mezcla se enfrió en hielo durante 30 min. A continuación, las mezclas enfriadas se centrifugaron a 9.000 rpm durante 20 min. Después de retirar el sobrenadante, se pesó el residuo en polvo en el tubo de centrifuga y se registró el dato (M2). La capacidad de retención de agua se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Capacidad de retención de agua} = \frac{M1(g)}{M2(g) - M(g)} \times 100 \quad (2)$$

Capacidad de retención de grasa

Se determinó de acuerdo a la metodología descrita por (Wang y Kinsella, 1976), con ligeras modificaciones. Se añadió aceite de girasol (3 mL) a 0,5g de muestra en un tubo de centrifuga de 15 mL. Los tubos se agitaron y se llevaron a ultrasonido durante 1 min para

dispersar la muestra. Se dejaron a 24°C por 30 min. Los tubos fueron centrifugados a 1610 xg por 25 min. El volumen de aceite libre se midió y el aceite retenido en la proteína precipitada se expresó como grasa absorbida en mL por g de muestra.

Índice de Actividad emulsificante

Se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Wang et al., 1976, con algunas modificaciones. En un recipiente se pesaron 1,4 g de muestra, se adicionaron 20 mL de agua, y se agitó a 5000 rpm con un ultra-turrax (IKA T25, Alemania); posteriormente se adicionó 20 mL de aceite de girasol y se agitó a 7000 rpm por 3 min. La emulsión se pasó en partes iguales a dos tubos falcón de 15mL y se centrifugaron a 3200 rpm durante 5 min. La actividad emulsificante se expresó, así:

$$\text{Índice de Actividad emulsificante} = \frac{M1 \text{ altura de la capa emulsificada(g)}}{M2(\text{altura del contenido total en el tubo})} \times 100 \quad (3)$$

Estabilidad de la emulsión

Se determinó de manera similar a la actividad emulsificante, pero los tubos se llevaron a baño maría a 80°C por 30 min, previo a centrifugar la muestra y luego se enfriaron en baño de hielo durante 20 min (Yust et al., 2010). La estabilidad de la emulsión se calculó, de la siguiente manera:

$$\text{Estabilidad de la emulsión} = \frac{\text{altura de la capa emulsificada después de calentar}}{\text{altura del contenido total en el tubo}} \times 100 \quad (4)$$

Capacidad Espumante

Se determinó de manera similar a la actividad emulsificante, pero los tubos se llevaron a un homogeneizador para batir la solución durante 5 min. Posteriormente, la espuma formada se

transfirió a un cilindro graduado, registrando el volumen inicial. La estabilidad de la espuma se evaluó dejando reposar el cilindro durante 30 min, midiendo el volumen final de la espuma. La capacidad espumante y la estabilidad de la espuma se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad Espumante} = \frac{V_0}{\text{Volumen de la solución}} \times 100 \quad (5)$$

Determinación del análisis del perfil de textura (TPA)

Se utilizó un texturómetro Marca Shimadzu. Para esto, se cortaron las muestras de queso en rebanadas 2 cm de grosor en promedio, seguidamente se dejaron reposar por 60 min a temperatura ambiente dentro de bolsas de polietileno (Granados et al., 2013). El método de TPA se realizó mediante la aplicación de fuerza de compresión dos veces continuas en las muestras, para simular la masticabilidad humana, para obtener curvas fuerza/tiempo. La distancia de compresión fue de 10,0 mm, para una deformación aproximada del 50% de la altura total y se calcularon los parámetros de dureza y masticabilidad en (N) y cohesividad, elasticidad y resiliencia valores adimensionales, con las siguientes condiciones:

- Velocidad pre-test: 2 mm/s
- Velocidad test: 2 mm/s
- Velocidad post-test: 2 mm/s
- Distancia de compresión: 10,0 mm (50% deformación)
- Tiempo de espera entre compresión: 15 segundos
- Celda de carga: 50 Kg-f

Evaluación de la microestructura mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Las muestras se sumergieron en éter de petróleo durante 4 horas después de su elaboración, para eliminar el aceite de la superficie antes de ser recubierto con una capa de oro delgada (20 nm) utilizando un evaporador al vacío. Las muestras fueron analizadas utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) de presión variable LEO 1420VP (LEO Electron Microscopy Ltd, Cambridge, Reino Unido) a un potencial de aceleración de 25 kV. Un detector de Oxford 7424 de estado sólido (Oxford Instruments, Oxford, Reino Unido) se utilizó para obtener las micrografías electrónicas a 500X de aumentos. Este procedimiento es similar al reportado por (El-Bakry y Sheehan, 2014).

Determinación de propiedades sensoriales

La evaluación de la aceptación del queso se basó en sus características sensoriales, que incluyen color, olor, sabor, textura y la aceptación general. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos atendiendo las recomendaciones de la GTC 293 de 2018 (Icontec, 2018), que incluye los siguientes descriptores: "Me desagrada mucho" (1), "Me desagrada un poco" (2), "Ni me gusta ni me desagrada" (3), "Me gusta" (4) y "Me gusta mucho" (5). Para mantener el anonimato de las muestras, estas fueron identificadas con números aleatorios de tres cifras.

La evaluación se llevó a cabo en un entorno bien ventilado y con una buena iluminación, garantizando la ausencia de olores extraños, en el horario de 3 a 4 pm, según las recomendaciones de la GTC. Un panel compuesto por 50 panelistas semientrenados, conformado por 25 mujeres y 25 hombres en edades entre 18 y 35 años, llevó a cabo la evaluación, y cada miembro recibió una ficha de evaluación para registrar sus evaluaciones, previamente se realizó la socialización y firma de consentimiento informado por parte de los panelistas.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATGRAPHICS Centurion 19. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva para calcular el promedio y la desviación estándar de cada parámetro evaluado. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente las medias se compararon utilizando la prueba de rangos múltiples de HSD (Honestly Significant Difference) de Tukey para determinar las diferencias significativas a un nivel de $P \leq 0.05$ (Tukey, 1994). Todos los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

Resultados

Análisis a la proteína aislada de ajonjolí

Análisis bromatológico

Con respecto a los análisis bromatológicos realizados a la proteína aislada de ajonjolí se muestran en la Tabla 4, se evidencia un alto contenido proteico y bajas cantidades de grasa, cenizas y carbohidratos. La proteína aislada de ajonjolí presenta un contenido de proteína del 90,80%, un valor alto comparable con otros aislados proteicos de origen vegetal, como el aislado de soja, que contiene entre 85% y 90% de proteína (Melgar, 2023). Otra investigación de Sharma et al. (2016) reportaron un contenido de proteína similar con 90,50% en precipitados de proteína aislada de ajonjolí neutralizados a pH 7,0 utilizando NaOH 1,0 M. De manera similar, Achouri et al. (2012) lograron obtener un aislado con un 94,6% de proteína empleando el mismo método de extracción a un pH de 4,5. Las diferencias en el contenido de proteína pueden atribuirse al cultivar específico utilizado para esta investigación con semillas provenientes de los Montes de María (Colombia) y a las modificaciones en la metodología de aislamiento aplicada. La alta pureza de la proteína aislada de ajonjolí no solo mejora el valor nutricional de los productos en los que se podría incorporar, sino que también puede generar beneficios funcionales significativos, como una mayor solubilidad y estabilidad de la emulsión (Dai et al., 2023; García, 2022).

Por otro lado, el contenido de grasa de la proteína aislada de ajonjolí fue de 0,42%, lo cual es considerablemente bajo, esto es beneficioso para la formulación de alimentos destinados a consumidores que buscan opciones bajas en grasa. En otras investigaciones, se ha observado que el contenido de grasa en aislados proteicos puede ser aún más bajo, como en el caso de Sharma et al. (2016) quienes reportaron un contenido de grasa de 0,08%. Un bajo

aporte de grasa también puede mejorar la estabilidad oxidativa del producto, prolongando su vida útil y manteniendo sus propiedades sensoriales (Roque, 2022).

En relación a las cenizas el porcentaje obtenido fue de 2,17%. Este resultado es inferior al reportado por Fathi et al. (2019), quienes observaron un contenido de cenizas del 3,32%; de igual manera es comparable a los presentados por Achouri et al. (2012), quienes reportaron un 2,89%, y Sharma et al. (2016), quienes encontraron un 2,08%. Otros estudios han reportado que, el porcentaje de cenizas en aislados proteicos puede interferir significativamente en las propiedades sensoriales del producto final (Irfan et al., 2023).

El contenido de humedad de la proteína aislada de ajonjolí fue 4,21%, este bajo valor es importante para garantizar la estabilidad del producto en el almacenamiento, ya que minimiza la actividad de agua que puede promover el crecimiento microbiano y la degradación química; favoreciendo la conservación del aislado durante el almacenamiento y facilitando su potencial incorporación en diferentes matrices (Brishti et al., 2020; Shen et al., 2021).

Además, el contenido de carbohidratos de la proteína aislada de ajonjolí fue de 2,40%, lo que garantiza que no añadirá contenido calórico adicional innecesario, manteniendo el enfoque en el aporte proteico y mejorando así su perfil nutricional en aras de posibles aplicaciones alimentarias particularmente enfocadas a una ingesta baja de carbohidratos en la dieta (Barber et al., 2021)

Tabla 4. Análisis bromatológico de la proteína aislada de ajonjolí (PAA)

Materia Prima	Proteína (%)	Grasas (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)	Carbohidratos (%)
PAA	90,80 ±0,02	0,42 ±0,04	2,17 ±0,03	4,21 ±0,05	2,40 ±0,00

Fuente: Propia

Propiedades funcionales

Los análisis de las propiedades funcionales se presentan en la Tabla 5. La proteína asilada de ajonjolí mostró una capacidad de retención de agua (CRA) de 3,212%. Este valor indica que tiene una capacidad significativa para retener agua, lo que puede resultar ventajoso en aplicaciones donde el objetivo es mantener el contenido de humedad del producto final, mejorando así las características texturales. La retención de agua en productos lácteos como el queso es una propiedad muy estudiada, que influye directamente en diversas características de calidad, impactando en su textura y consistencia como afirman Moreno et al. (2020) y Zheng et al. (2022) en sus estudios en aislados proteicos de origen vegetal.

Por otro lado, la capacidad de retención de grasas (CRG) fue de 4,461%, de ello se puede inferir que la proteína aislada de ajonjolí es efectiva en la retención de grasas, lo que puede mejorar la textura y la jugosidad de los productos alimenticios, especialmente en aquellos que son bajos en grasa por diseño. La capacidad de la proteína asilada de ajonjolí para retener grasas puede ser atribuida a la presencia de aminoácidos que interactúan con las moléculas de grasa, mejorando así la estabilidad de los productos emulsionados (Kim et al., 2020). Aunque el mecanismo de absorción de grasa no se reportado a profundidad en la literatura de aislados proteicos, algunos estudios explican que los residuos de aminoácidos no polares en las cadenas proteicas permiten el acceso de las cadenas de hidrocarburos a los sitios de unión de las proteínas, facilitando así una mayor capacidad de retención de grasas (Murphy, 2020)

El índice de actividad emulsificante (IAE) de la proteína asilada de ajonjolí fue del 47,791%, mientras que la estabilidad de la emulsión (EE) fue de 50,776%. Estos valores indican que la proteína aislada de ajonjolí tiene una buena capacidad para formar y estabilizar

emulsiones, lo cual es fundamental en la elaboración de diversos productos. La estabilidad de las emulsiones es una propiedad deseable ya que previene la separación de fases, asegurando una textura homogénea y una apariencia atractiva en el producto final (Wang et al., 2022). En cuanto a la capacidad espumante (CE) de la proteína aislada de ajonjolí fue del 9,523%, un valor relativamente bajo en comparación con otras proteínas vegetales, pero que puede ser adecuado para aplicaciones específicas donde se requiere una baja formación de espuma ya que ésta puede afectar la textura y el volumen del producto final (Zhang et al., 2022).

Tabla 5. *Propiedades funcionales de la proteína aislada de ajonjolí (PAA)*

CRA(%)	CRL(%)	IAE (%)	EE (%)	CE (%)
3,212 ± 0,0014	4,461 ± 0,0822	47,791 ± 1,7296	50,776 ± 1,721	9,523 ± 0,0

Fuente: Propia

Análisis al queso con incorporación de proteína aislada de ajonjolí

Análisis bromatológicos y fisicoquímicos

Los resultados de los análisis bromatológicos de las muestras de queso fresco ensayadas se muestran en la Tabla 6. Los análisis permitieron determinar un mayor contenido de proteína para las muestras T2, T3 y T4 con un contenido de proteína de 16,29%, 18,41% y 21,65%, respectivamente. La adición del aislado proteico tuvo una correlación directa con el aumento del porcentaje de proteína en las muestras de queso, resultando en un mayor valor nutricional de este macronutriente. Resultados similares fueron reportados por Lu et al. (2012), quienes encontraron que al incorporar en su formulación un 8% de proteína aislada de ajonjolí en un queso fresco, el contenido de proteína en el producto final fue superior al de la muestra control. Asimismo, Rinaldoni et al. (2014) lograron enriquecer un queso suave con proteína aislada de soja, logrando un aumento en el contenido proteico. De manera similar, Song et al.

(2018) reportaron un incremento en el contenido de proteína al añadir proteína aislada de soja en la elaboración de un queso crema enriquecido.

De acuerdo a los análisis de grasa, se observó una disminución en los porcentajes registrados en comparación con T1, con valores del 27,91% (T2), 25,23% (T3) y 22,04% (T4). Estos resultados son congruentes con los estudios de Aly et al. (2020) y Al-Anbari et al. (2021), quienes implementaron polvo de semilla de sésamo alto en proteína en un queso labneh y polvo de semilla de lupino en queso suave, respectivamente, y observaron una disminución en la proporción de grasa. El contenido de cenizas mostró un incremento entre las muestras ensayadas. La muestra T2 presentó un valor de 4,79%, que fue mayor que el del T1, mientras que las diferencias entre T2 y T3 no fueron estadísticamente significativas. Resultados similares fueron reportados por Rinaldoni et al. (2014), quienes incorporaron proteína de soja concentrada en queso suave y observaron una tendencia similar en el contenido de cenizas.

El contenido de humedad mostró un significativo aumento entre las muestras ensayadas, con respecto a T1 que presentó el menor valor de humedad (48,13%), con diferencias estadísticamente significativas en comparación con las muestras de queso fresco T2, T3 y T4. En particular, la muestra T4 arrojó los mayores valores de humedad, alcanzando un 51,06%. Estos resultados pueden explicarse por las propiedades funcionales de la proteína aislada de ajonjolí, que contribuye al aumento del contenido de humedad debido a su capacidad para retener agua; esto significa que puede retener eficazmente a las moléculas de agua presentes en el queso (Aguilar, 2023), lo cual es deseable en la producción de ciertos tipos de derivados lácteos como el queso fresco.

El contenido total de carbohidratos en los quesos frescos se encontró entre 1,20% y 1,88%, con la muestra T1 situada dentro de este rango (1,88%). Un estudio realizado por

Bermudez-Beltrán et al. (2020) reportó resultados similares en queso Petit Suisse incorporado con polvo de hoja de moringa. Adicionalmente, una mayor proporción de proteínas puede desplazar la presencia de otros elementos en la composición del queso. Se ha reportado que, el incremento de proteínas en la matriz del queso tiende a reducir la cantidad de otros compuestos presentes, como lo indican Grasso et al. (2022).

Tabla 6. Análisis proximal y fisicoquímico de quesos con proteína aislada de ajonjolí (PAA)

Análisis	T1	T2	T3	T4
Proteína (%)	14,10±0,8 ^d	16,29±0,4 ^c	18,41±0,3 ^b	21,65±0,4 ^a
Grasa (%)	32,00±0,5 ^a	27,91 ±0,5 ^b	25,23±0,9 ^c	22,04±0,3 ^d
Cenizas (%)	3,84±0,04 ^c	4,79 ±0,09 ^a	4,66±0,08 ^a	4,05 ±0,05 ^b
Humedad (%)	48,13±0,7 ^c	49,88±0,6 ^b	50,53±0,5 ^{ab}	51,06 ±0,5 ^a
Carbohidratos (%)	1,88±0,00 ^a	1,13 ±0,00 ^d	1,17 ±0,00 ^c	1,20 ±0,00 ^b
pH	5,16 ±0,01 ^d	5,59 ±0,06 ^c	5,71 ±0,02 ^b	5,88 ±0,07 ^a
Acidez (%)	0,138 ±0,00 ^b	0,213 ±0,00 ^d	0,165 ±0,00 ^c	0,096 ±0,00 ^a
A_w	0,971±0,02 ^a	0,967 ±0,01 ^b	0,967±0,01 ^b	0,964±0,00 ^c

T1 (0% PAA), T2 (2% PAA), T3 (4% PAA), T4 (8% PAA).

Medias dentro de una fila seguida de la misma letra no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

obtenidas con un post-hock de Tukey

Se observó un aumento significativo en el pH en las muestras T2, T3 y T4 en comparación con el T1, resultados que concuerdan con los reportados por Al-Anbari et al. (2021) al incorporar polvo de lupino en queso suave durante el día cero de almacenamiento. Dado que el pH del aislado proteico de ajonjolí fue de aproximadamente 6,8 es probable que haya influenciado el pH final de las muestras de queso fresco. El porcentaje de acidez de los

quesos ensayados fue mayor en comparación con T1, a excepción de la muestra de queso fresco T4. Este hallazgo es consistente con el estudio de Aly et al. (2020) que mostró resultados similares en un derivado lácteo tipo Labneh elaborado con leche descremada utilizando 2% y 4% de sésamo. Estos resultados concuerdan con las investigaciones de Grasso et al. (2022), quienes incorporaron concentrado proteico en diferentes proporciones en un queso alternativo a base de garbanzo.

En relación a la actividad de agua (A_w) las muestras con incorporación de proteína aislada presentaron menores valores de A_w , con un registro de 0,967 para T2 y T3, las cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí. Austin et al. (2024) obtuvieron resultados similares al incorporar proteína de guisantes hidrolizada en un queso crema. La reducción en la actividad de agua es relevante ya que indica una menor disponibilidad de agua libre en el queso, lo cual puede mejorar su estabilidad y vida útil al reducir el riesgo de crecimiento microbiano y deterioro (Baptista et al., 2020). La reducción en la actividad de agua en las muestras enriquecidas con proteína aislada de ajonjolí sugiere una interacción efectiva entre el aislado proteico y los componentes del queso fresco, resultando en una matriz alimentaria más estable y con mejor conservación.

Análisis de perfil de textura (TPA)

Los resultados del análisis de perfil de textura se muestran en la tabla 7. La dureza en la muestra T1 fue significativamente menor con respecto a las demás muestras ensayadas, resultados similares a los de Lu et al. (2010), quienes evidenciaron un incremento en los primeros días de elaboración del queso por la unión de la proteína aislada de ajonjolí en la matriz de queso; las propiedades del aislado proteico contribuye a una textura más firme y cohesiva a medida que se aumenta el porcentaje de adición. Para las muestra T2, T3 y T4 se

observó un incremento de la dureza a medida que aumenta el porcentaje de proteína asilada de ajonjolí, similarmente a lo reportado por Omrani Khiabani et al. (2020) al incorporar proteína aislada de guisante en queso feta sin suero. Además, la cohesividad fue significativamente menor en la muestra T1 en comparación con los quesos con proteína asilada de ajonjolí. Este hallazgo es similar a los resultados obtenidos por Lu et al. (2011), quienes demostraron que la incorporación de un 8% de proteína aislada de ajonjolí incrementa la cohesividad en queso fresco. A su vez, El-Sayed y Ibrahim (2021) también encontraron resultados similares al incorporar polvo de rábano en diferentes concentraciones en queso suave ultrafiltrado.

Para los análisis de elasticidad se encontró que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras T2, T3 y T1, pero si un menor valor en T4 para el atributo de elasticidad con un valor de 1,12. Lu et al. (2011) obtuvieron resultados similares, observando que la proteína asilada de ajonjolí reduce el efecto de la sal reduciendo la elasticidad del queso fresco. En el estudio de Rinaldoni et al. (2014) tampoco se obtuvieron diferencias significativas en la resiliencia en queso suave con concentrado proteico de soya.

Tabla 7. Resultados promedio de los análisis de TPA.

Muestra	Dureza(N)	Cohesividad	Elasticidad	Resiliencia	Masticabilidad (N)
T1	14,87 ±1,31 ^a	1,52 ±0,08 ^a	1,19 ±0,02 ^b	3,64 ±0,32 ^a	6,63 ±0,89 ^a
T2	19,16 ±1,33 ^b	1,68 ±0,13 ^b	1,18 ±0,02 ^b	3,89 ±0,51 ^a	7,79 ±1,62 ^b
T3	21,97 ±1,62 ^c	1,93 ±0,05 ^c	1,16 ±0,02 ^b	4,42 ±0,07 ^b	9,96 ±0,24 ^c
T4	25,13 ±2,47 ^c	2,30 ±0,16 ^d	1,12 ±0,01 ^a	4,73 ±0,34 ^c	12,95 ±1,78 ^d

T1 (0%PAA), T2 (2% PAA), T3 (4% PAA), T4 (8% PAA).

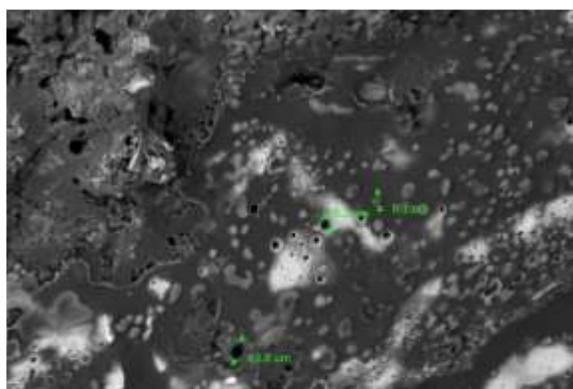
Letras diferentes en una misma columna evidencian diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) obtenidas con un post-hoc de Tukey

La masticabilidad fue significativamente menor en la muestra T1, mostrando que la incorporación de proteína aislada de ajonjolí incide en la masticabilidad del queso. Debido a que está relacionada con la dureza, cohesividad y elasticidad, también se observó un aumento a medida que se añade más proteína. Estos resultados son similares a los observados por Khiabani et al. (2022) quienes reportaron que los quesos tipo feta fortificados con un 6% proteína de soya aumentaban los valores de masticabilidad

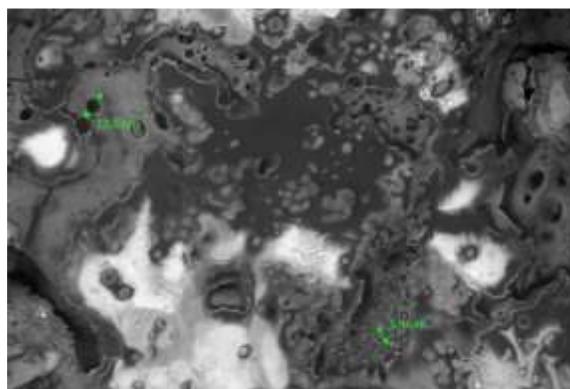
Análisis microestructural (SEM)

Las imágenes tomadas con microscopía electrónica de barrido (Figura 4) muestran una fuerte interacción entre las micelas de caseína y la proteína aislada de ajonjolí. En la muestra T1 se pueden apreciar los glóbulos de grasa señalados con una marca verde dispersos en la red continua de micelas de caseína (gris) que forman la estructura del queso. A partir de la muestra T2 a T4 se pueden apreciar una red más abierta donde se aloja la proteína aislada de ajonjolí junto con la grasa en los alrededores de la caseína, haciendo la matriz proteínica más porosa en comparación con la muestra T1. Omrani Khiabani et al. (2020) obtuvieron resultados similares al incrementar la concentración de proteína aislada de guisante en queso feta sin suero. Esta interacción entre la grasa, la proteína aislada de ajonjolí y la caseína formó una red con glóbulos de grasa más pequeños unidos con la proteína aislada de ajonjolí y la caseína en forma de racimo. Los estudios de Lu et al. (2011) y Lu et al. (2010) obtuvieron resultados similares en queso suave y fresco respectivamente, obteniendo también la interacción de micelas de caseína con proteína aislada de ajonjolí con apariencia de racimos, glóbulos de grasa más pequeños y con aspecto más suave. Aly et al. (2020) encontró que el

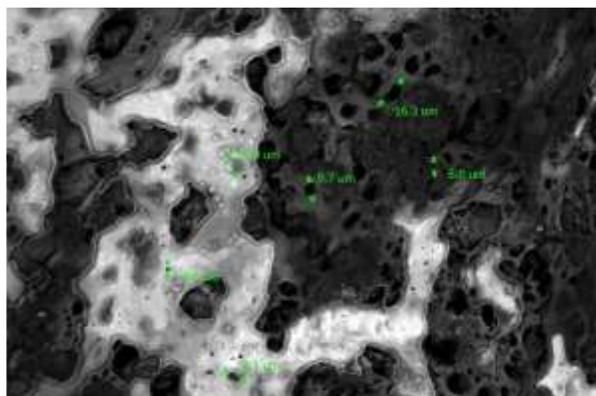
incremento de sésamo en polvo en labneh crea una microestructura relativamente más intensa, además, Grasso et al. (2022) también mostro resultados similares con respecto a los glóbulos de grasa en un queso alternativo a base de garbanzo.



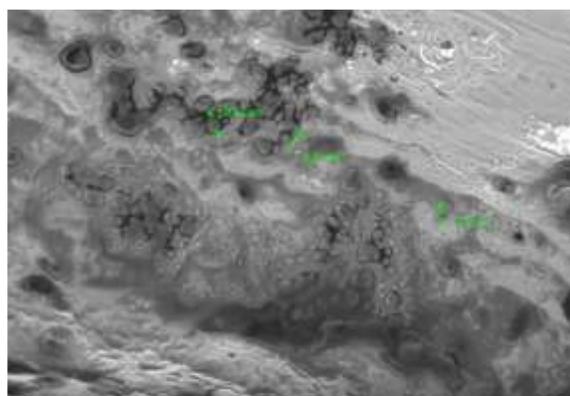
a. T1



b. T2



c. T3



d. T4

Figura 4. Fotografías de SEM tomadas a los quesos ensayados.

T1 (0%PAA), T2 (2% PAA), T3 (4% PAA), T4 (8% PAA).

Análisis sensorial

El análisis sensorial (Figura 5) es importante para determinar la aceptabilidad del producto al compararlo con productos similares ya conocidos. La muestra T1 obtuvo las mejores puntuaciones en todas las características sensoriales evaluadas, sin embargo, todas las puntuaciones fueron aceptables (por encima de 3) excepto el sabor y color de la muestra T4. De los tres quesos con proteína aislada de ajonjolí, el tratamiento T2 tuvo la mayor puntuación en todos los atributos evaluados, lo que sugiere que, a mayor proporción de proteína aislada de ajonjolí añadida al queso, se obtiene una menor aceptabilidad. Aly et al. (2020) obtuvieron resultados similares, comprobando también que había una menor aceptación en labneh al aumentar la cantidad de polvo de semilla de sésamo añadido.

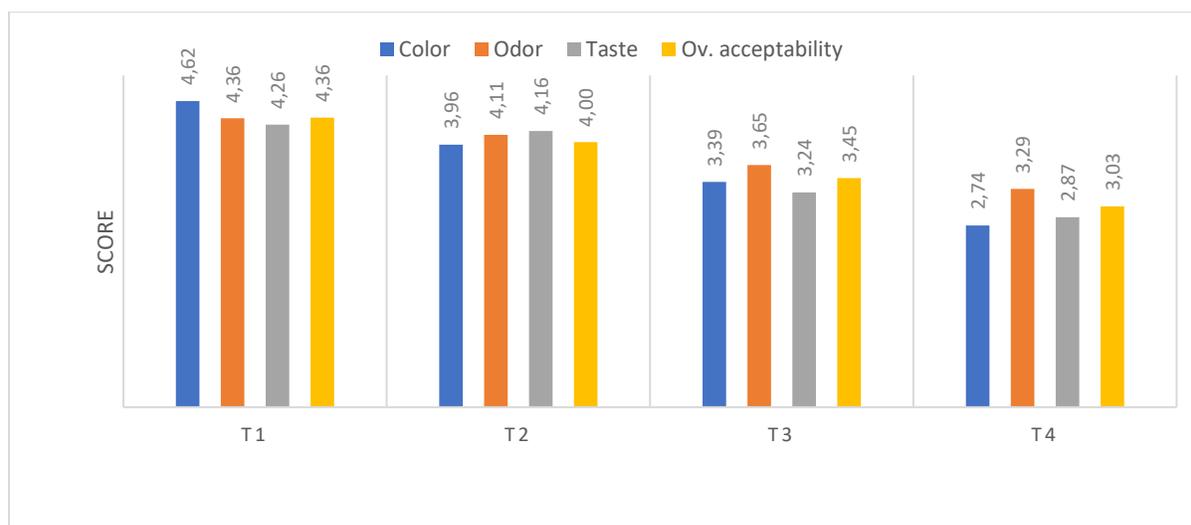


Fig. 5. Análisis sensorial de los quesos con proteína aislada de ajonjolí (PAA).

T1 (0%PAA), T2 (2% PAA), T3 (4% PAA), T4 (8% PAA).

En los estudios de El-Sayed (2020) y Bhat et al. (2021) se muestra de igual manera una disminución de los atributos sensoriales al aumentar los porcentajes, tanto de polvo de

espinaca en queso suave ultrafiltrado, como de polvo de rábano en queso Kradi respectivamente. En general, estos resultados indican que es posible utilizar porcentajes de PAA por debajo del 4% para mejorar algunos atributos como olor y sabor en el queso.

Conclusiones

La adición de proteína aislada de ajonjolí (PAA) en la elaboración del queso mejora su contenido nutricional e incide positivamente en sus propiedades fisicoquímicas, texturales y microestructurales; sin embargo, a mayores porcentajes de incorporación estas propiedades se ven afectadas. Los análisis demostraron que los quesos frescos enriquecidos con proteína aislada de ajonjolí presentaron un aumento significativo en el contenido de proteína, alcanzando hasta un 21,65%, lo que mejora considerablemente su valor nutricional. Asimismo, se observó un aumento en el contenido de humedad de los productos finales. Texturalmente, los quesos con PAA mostraron mayor dureza, masticabilidad y cohesividad, aunque con una ligera disminución en la elasticidad. Las micrografías revelaron una estructura en forma de racimo y glóbulos de grasa más pequeños en los quesos con PAA, contribuyendo a una textura y estabilidad mejoradas. Sensorialmente, el queso con un 2% de PAA obtuvo los mejores resultados, siendo similar al control en sabor y color, mientras que concentraciones mayores no fueron bien aceptadas. Estos resultados sugieren que la PAA es una alternativa viable para enriquecer productos lácteos, siempre y cuando se ajuste la concentración para mantener las características sensoriales deseadas.

Referencias Bibliográficas (APA 7ª edición)

- Acero, G. (2007). Manual de prácticas de bromatología. Centro de ciencias agropecuarias, Universidad autónoma de Aguascalientes
- Acevedo, D., Jaimes, J. D., & Espitia, C. R. Efecto de la Adición de Lactosuero al Queso Costeño Amasado. *Información Tecnológica*, 26(2), 11–16 (2015).
- Achouri, A., Nail, V., & Boye, J. I. (2012). Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. *Food research international*, 46(1), 360-369.
- Agronet. Evaluaciones agropecuarias municipales (2024). Área sembrada y área cosechada del cultivo de ajonjolí
- Aguilar Monserrate, R. S. (2023). Lupinus Mutabilis Sweet: una revisión de sus propiedades nutricionales y tecnofuncionales, y su aplicación en la elaboración de productos horneados.
- Aguilera, M. La economía de los Montes de María. (2014). *Economía & Región*. 8(1), 91–141. ISSN-e 2539-2093.
- Al-Anbari, I. H., Khairi, Sh. R., & Hassan, L. K. Study the Physicochemical, Microbiological and Sensory Characteristics of Soft Cheese Incorporated with Lupine (*Lupinus albus* L.) Powder in Different Proportion. (2021). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 761(1), 012124.
- Alobo, A. P. Effect of sesame seed flour on millet biscuit characteristics. (2001). *Plant Foods for Human Nutrition* 56(2), 195-202.
- Alu'datt, M. H., Rababah, T., Ereifej, K., Alli, I., Alrababah, M. A., Almajwal, A., ... Alhamad, M. N. Effects of barley flour and barley protein isolate on chemical, functional, nutritional and biological properties of Pita bread. (2012). *Food Hydrocolloids* 26(1), 135–143.
- Aly, A. A., Refaey, M. M., Hameed, A. M., Sayqal, A., Abdella, S. A., Mohamed, A. S., ... Ismail, H. A. (2020). Effect of Sesame Seeds powder with Different Ratio on Microstructural and Some Properties of Low Fat Labneh. *Arabian Journal of Chemistry*, 7572-7582.

Arce-Méndez, J. R., Thompson-Vicente, E., & Calderón-Villaplana, S. (2015). Incorporación de la proteína del suero lácteo en un queso fresco. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 61. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21878>

Arrutia, F., Binner, E., Williams, P., & Waldron, K. W. (2020). Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88-102.

Austin, L., Wickramaarachchi, P., Mannino, Carolina del Norte y Chen, D. (2024). Ablandamiento de queso crema sin grasa mediante la incorporación de agregados de hidrolizados de proteínas de guisante. *Hidrocoloides alimentarios*, 147, 109317.

Ballesta, I. Evaluación de la calidad del queso costeño elaborado con diferentes tipos de cuajo (animal y microbiano) y la adición o no de cultivos lácticos (*Lactococcus lactis* subps. *lactis* y *Lactococcus lactis* subps. *cremoris*). 2014.

Baptista, R. C., Horita, C. N., & Santana, A. S. (2020). Natural products with preservative properties for enhancing the microbiological safety and extending the shelf-life of seafood: A review. *Food research international*, 127, 108762.

Barber, T. M., Hanson, P., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F., & Weickert, M. O. (2021). The low-carbohydrate diet: Short-term metabolic efficacy versus longer-term limitations. *Nutrients*, 13(4), 1187.

Barreyro, A. A. (2018). Pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum*) un alimento proteico para cerdos y lechones recién destetados con base a sus características químicas ya la respuesta fisiológica del aparato digestiv

Brishti, F. H., Chay, S. Y., Muhammad, K., Ismail-Fitry, M. R., Zarei, M., Karthikeyan, S., & Saari, N. (2020). Effects of drying techniques on the physicochemical, functional, thermal, structural and rheological properties of mung bean (*Vigna radiata*) protein isolate powder. *Food Research International*, 138, 109783.

Caluña, A. D. L. Á. M., Rodríguez, F. P. E., Peralta, A. V. P., & Herrera, T. E. S. (2020). Desarrollo de yogur tipo III con zapallo y ajonjolí como aporte de fibra y antioxidantes. *Conciencia Digital*, 3(2.1), 97-107.

Chiriboga Espín, M. G. (2013). Evaluación de la efectividad nutricional de la pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como sustituto de la pasta de soya en el crecimiento de codornices (*Coturnix coturnix*) (Bachelor's thesis, Quito, 2013).

Córdova Quintana, C. J., & Díaz Hoyos, E. L. (2018). Desarrollo de un producto tipo queso vegetal elaborado a base de semillas de ajonjolí (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).

Cortez, D., & Sánchez, E. (2017). Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de chia (*salvia hispánica* L.) y ajonjolí (*sesamum indicum* L.). *Perú: Universidad de Santa*.

Crump, J. A., & Wain, J. Salmonella. (2017). *International Encyclopedia of Public Health*, 425–433.

Cuba Vilca, A. M., & Lovon Castilla, Y. (2018). Formulación de una pre mezcla panadera a base de harina de semillas: Chía (*Salvia hispánica* L.), Linaza (*Linum usitatissimum* L.) y Ajonjolí (*Sesamum indicum* L). Para la elaboración de un pan tipo molde con bajo contenido de carbohidratos.

Dai, H., Zhan, F., Chen, Y., Shen, Q., Geng, F., Zhang, Z., & Li, B. (2023). Improvement of the solubility and emulsification of rice protein isolate by the pH shift treatment. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(1), 355-366.

Day, L. Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security. (2013). *Trends in Food Science & Technology* 32(1), 25–42.

De Mera, E. (2017). Análisis Gastronómico de la Semilla Ajonjolí *Sesamum Indicum* en la ciudad de Guayaquil [Tesis de pregrado].

Diaz Granados García, R. (2011). Leche (horchata) de sésamo o ajonjolí en reemplazo de la leche de vaca. Clínica Internacional de Medicina Biológica. Fundación en Buenas Manos.

Drake, M. A., & Delahunty, C. M. Sensory character of cheese and its evaluation. En: *In Cheese*, pp. 517-545 (2017). Academic Press. ScienceDirect.

Duanis-Assaf, D., Kenan, E., Sionov, R., Steinberg, D., & Shemesh, M. (2020). Proteolytic activity of *Bacillus subtilis* upon κ -casein undermines its “caries-safe” effect. *Microorganisms*, 8(2), 221.

EL SAYED, M. M. Use of plant protein isolates in processed cheese. 1997. *Food / Nahrung* vol. 41(2), 91-95. ISSN 1521-3803.

El-Bakry, M., & Sheehan, J. (2014). Analysing cheese microstructure: A review of recent developments. *Journal of Food Engineering*, 125, 84-96.

EL-SAYED, Samah M. Use of spinach powder as functional ingredient in the manufacture of UF-Soft cheese. 2020. *Heliyon* vol. 6, no. 1, e03278. ISSN 2405-8440.

Esen, M. K., & Güzeler, N. (2023). The effects of the use of whey protein as a fat replacer on the composition, proteolysis, textural, meltability, microstructural, and sensory properties of reduced-fat Boru-type Künefe cheese during storage. *International Dairy Journal*, 137, 105519.

Fasuan, Temitope O.; Gbadamosi, Saka O. And Omobuwajo, Taiwo O. (2018) Characterization of protein isolate from *Sesamum indicum* seed: In vitro protein digestibility, amino acid profile, and some functional properties. 2018. *Food Science & Nutrition* vol. 6, no. 6, 1715-1723. ISSN 2048-7177.

Fathi, N., Almasi, H., & Pirouzifard, M. K. (2019). Sesame protein isolate based bionanocomposite films incorporated with TiO₂ nanoparticles: Study on morphological, physical and photocatalytic properties. *Polymer Testing*, 77, 105919.

Ferré Alcántara, C. D., Palomino Quispe, D., & Ramos Breña, A. 2018. Efecto de los abonos orgánicos en el incremento de la producción del cultivo de ajonjolí en el distrito de Chosica–Facultad de Agropecuaria y Nutrición– Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle-durante el año 2013.

Gandhi, A. P., & Srivastava, J. J. A. F. J. (2007). Studies on the production of protein isolates from defatted sesame seed (*Sesamum indicum*) flour and their nutritional profile. *ASEAN Food Journal*, 14(3), 175.

Gandhi, A. P., & Srivastava, J. Studies on the production of protein isolates from defatted sesame seed (*Sesamum indicum*) flour and their nutritional profile. (2007). *ASEAN Food Journal* 14(3), 175.

García, D. A. M. (2022). Caracterización fisicoquímica y estudio de las propiedades estructurales y tecnofuncionales del aislado proteico del subproducto de la extracción de aceite de semillas de calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber).

Grajales, M (2009). Estandarización del proceso de elaboración del queso doble crema tipo mozzarella. Escuela de tecnología química, Universidad tecnológica de pereira. Link: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/13e299bb-058e-4881-a592-c43c91814e1b/content>

Granados, P. :. R. A., & Torres, A. F. (2011). PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE QUESOS FRESCOS. Edu.Co. Retrieved June 24, 2024, from <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/0d0e781c-0631-4fff-919e-fa550fc3b994/content>

Grasso, N., Bot, F., Roos, Y. H., Crowley, S. V., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. The influence of protein concentration on key quality attributes of chickpea-based alternatives to cheese. (2022). *Current Research in Food Science*, 2004-2012.

GTC 293 de 2018. ANÁLISIS SENSORIAL, guía general para la realización de pruebas hedónicas con consumidores en un área controlada [Anónimo]. ICONTEC. Disponible en: <<https://tienda.icontec.org/gp-analisis-sensorial-metodologia-guia-general-para-la-realizacion-de-pruebas-hedonicas-con-consumidores-en-un-area-controlada-gtc293-2018.html>>. Consultado: 4 de junio de 2023.

Gutiérrez, C., Quintero, R., Burbano, I., Simancas, R. Modelo de quesería artesanal bajo un signo distintivo en el Caribe colombiano: caso Atlántico. (2017). *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN* Vol. N° 1, 72-83.

Hammad, H. H. M., Jin, G., Ma, M., Khalifa, I., Shukat, R., Elkhedir, A. E., ... Noman, A. E. Comparative characterization of proximate nutritional compositions, microbial quality and safety of camel meat in relation to mutton, beef, and chicken. (2019). *LWT*, 108714.

Heo TY, Kim YN, Park IB, Lee DU. 2020. Amplification of Vitamin D2 in the White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) by UV-B Irradiation and Jet-Milling for Its Potential Use as a Functional Ingredient. *Foods*. 9(11):1713. doi: 10.3390/foods9111713

Hernández-Monzón, A., García-Pedroso, D., Calle-Domínguez, J., & Duarte, C. (2014). Desarrollo de una galleta dulce con ajonjolí tostado y molido. *Tecnología Química*, 34(3), 240-250.

Iglesias, C. H. I. P., Batista, C. R. M. G., & Cedeño, Z. S. S. (2018). Efecto de la densidad de población en parámetros agronómicos del cultivo de ajonjolí (*sesamumindicum* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 33-39.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. 2018. Guía Técnica Colombiana GTC 293:2018. Análisis sensorial. Metodología. Guía general para la realización de pruebas hedónicas con consumidores en un área controlada. 49p.

Irfan, S., Murtaza, MA, Mueen ud Din, G., Hafiz, I., Murtaza, MS, Rafique, S., ... y Mohamed Ahmed, IA (2023). Atributos fisicoquímicos, microbianos y funcionales del queso Cheddar procesado fortificado con emulsión de aislado de proteína de suero y aceite de oliva. *Ciencia de los alimentos y nutrición*, 11 (3), 1247-1256.

Khattab, A. R., Guirguis, H. A., Tawfik, S. M., & Farag, M. A. Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. En: *Trends in Food Science & Technology* (2019); ScienceDirect.

Khiabani, N. O., Motamedzadegan, A., Raisi, S. N., & Alimi, M. (2022). Structure–rheology characterization of whey-less feta cheese containing milk protein concentrate/soy protein isolate. *Korea-Australia Rheology Journal*, 34(1), 35-49.

Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 261-272.

Kotecka-Majchrzak, K., Sumara, A., Fornal, E., & Montowska, M. Oilseed proteins – Properties and application as a food ingredient. (2020). *Trends in Food Science & Technology* 106, 160–170.

- Kumar, M., Potkule, J., Patil, S., Mageshwaran, V., Radha, Satankar, V., ... & Souza, C. D. (2022). Evaluation of detoxified cottonseed protein isolate for application as food supplement. *Toxin Reviews*, 41(2), 412-419.
- Kumar, S. S., Balasubramanian, S., Biswas, A. K., Chatli, M. K., Devatkal, S. K., & Sahoo, J. Efficacy of soy protein isolate as a fat replacer on physico-chemical and sensory characteristics of low-fat paneer. (2010). *Journal of Food Science and Technology* 48(4), 498–501.
- LEONG, W. M., GEIER, R., ENGSTROM, S., INGHAM, S., INGHAM, B., & SMUKOWSKI, M. Growth of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, and *Staphylococcus aureus* on Cheese during Extended Storage at 25°C. (2014). *Journal of Food Protection* 77(8), 1275–1288.
- López, Gabriela et al. Development of a liquid nutritional supplement using a *Sesamum indicum* L. protein isolate. (2003). *LWT - Food Science and Technology* vol. 36(1), 67-74. ISSN 0023-6438.
- Lu, X. M., Zuo, F. L., Zhao, J. Y., Guo, H. Y., Ren, F., & Chen, S. W. (2012). *Effect of varying levels of added calcium on the biochemistry, texture and micro-structure of fresh cheese containing sesame protein isolate*. En: *Journal of Food Biochemistry* [en línea]. vol. 36, no. 6 p. 706-717. ISSN 0145-8884.
- Lu, X., Schmitt, D., & Chen, S. Effect of sesame protein isolate in partial replacement of milk protein on the rheological, textural and microstructural characteristics of fresh cheese. (2010). *International Journal of Food Science & Technology* 45(7), 1368–1377.
- Lucey, J. A. (2011). *Cheese | Acid- and Acid/Heat Coagulated Cheese*. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 698–705. doi:10.1016/b978-0-12-374407-4.00083-2
- Lugo-García, G. A., Morón, M. Á., Aragón-Sánchez, M., Reyes-Olivas, Á., Sánchez-Soto, B. H., & Saucedo-Acosta, C. P. (2017). Especies de “gallina ciega” (Coleoptera: Melolonthidae) en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en Sinaloa, México. *Agrociencia*, 51(7), 799-81

Manoj Kumar, Maharishi Tomar, Jayashree Potkule, Reetu Verma, Sneha Punia, Archana Mahapatra, Tarun Belwal, Anil Dahuja, Shourabh Joshi, Mukesh K. Berwal, Varsha Satankar, Anilkumar G. Bhoite, Ryszard Amarowicz, Charanjit Kaur, John F. Kennedy. Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. (2021). *Food Hydrocolloids* Vol. 115, 106595. ISSN 0268-005X.

Masotti, F.; Cattaneo, S.; Stuknytė, M.; De Noni, I. (2016). An analytical approach to reveal the addition of heat-denatured whey proteins in lab-scale cheese making. *Food Control* Vol 63, 28-33. ISSN: 0956-7135.

Mazinani, S., Motamedzadegan, A., Nghizadeh Raeisi, S., & Alimi, M. (2021). Characterization of bacteriologically acidified feta cheese using soy protein isolate in different substitution percentages: rheological, microbiological and sensory properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5515-5527.

Mazorra-Manzano, M. Á., & Moreno-Hernández, J. M. Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. (2019). *CienciaUAT* 14(1), 133-144.

Mejía-López, A., Rodas, S., & Baño, D. (2017). La desnaturalización de las proteínas de la leche y su influencia en el rendimiento del queso fresco. *Enfoque UTE*, 8(2), 121–130. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n2.162>.

Mejía Rodríguez, L. A. (2023). *Análisis bromatológico proximal y determinación de minerales en ajonjolí (Sesamun indicum), cultivado en la estación experimental y de prácticas de la Universidad de El Salvador* (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).

Melgar Escate, J. M. (2023). Salchicha de jurel (*Trachurus murphyi*) fortalecida con aislado de soya.

Mendonça, A., Thomas-Popo, E., & Gordon, A. Microbiological considerations in food safety and quality systems implementation. En: *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries*, 185–260 (2020); ScienceDirect.

Minagricultura. Plan departamental de extensión agropecuaria 2020-2023. 2020. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Bolivar.pdf>. Consultado: 23 de febrero de 2021.

Moreno, H. M., Dominguez-Timon, F., Díaz, M. T., Pedrosa, M. M., Borderías, A. J., & Tovar, C. A. (2020). Evaluation of gels made with different commercial pea protein isolate: Rheological, structural and functional properties. *Food Hydrocolloids*, *99*, 105375.

Murphy, D. J. (2020). Lipid-associated proteins. In *Plant lipids* (pp. 226-269). Blackwell.

Nouska, C., Deligeorgaki, M., Kyrkou, C., Michaelidou, A. M., Moschakis, T., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2024). Structural and physicochemical properties of sesame cake protein isolates obtained by different extraction methods. *Food Hydrocolloids*, *151*, 109757.

NTC. NTC 750 (Cuarta actualización). (2009). Norma técnica colombiana.

Omraní Khiabani, N., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raisi, S., & Alimi, M. Chemical, textural, rheological, and sensorial properties of wheyless feta cheese as influenced by replacement of milk protein concentrate with pea protein isolate. (2020). *Journal of Texture Studies*, *51*(3), 488–500.

Ouyang, H., Kilcawley, K. N., Miao, S., Fenelon, M., Kelly, A., & Sheehan, J. J. Exploring the potential of polysaccharides or plant proteins as structuring agents to design cheeses with sensory properties focused toward consumers in East and Southeast Asia: a review. (2021). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–14.

Paximada, P., Howarth, M., & Dubey, B. N. (2020). Double emulsions fortified with plant and milk proteins as fat replacers in cheese. *Journal of Food Engineering*, 110229.

Peña, K. J. R. (2018). Elaboración y caracterización de queso costeño con reducción de cloruro de sodio. Edu.Co. Retrieved June 24, 2024, from <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/168d4a2e-b821-4bb3-9c10-c3124d643c3c/content>

Pérez Bolaños, Jhonys De Jesús y Salcedo-Mendoza, Jairo Guadalupe. (2018). Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (*Pedaliaceae*),

en el departamento de Sucre (Colombia). En: Ciencia y Tecnología Agropecuaria. vol. 19, no. 2. ISSN 2500-5308.

Portafolio. Consumo de queso sigue creciendo en Colombia. (2019). Disponible en: <https://www.portafolio.co/negocios/consumo-de-queso-sigue-creciendo-en-colombia-530645>. Consultado: 23 de febrero de 2021.

Quispe Cusi, M. N. (2016). Desarrollo de galletas dulces funcionales con harina de trigo, harina de plátano, semillas de ajonjolí y pulpa de guanábana.

Rashidinejad A., Bremer, P., Birch, J., & Oey, I. Nutrients in Cheese and Their Effect on Health and Disease. En: Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease. 177-192 (2017). Academic Press.

Ravindran, N., Kumar Singh, S., & Singha, P. (2024). A comprehensive review on the recent trends in extractions, pretreatments and modifications of plant-based proteins. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 190(114575), 114575.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114575>

Rinaldoni, A. N., Palatnik, D. R., Zaritzky, N., & Campderrós, M. E. Soft cheese-like product development enriched with soy protein concentrates. (2014). *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 139–147.

Rivera Hernández, M. T., Torres Matus, T. E., & Velásquez, L. C. (2007). Optimización del proceso de elaboración de "Barritas energéticas de Ajonjolí" a base de semilla de Ajonjolí descortezado de producción ecológico (*Sesamum indicum*) de la variedad ICTA R proporcionada por el complejo agroindustrial "Del Campo" ubicada en Quezalguaque, Municipio de León (Doctoral dissertation).

Roque, A. M. (2022). Efecto de una película electrohilada de proteína de amaranto con extracto de jamaica sobre la calidad y vida útil de productos cárnicos.

Ryser, E. T. Pathogens in Milk | *Listeria monocytogenes*. (2011). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 81–86.

SAINI, Charanjiv Singh; SHARMA, Harish Kumar y SHARMA, Loveleen. Thermal, structural and rheological characterization of protein isolate from sesame meal. 2017. *Journal of Food Measurement and Characterization* vol. 12(1), 426-432. ISSN 2193-4134.

Salinas-Valdés, A., De la Rosa Millán, J., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2015). Yield and textural characteristics of panela cheeses produced with dairy-vegetable protein (soybean or peanut) blends supplemented with transglutaminase. *Journal of food science*, 80(12), S2950-S2956.

Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., Bader-Mittermaier, S., & Osen, R. Food proteins from plants and fungi. (2020). *Current Opinion in Food Science*.

Sharma, L., Singh, C., & Sharma, H. K. (2016). Assessment of functionality of sesame meal and sesame protein isolate from Indian cultivar. En: *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(3), 520–526; ScienceDirect.

Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Food Chemistry*, 339, 127823.

Sibrían Gutiérrez, M. (2004). Elaboración de una mantequilla alimenticia a partir de la semilla descortezada de ajonjolí. Universidad de El Salvador

Sibt-e-Abbas, M., Butt, M. S., Khan, M. R., & Shahid, M. (2018). Addition of sesamum indicum protein isolates improves the nutritional quality and sensorial attributes of wheat flour muffins. *Prog. Nutr*, 20, 241-247.

Song, X., Perez-Cueto, F. J., & Bredie, W. L. (2018). Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults. *Nutrients*, 10(8), 1006.

Sutter, R., Assad-Bustillos, M., & Windhab, E. (2023). Zein improves desirable melt-

Tang, J., Yao, D., Xia, S., Cheong, L., & Tu, M. (2024). Recent progress in plant-based proteins: From extraction and modification methods to applications in the food industry. *Food Chemistry: X*, 23(101540), 101540.

<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101540>

Tejada, M. Estudio sobre grano de ajonjolí (*Sesame indicum* sp.) y su procesamiento en la actualidad. (2018). Escuela de ciencias básicas tecnología e ingeniería, UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD.

Tirado, D. F., Acevedo, D., & Montero, P. M. (2016). Estudio de la transferencia de NaCl durante el salado del queso costeño picado. *Entre ciencia e ingeniería*, 10(20), 52–56. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672016000200008

Tojan, S., Kaur, L., & Singh, J. (2024). Hybrid Paneer: Influence of mung bean protein isolate (*Vigna radiata* L.) on the texture, microstructure, and in vitro gastro-small intestinal digestion. *Food Chemistry*, 434, 137434.

Torres Juárez, M. C. Proceso para la obtención de un aislado proteico de ajonjolí mediante solubilización, ultrafiltrado y precipitación. (2020). Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2004026038A1/es>.

Torres Juárez, M. C. Proceso para la obtención de un aislado proteico de ajonjolí mediante solubilización, ultrafiltrado y precipitación. {En línea}. 2002. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/WO2004026038A1/es>.

Tukey, J. W. 1994. The problem of multiple comparisons. En: H. L. Braun (ed.). The collected works of John W. Tukey. Nueva York: Chapman and Hall. VIII, p 300

USDA-FAS. (2016). Global agricultural trade system. USDA-Foreign Agricultural Service. Accessed November 22, 2016. <http://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx>.

Vaca M., Franklin; Vásquez G., Juan; Vásquez G., Vicente D.; Vásquez G., Joel (2001). El cultivo de Ajonjolí. Escuela Agrícola Panamericana, 2014. Link: <https://bdigital.zamorano.edu/items/886e139c-f753-4caf-b282-58b2c00f404c>

Vargas Prieto, A. (2021). denominación de origen como estrategia de posicionamiento de marca del queso de capa del municipio de Mompox. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 17(32). <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v17i32.3443>

Viola Anaya, A., & Ortiz Doria, C. (2020). Efecto de bacterias lácticas autóctonas en las propiedades sensoriales y fisicoquímicas del queso costeño pasteurizado.

Wang, J.C.; Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of novel proteins: Alfalfa leaf protein. *Journal of Food Science*. 41: 286- 292.

Wang, T., Wang, N., Li, N., Ji, X., Zhang, H., Yu, D., & Wang, L. (2022). Effect of high-intensity ultrasound on the physicochemical properties, microstructure, and stability of soy protein isolate-pectin emulsion. *Ultrasonics sonochemistry*, 82, 105871.

Waqar, M. H., Hussain, M., Ikram, A., Ahmad, A., Zahid, M. B. B., Zahid, U., ... & Sheoran, S. (2021). ul Abedin Z, Biochemical, Nutritional and Technological aspects of Pita Bread, SPR, 2021, Volume 1, issue, 4, Page No.: 209–215. DOI: <https://doi.org/10.52152/3>.

Yust, M.M; Pedroche, J; Millán-Linares, M.C.; Alcaide-Hidalgo, J.M.; Millán, F. 2010.Improvement of functional properties of chickpea proteins by hydrolysis with immobilised Alcalase. *Food Chemistry*. 122: 1212–1217.
DOI:10.1016/j.foodchem.2010.03.121

Zhang, B., Kang, X., Cheng, Y., Cui, B., & Abd El-Aty, A. M. (2022). Impact of high moisture contents on the structure and functional properties of pea protein isolate during extrusion. *Food Hydrocolloids*, 127, 107508.

Zhang, D., Jiang, K., Luo, H., Zhao, X., Yu, P., & Gan, Y. (2024). Replacing animal proteins with plant proteins: Is this a way to improve quality and functional properties of hybrid cheeses and cheese analogs?. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(1), 1-36.

Zhang, J., Jia, Y., Wu, W., Zhang, Y., Chen, P., Li, X., ... & Li, K. (2023). Influence of hemin on structure and emulsifying properties of soybean protein isolate. *Food Chemistry*, 421, 136183.

Zheng, L., Regenstein, J. M., Zhou, L., & Wang, Z. (2022). Soy protein isolates: A review of their composition, aggregation, and gelation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1940-1957.

Anexos

