



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

---

---

Instituto de Ciencias Agropecuarias  
Maestría en Ciencias de los Alimentos

**Efecto de la adición de nanopartículas de óxido de  
hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium  
sativum* L.) sobre la vida de anaquel de un queso  
panela**

Tesis que para obtener el grado de  
**Maestro en Ciencias de los Alimentos**

Presenta:

Ingeniero Agroindustrial  
Carlos Velázquez Castañón

Director de tesis:

Dr. Rubén Jiménez Alvarado

Co-director de Tesis

Dr. Martín A. Meza Nieto

Comité revisor

Dr. Aldahir Alberto Hernández Hernández

Dr. Gabriel Aguirre Álvarez

Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo



Maestría en Ciencia  
de los Alimentos

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 14 de noviembre del 2023



COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos  
 Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Efecto de la adición de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) sobre la vida de anaquel de un queso panela", que desarrolla el estudiante Carlos Velázquez Castañón

Asistentes:

- Dr. Rubén Jiménez Alverado
- Dr. Martín A. Meza Nieto
- Dr. Gabriel Aguirre Álvarez
- Dr. Aldahir Alberto Hernández Hernández
- Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por el estudiante, comunicando a el estudiante, Carlos Velázquez Castañón, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE  
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 14 de noviembre de 2023

- Dr. Rubén Jiménez Alverado
- Dr. Martín A. Meza Nieto
- Dr. Gabriel Aguirre Álvarez
- Dr. Aldahir Alberto Hernández Hernández
- Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo



Handwritten signatures and initials in blue ink over horizontal lines.



Avda. Universidad Km. 1.5th, Ejido de las Ciencias Agropecuarias,  
 Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México, C.P. 42605.  
 Teléfono: +52 (771) 71 2200 ext. 3445.  
[www.icas.uah.edu.mx](http://www.icas.uah.edu.mx)

# DEDICATORIA

*A Dios por siempre cuidarme e iluminarme en mi camino, darme paciencia y serenidad en los momentos que sentía que no avanzaba en esta investigación, cuando no tenía los resultados deseados y tenía que volver a empezar, esos momentos de frustración que me hacían flaquear y dejar todo atrás. Gracias Dios por enseñarme a valorar mi trabajo, mi esfuerzo, mi aprendizaje y mis pequeños logros, que los días malos, las lágrimas y la desesperación han valido la pena para terminar esta etapa.*

*A mis queridos padres, Ramiro Velázquez García y María del Carmen Castañón Díaz, por su incondicional apoyo a lo largo de mis estudios de maestría. Su constante aliento, paciencia, comprensión y su respaldo me ha inspirado a superar los desafíos y a esforzarme día con día. Agradezco por sus sabias palabras y guía, siempre incitándome a perseguir mis metas con determinación, por su amor incondicional y su capacidad para infundirme confianza incluso en los momentos más desafiantes. LOS AMO.*

*A mis hermanas, Ruut Nancy, Yuritania y Yohatzin, que aún en la distancia siempre me han apoyado y me han alentado a salir adelante, mis hermanos Neri y Ramiro, que a pesar de nuestras diferencias siempre pienso en ustedes. Y sobre todo a mi hermano Eliezer que sé que desde el cielo estas orgulloso de mí y a todos mis sobrinos por quererme tal y como soy.*

*A la familia Martínez Orejel (Tony, Toquito, Naybí, Shantal y Celeste), aunque no compartimos lazos de sangre, la conexión que hemos construido durante estos 20 años es tan fuerte como un lazo familiar, gracias por recibirme con los brazos abiertos y brindarme un hogar lleno de amor y apoyo. Ma. Angelica gracias por aceptarme como un hijo más a su familia y por darme sus consejos y alentarme a seguir superándome. Itzel gracias por ser esa confidente, esa amiga, esa hermana que me quiere, me regaña y sobre todo siempre me da consejos para no dejarme caer, saben que los quiero y los amo.*

*A Cora, Lulu y Ere por cuidarme, quererme y sobre todo aceptarme en su familia, gracias por todos los consejos para salir adelante y decirme que le eche ganas todos los días. Soe, Karlyta y Lupita, por su amistad, por su cariño, por el apoyo incondicional y por hacerme pasar momentos tan agradables cuando estamos juntos, los quiero mucho.*

*A ti por cuidarme, amarme y quererme, por alentarme a seguir superándome. Este logro no habría sido posible sin tu apoyo constante. Gracias por ser mi fuente de inspiración y por creer en mí cuando a veces dudaba de mis propias habilidades. Este logro es tanto tuyo como mío, y te estaré eternamente agradecido, TE AMO.*

# AGRADECIMIENTOS

*Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONACHCYT), por la beca otorgada para poder realizar mis estudios, gracias por su compromiso con la educación y la investigación.*

*A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Instituto de Ciencias Agropecuarias, por abrirme las puertas y poder cursar mis estudios en la maestría en ciencias de los alimentos.*

*Al Dr. Rubén Jiménez Alvarado, por haber aceptado ser mi director, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento, por su guía, su compromiso y sobre todo su paciencia y por haber dejado una marca duradera en mi desarrollo académico y profesional.*

*Al Dr. Martín A. Meza Nieto, por ser mi co-director, por su apoyo, consejos, enseñanzas y disposición durante esta investigación. Su orientación y dedicación han enriquecido mis conocimientos y sobre todo por ser una fuente constante de inspiración.*

*Al Dr. Aldahir, al Dr. Gabriel y al Dr. Antonio por ser parte de mis asesores.*

*A Javier, Merari y Sol, por sus consejos, sus enseñanzas y sobre todo por las risas que me permitieron compartir a su lado, infinitas gracias por dejarme ser un amigo más.*

*A mis profesores, amigos y compañeros (César, Vero y Jenny), quienes en cierta manera me apoyaron con sus consejos durante estos dos años de estudio.*

*A Mirna, la amiga que siempre me ha apoyado durante estos casi 10 años de amistad, que nunca me ha dejado solo, no hay palabras y espacio que alcance para agradecerte y escribirte por todo tu apoyo incondicional. Tu amistad ha sido una luz en mi camino, en los momentos de duda, tus palabras han sido las correctas para echarle todas las ganas. Gracias por corregirme, enseñarme y alentarme a no dejarme vencer, a no decaer, a seguir luchando por mis sueños, tú has sido un motor importante, que sin ti no hubiera logrado finalizar esta investigación y sobre todo terminar esta tesis. Mil gracias querida amiga, TE QUIERO MUCHO.*

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	v
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tablas .....	x
Índice de Abreviaturas.....	xi
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
MARCO TEÓRICO.....	7
<b>1.1 Ajo (<i>Allium sativum</i> L.).....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Aspectos generales .....	7
<b>1.2 Nanotecnología .....</b>	<b>8</b>
1.2.1 Nanopartículas.....	9
1.2.2 Nanotecnología en la industria alimentaria .....	10
<b>1.3 Leche .....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Composición de la leche .....	11
1.3.2 Producción y consumo de leche en México .....	12
<b>1.4 Productos Lácteos .....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Queso.....	13
1.4.1.1 Quesos madurados .....	14
1.4.1.2 Quesos procesados .....	14
1.4.1.3 Quesos frescos.....	14
1.4.2 Queso Panela .....	15
1.4.2.1 Proceso de elaboración.....	15
<b>1.5 Microbiológicos .....</b>	<b>17</b>

1.5.1 Microorganismos en los alimentos.....	18
1.5.1.1 <i>Salmonella Typhi</i> .....	19
1.5.1.2 <i>Escherichia coli</i> .....	19
1.5.1.3 <i>Staphylococcus aureus</i> .....	20
1.5.2 Concentración mínima inhibitoria (CMI) .....	21
1.5.3 Concentración mínima bactericida (CMB) .....	21
<b>1.6 Actividad antioxidante .....</b>	<b>21</b>
1.6.1 Radicales libres .....	22
1.6.2 Fuentes antioxidantes .....	22
1.6.3 Métodos para evaluar la actividad antioxidante.....	23
1.6.3.1 Método ABTS ( <i>azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-acido sulfónico</i> ) .....	24
1.6.3.2 Método para DPPH ( <i>Difenil Picril Hidrazilo</i> ) .....	24
<b>1.7 Uso de conservadores.....</b>	<b>25</b>
<b>1.8 Vida de anaquel.....</b>	<b>25</b>
<b>1.9 Propiedades reológicas y mecánicas.....</b>	<b>26</b>
1.9.1 Propiedades reológicas: Análisis de perfil de textura (TPA) .....	26
1.9.2 Propiedades mecánicas: Análisis sensorial .....	27
<b>1.10 Análisis de color .....</b>	<b>27</b>
<b>1.11 Análisis químico proximal.....</b>	<b>28</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>29</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 Objetivo general .....	31
4.2 Objetivos específicos .....	31
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
5.1 Ubicación .....	32
5.2 Síntesis de nanopartículas .....	32

5.2.1 Funcionalización con tetraetilortosilicato (TEOS).....	32
5.2.2 Extracto hidroalcohólico de ajo ( <i>Allium sativum</i> L.) .....	33
5.2.3 Funcionalización con extracto de ajo .....	33
5.2.4 Elaboración de la suspensión para la adición en los quesos .....	33
<b>5.4 Elaboración del queso panela y adición de nanopartículas .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5 Análisis.....</b>	<b>34</b>
5.5.1. Características de la leche por el equipo Lactoscan .....	34
5.5.2 Análisis químico proximal del queso panela.....	35
5.5.2.1 <i>Determinación del porcentaje de proteína</i> .....	35
5.5.2.2 <i>Determinación del porcentaje de grasa</i> .....	36
5.5.2.3 <i>Determinación del porcentaje de humedad</i> .....	36
5.5.2.4 <i>Determinación del porcentaje de ceniza</i> .....	37
5.5.3 Determinación de pH .....	37
5.5.4 Determinación de acidez .....	38
5.5.5 Determinación de actividad de agua (Aw).....	38
5.5.6 Análisis de perfil de textura (TPA) .....	38
5.5.7 Análisis de color.....	39
5.5.8 Análisis microbiológico .....	39
5.5.8.1 <i>Concentración mínima inhibitoria (CMI) y concentración mínima bactericida (CMB)</i> .....	39
<b>5.5.9 Determinación de actividad antioxidante .....</b>	<b>40</b>
5.5.9.1 Actividad antioxidante por el método ABTS .....	40
5.5.9.2 Actividad antioxidante por el método DPPH.....	41
5.5.10 Análisis sensorial.....	42
5.5.11 Análisis de vida de anaquel.....	42

5.5.12 Análisis estadístico.....	43
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1 Determinación de componentes de la leche por el equipo lactoscan.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2 Elaboración del queso panela.....</b>	<b>45</b>
<b>6.3 Caracterización del queso.....</b>	<b>45</b>
6.3.1 Análisis químico proximal.....	45
6.3.1.1 <i>Proteína</i> .....	45
6.3.1.2 <i>Grasa</i> .....	46
6.3.1.3 <i>Humedad</i> .....	47
6.3.1.4 <i>Ceniza</i> .....	47
6.3.2 pH.....	48
6.3.3 Acidez.....	49
6.3.4 Actividad de agua (Aw).....	50
<b>6.4 Análisis de perfil de textura.....</b>	<b>51</b>
<b>6.5 Análisis de color.....</b>	<b>54</b>
<b>6.6 Análisis microbiológico.....</b>	<b>57</b>
<b>6.7 Capacidad antioxidante.....</b>	<b>61</b>
<b>6.7.1 Capacidad antioxidante del extracto de ajo por los métodos ABTS y DPPH..</b>	<b>61</b>
<b>6.7.2 Capacidad antioxidante de las IONPs-EA por los métodos ABTS Y DPPH ...</b>	<b>62</b>
<b>6.7.3 Capacidad antioxidante de los quesos adicionados con IONPs-EA por los métodos ABTS Y DPPH.....</b>	<b>63</b>
<b>6.7 Análisis sensorial.....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>



# Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> El ajo ( <i>Allium sativum L.</i> ) .....	7
<b>Figura 2</b> Reacción para la formación de alicina .....	8
<b>Figura 3</b> Nanopartícula de óxido de hierro .....	10
<b>Figura 4</b> Queso fresco panela .....	15
<b>Figura 5</b> Diagrama de flujo para elaboración de queso panela. ....	16
<b>Figura 6</b> <i>Salmonella Typhi</i> .....	19
<b>Figura 7</b> <i>Escherichia coli</i> .....	20
<b>Figura 8</b> <i>Staphylococcus aureus</i> .....	20
<b>Figura 9</b> Estructura química del ABTS .....	24
<b>Figura 10</b> Estructura química del radical DPPH .....	25
<b>Figura 11</b> Concentración Mínima Inhibitoria (círculo rojo) y Concentración Mínima Bactericida (círculo amarillo) del extracto hidroalcohólico de ajo. a) <i>Staphylococcus aureus</i> , b) <i>Salmonella typhi</i> y c) <i>Escherichia coli</i> .....	57
<b>Figura 12</b> Concentración Mínima Inhibitoria y Concentración Mínima Bactericida de las IONPs-EA. Primer experimento: a1) <i>Staphylococcus aureus</i> . b1) <i>Salmonella Typhi</i> y c1) <i>Escherichia coli</i> . Segundo experimento: a2) <i>Staphylococcus aureus</i> . b2) <i>Salmonella Typhi</i> y c2) <i>Escherichia coli</i> .....	60

# Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Volumen de producción de leche a nivel nacional por entidad en 2020 .....	12
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de quesos respecto a distintos autores .....	13
<b>Tabla 3.</b> Relación sensorial entre el consumidor y la diferencia de color ( $\Delta E$ ) .....	28
<b>Tabla 4.</b> Componentes de la leche obtenidas por el equipo lactoscan.....	44
<b>Tabla 5.</b> Composición proximal de queso panela adicionado con IONPs-EA (%).....	45
<b>Tabla 6.</b> pH de los quesos adicionados con IONPs-EA .....	48
<b>Tabla 7.</b> Valores de acidez expresados en °Dornic (°D).....	49
<b>Tabla 8.</b> Actividad de agua de quesos adicionados con IONPs-EA (%).....	51
<b>Tabla 9.</b> Análisis de Perfil de Textura (TPA) de queso panela .....	53
<b>Tabla 10</b> Resultados de los parámetros del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA.....	55
<b>Tabla 11.</b> Concentración Mínima Inhibitoria y Concentración Mínima Bactericida del extracto hidroalcohólico del extracto hidroalcohólico de ajo y de las nanopartículas funcionalizadas (IONPs-EA) ( $\mu\text{g/mL}$ ) .....	58
<b>Tabla 12.</b> Resultados de la capacidad antioxidante del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA.....	63
<b>Tabla 13.</b> Resultados obtenidos del análisis sensorial del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA.....	65

# Índice de Abreviaturas

<b>ABREVIATURA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
AOAC	Asociación Científica Dedicada a la Excelencia Analítica
µg	Microgramo
µL	Microlitro
CMB	Concentración mínima bactericida
CFU	Concentración mínima inhibitoria
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
g	Gramos
IONPs-EA	Nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo
mL	Mililitro
mM	Milimolar
nm	Nanómetros
OMS	Organización Mundial de la Salud
ppm	Partes por millón
s	segundos
TEOS	Tetraetilortosilicato
TPA	Análisis de Perfil de Textura
ΔE	Delta E (Diferencia de color)

# RESUMEN

El queso panela es un queso fresco y suave, con alto contenido de humedad, por lo tanto, altamente perecedero, se obtiene de la coagulación de la leche mediante la adición de cuajo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las características de un queso panela, para observar el efecto de la adición de diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (IONPs- EA), donde se midieron los parámetros de pH, Aw, color, análisis químico proximal, análisis de perfil de textura (TPA), capacidad antioxidante, análisis microbiológicos y sensorial, durante 15 días de almacenamiento. Se elaboraron cuatro quesos, tres con la adición de IONPs- EA y un control. Los resultados obtenidos demostraron que el pH aumentó de 5.83 a 6.09 al aumentar la concentración de IONPs-EA manteniéndose estable al paso de los 15 días, mientras que la acidez no se vio afectada con la adición de nanopartículas y con el paso del tiempo, por tal motivo, en sus propiedades texturales la dureza fue más alta a mayor cantidad de IONPs-EA con una fuerza de compresión de 1.63 a 3.97 N al primer día el cual aumentó con el almacenamiento del queso con 1.77 a 4.04 N de fuerza, pero disminuyendo su adhesividad y elasticidad, mientras que su cohesividad se mantuvo estable, esto se debe a que la Aw de agua de los quesos no se vio afectada con valores de 0.977 a 0.964 % entre los tratamientos y los 5 días de almacenamiento. En el análisis de color se observó una disminución en la luminosidad (L) del día 1 al día 15 registrando valores de 91.37 hasta 78.64, por otro lado, a y b aumentaron con el paso de los días, por lo tanto, la diferencia de color ( $\Delta E$ ) mostró cambios significativos entre los tratamientos, al aumentar la concentración de nanopartículas los quesos tuvieron más color con respecto al control con un aumento de 2.13 a 8.84. Los valores de proteína, grasa y humedad no se vieron afectados con la adición de nanopartículas, mientras que en ceniza los valores fueron aumentando de 1.42 a 1.62 % al aumentar la concentración de IONPs-EA. En la parte microbiológica se utilizaron 3.12  $\mu\text{g/mL}$  para la CMI y CMB para *Staphylococcus aureus*, para *Salmonella typhi* y *Escherichia coli* se necesitaron para inhibir estas bacterias una concentración de 25  $\mu\text{g/mL}$  y para la concentración bactericida se necesitó el doble de extracto (50  $\mu\text{g/mL}$ ). Con respecto a la capacidad antioxidante los quesos con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm de IONPs-EA presentaron una actividad promedio de 15.71, 16.10 y 16.86 % de inhibición respectivamente, con respecto al control que tuvo 12.52 % en el método

ABTS, mientras que por el método DPPH el queso control tuvo un porcentaje de inhibición del 43.01 %, mostrando diferencias con los quesos adicionados con NPs con una concentración de 1.1 ppm presentó un 43.25 %, con 2.2 ppm tuvo 52.30 % y 60.29 % con 4.4 ppm de concentración. Por otro lado, en la parte sensorial los tratamientos no mostraron cambios significativos, es decir que los panelistas no lograron identificar diferencias. Se puede concluir que los quesos adicionados con nanopartículas sí tuvieron cambios en sus estructuras, por lo tanto, es necesario realizar más análisis para poder entender el mecanismo de interacción entre las nanopartículas y los constituyentes de la leche que dan como resultado una modificación en el queso panela.

**Palabras clave:** Extracto de ajo, nanopartículas, IONPs-EA, óxido de hierro, queso.

# ABSTRACT

Panela cheese is a fresh and soft cheese with high moisture content, making it highly perishable. It is obtained by coagulating milk through the addition of rennet. The aim of this study was to evaluate the characteristics of panela cheese to observe the effect of adding different concentrations of iron oxide nanoparticles functionalized with garlic extract (IONPs-EA). Various parameters, including pH,  $A_w$ , color, proximate chemical analysis, texture profile analysis (TPA), microbiological analysis, and sensory analysis, were measured over a 15-day storage period. Four cheeses were prepared, three with the addition of IONPs-EA, and one control. The results demonstrated that the pH increased from 5.83 to 6.09 with the increasing concentration of IONPs-EA and remained stable over the 15 days. Acidity was not affected by the addition of nanoparticles or over time. In terms of texture properties, hardness increased with a higher concentration of IONPs-EA, with a compression force of 1.63 to 3.97 N on the first day, which increased during cheese storage from 1.77 to 4.04 N. However, adhesiveness and elasticity decreased, while cohesiveness remained stable. This was due to the water activity ( $A_w$ ) of the cheeses, which was not affected by the treatments, with values ranging from 0.977 to 0.964% over the 5-day storage period. Regarding color analysis, luminosity (L) decreased from day 1 to day 15, with values ranging from 91.37 to 78.64. On the other hand,  $a^*$  and  $b^*$  values increased over the days, resulting in significant changes in color difference ( $\Delta E$ ) between treatments. With higher nanoparticle concentrations, the cheeses displayed more color compared to the control, with an increase from 2.13 to 8.84. Protein, fat, and moisture content were not affected by the addition of nanoparticles. However, ash content increased from 1.42 to 1.62% with higher concentrations of IONPs-EA. In the microbiological analysis, the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) for *Staphylococcus aureus* were found to be 3.12  $\mu\text{g/mL}$ , while *Salmonella typhi* and *Escherichia coli* required a concentration of 25  $\mu\text{g/mL}$  to inhibit these bacteria. For bactericidal concentration, double the extract (50  $\mu\text{g/mL}$ ) was needed. Regarding the antioxidant capacity, the cheeses with 1.1, 2.2 and 4.4 ppm of IONPs-EA presented an average activity of 15.71, 16.10 and 16.86 % of inhibition respectively, with respect to the control that had 12.52 % in the ABTS method, while by the DPPH method the control cheese had a percentage of inhibition of 43.01 %,

showing differences with the cheeses added with NPs with a concentration of 1.1 ppm presented 43.25 %, with 2.2 ppm it had 52.30% and 60.29% with 4.4 ppm concentration. In the sensory analysis, treatments did not show significant changes, meaning that panelists were unable to identify differences. In conclusion, cheeses with added nanoparticles did undergo structural changes, indicating the need for further analysis to understand the interaction mechanism between nanoparticles and milk constituents, resulting in modifications to panela cheese.

**Keywords:** Garlic extract, nanoparticles, IONPs-EA, iron oxide, cheese.

# INTRODUCCIÓN

El queso es considerado como uno de los alimentos más importantes en la dieta de la población, sin embargo, su consumo debe ser moderado debido a su contenido de grasa y sodio (Ibarra *et al.*, 2017). Este ha tenido muchas definiciones ya que depende de la forma en que se procese, el CODEX alimentarius la FAO y la OMS (2018), lo definen como el producto obtenido de la coagulación parcial o total de la leche ya sea duro, semiduro, blando, madurado o no madurado. Cabe resaltar que el queso al poseer una elevada concentración de nutrientes y ser de origen animal es considerado de alta calidad y alto valor biológico, posee calcio, así como minerales y vitaminas. Por lo tanto, su contenido de hidratos de carbono es bajo o inclusive nulo (Aguilar, 2018).

La utilización de aditivos artificiales en la industria agroalimentaria es de uso común para la conservación de los alimentos (Baduí, 2019), pero en la actualidad se producen alimentos pensando en la parte económica y no en los beneficios de la salud, ni tampoco en la conservación de las propiedades originales del alimento (Leal y Loeza, 2018). Algunos autores como López y Rojas, (2021) han utilizado ingredientes de origen natural para incrementar la vida útil de un alimento cárnico, de igual manera Alvino y Brioso, (2018) evaluaron el efecto del aceite de cuña (menta) para alargar la vida de anaquel de un queso fresco. El ajo (*Allium sativum* L.) es una planta que ha sido muy estudiada y se ha encontrado que sus compuestos organosulfurados tienen efectos anticancerígenos, antiinflamatorios y una elevada actividad antimicrobiana (Hernández, 2021).

El extracto de ajo (*Allium sativum* L.) al tener propiedades antimicrobianas gracias a la liberación de la alicina al someterlo a un esfuerzo mecánico (cortes o triturado) permite inhibir el crecimiento de algunos microorganismos. Pero este puede ser utilizado mediante la funcionalización de nanopartículas metálicas para poder ser agregadas a una matriz alimentaria y de esta manera alargar la vida de anaquel, mejorar sus propiedades, agregar un valor nutritivo, mejorar texturas o eliminar olores (Gómez, 2019).

Las nanopartículas metálicas han sido utilizadas en diferentes áreas de investigación, por ejemplo, para el tratamiento de aguas contaminadas (Chavarría y Payajo, 2021), para la fabricación de nanomateriales (García, 2020) y en las últimas décadas se han implementado



en el área de los alimentos. Las nanopartículas son nanomateriales que ya son conocidos y sobre todo estudiados. Por su alta eficiencia y al ser muy pequeñas (1 a 100 nm) sirven como acarreadores y de esta manera, lograr una mayor distribución de algún principio activo sobre una matriz alimentaria (Gómez, 2018). También han sido adicionadas a distintas matrices alimentarias, ya sea para dar sabor, textura, adicionar nutrientes y el más importante, son buenos agentes antimicrobianos, ya sea solas o funcionalizadas (Gómez, 2018).

En los últimos años, ha habido un notable avance en la síntesis de nanopartículas de óxido de hierro, debido a sus múltiples aplicaciones tecnológicas una de ellas es como acarreador de compuestos bioactivos a un sitio de acción o simplemente como una fuente de hierro para las personas deficientes de este metal (Durán *et al.*, 2017).

Escobaro *et al.*, (2019), mencionan que las nanopartículas de óxido de hierro son altamente oxidables al estar expuestas al medio ambiente y en medios ácidos, por tal motivo, recomiendan que estas sean recubiertas (funcionalizadas) con materiales no magnéticos como compuestos orgánicos, polímeros y metales. Por lo tanto, esta investigación pretende aplicar nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) (IONPs-EA) en un queso panela, como una alternativa de uso de aditivos conservadores, con la finalidad de aumentar la vida de anaquel de la matriz alimentaria, sin ocasionar cambios sobre las características texturales y sensoriales.

# MARCO TEÓRICO

## 1.1 Ajo (*Allium sativum* L.)

### 1.1.1 Aspectos generales

*Allium sativum* L., comúnmente conocido como ajo (Figura 1), es una planta monocotiledónea, es una especie herbácea perenne, perteneciente a la familia de las Liliáceas, la cual abarca más de 3500 especies, cuyo tallo puede llegar a medir hasta 30 cm, también está compuesta por un bulbo de hasta 12 dientes o más, estos están reunidos en su base por medio de una película delgada, su parte superior se ancla a la tierra a una profundidad de 60 a 70 cm, debido a que tiene unas partes fibrosas las cuales permiten que la planta se adhiera y de ahí obtenga los nutrientes necesarios para su crecimiento (Shang *et al.*, 2019).

Las propiedades sensoriales del ajo (*Allium sativum* L.) se deben a sus compuestos como los fructanos, flavonoides y organosulfurados ya que estos se encargan de la adsorción del azufre hacia la planta, por lo tanto, son ricos en aceites esenciales muy volátiles (Herrera, 2021).



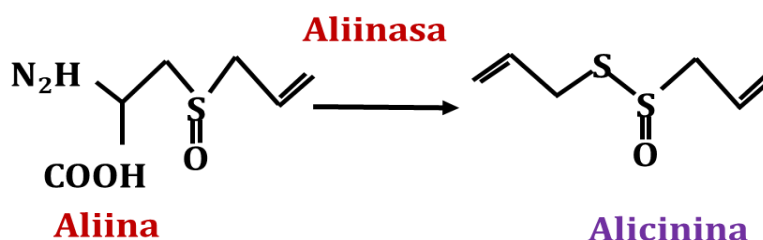
**Figura 1.** El ajo (*Allium sativum* L.). Fuente: (Shang *et al.*, 2019)

Además de los compuestos organosulfurados que contiene el ajo, también tiene aminoácidos (ácido glutámico, arginina, ácido aspártico, leucina, lisina y valina), minerales (manganeso, potasio, calcio y fosforo), vitaminas (B6, C, ácido fólico, pantoténico y niacina) y azúcares (fructosa y glucosa) de acuerdo a lo mencionado por Moya, (2020).

Foroutan *et al.*, (2017), mencionan que el bulbo de ajo es usado como condimento y medicina. Desde la antigüedad ha sido estudiado por sus propiedades antihipertensivas, diuréticas, antioxidantes y anticancerígenas; también se ha aplicado como un agente antimicrobiano y antifúngico el cual actúa sobre ciertas enzimas responsables de infecciones como hongos, bacterias y virus.

Algunas sustancias activas de los vegetales tienen efectos inhibitorios sobre agentes patógenos, algunos de los principales componentes del ajo son la aliina, el ajoeno, los tiosulfatos, el alil mercaptano, el sulfuro de dialilo, y la S-alil-cisteína, siendo la alicina la sustancia más destacada con mayor actividad biológica, esta es liberada al realizar un esfuerzo mecánico como cortar o triturar el ajo (Garzón, 2018).

La alicina o dialiltiosulfuro se produce al haber una interacción de la aliina y la aliinasa en el ajo crudo como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, la aliina es un compuesto organosulfurado que sirve de sustrato para la enzima aliinasa que al liberarse de su compartimiento intracelular ya sea por daño o lisis celular lo transforma en alicina, una sustancia inestable, incolora y ópticamente activa la cual confiere el olor característico al ajo (Herrera, 2021).



**Figura 2.** Reacción para la formación de alicina. Fuente: (Díaz y Jiménez, 2016)

## 1.2 Nanotecnología

Conforme pasa el tiempo la nanotecnología va tomando relevancia siendo uno de los campos más estudiados, ya que permite que sea aplicada en distintas áreas como la química, biología, medicina, electrónica y en el área agroalimentaria (Saldívar, 2020). El prefijo

“Nano” proviene del griego que significa diminuto, enano o pequeño, este término es utilizado en el sistema internacional para indicar la millonésima parte de un mililitro, para que una nanopartícula pueda ser llamada así, esta debe tener un tamaño menor a 100 nm pero mayor a 1 nm (NMX-12901, 2015), estas pueden ser preparadas por dos técnicas principales; construcción (Bottom-up) mediante la síntesis química o autoensamblaje de compuestos más pequeños y el de destrucción (top-down) que consiste en fraccionar el material a granel hasta obtener partículas muy pequeñas (Caro *et al.*, 2019)

Existe una gran variedad de materiales que son elaborados a escalas muy pequeñas, como las nanogotas (para una mayor dispersión en suspensiones), nanodispositivos (utilizados para equipos electrónicos), nanorobots (pueden ser utilizados en el área médica o igual en dispositivos electrónicos) y las más conocidas las nanopartículas las cuales tienen una importante función en distintas áreas de investigación como la electrónica, la medicina (para aplicación de medicamentos), cosméticos, transporte de fluidos, control de contaminantes y en los alimentos (Borja y Rojas, 2020).

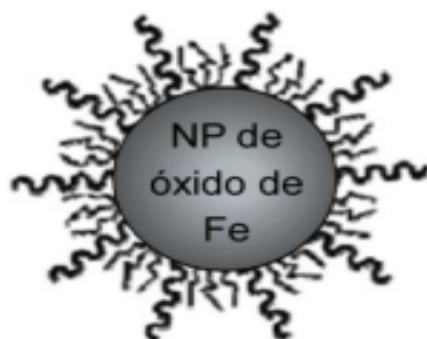
El uso de nanomateriales en la actualidad son de suma importancia ya que son considerados como buenos acarreadores, son de alta eficiencia en su aplicación, pueden ser adicionados a diferentes matrices alimentarias y no alimentarias ya que poseen propiedades únicas y características distintas debido a su tamaño en escala nanométrica (Ávalos *et al.*, 2016).

### **1.2.1 Nanopartículas**

Las nanopartículas que contienen metales son consideradas como buenos agentes antimicrobianos, estos son capaces de afectar el metabolismo bacteriano, al ser la nanopartícula de un tamaño muy pequeño estas tienen la facilidad de atravesar la membrana bacteriana, causando daño e inactivación de las bacterias (Najahi *et al.*, 2020).

Las nanopartículas de óxido de hierro (Figura 3) han sido utilizadas en aplicaciones biomédicas y biotecnológicas, estas nanopartículas se han utilizado como transportadores de fármacos para atacar células cancerígenas debido a su biocompatibilidad (Gabrielyan *et al.*, 2018). Su tamaño es controlado, por lo tanto, son comparadas con los tamaños de las células

procariotas (10-100 nm), virus (20-450 nm), proteínas (5-50 nm) y con el ADN (2 nm de ancho y de 10 a 100 nm de largo) (Del Rio, 2014).



**Figura 3.** Nanopartícula de óxido de hierro. Fuente: (Gabrielyan *et al.*, 2018)

La estructura de las nanopartículas de óxido de hierro tiene una función importante ya que muestra una actividad antimicrobiana en su forma de nanopartícula, pero no en su forma a granel. Tienen una gran fuerza paramagnética y una alta susceptibilidad magnética (Gabrielyan *et al.*, 2018).

El mecanismo responsable de las nanopartículas como agente antimicrobiano no se ha comprendido completamente, ya que su actividad va a depender de una partícula a otra. Para que la nanopartícula funcione correctamente depende de distintos factores como su estructura, forma, tamaño, síntesis de la nanopartícula, también del tipo de estabilizador que se utilice, ya que pueden causar distintos efectos (Sifontes, 2014).

### **1.2.2 Nanotecnología en la industria alimentaria**

La aplicación de nanopartículas en la industria alimentaria ha contribuido a un mejor control y calidad de los alimentos desde el procesamiento hasta el envasado, destacando su seguridad (Arias *et al.*, 2019). Durante el procesamiento de alimentos se han aplicado nanopartículas para mejorar la calidad nutricional, el sabor, color, estabilidad y para aumentar en algunos casos la vida de anaquel inhibiendo el crecimiento de microorganismos (Cruz *et*

*al.*, 2017). En la actualidad la nanotecnología ha participado en el desarrollo de alimentos más saludables con menos grasa, azúcar, sales y de esta manera disminuir enfermedades relacionadas con los alimentos (López, 2021).

### **1.3 Leche**

La leche es el líquido segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos (búfalas, ovejas, cabras, burras, bovinas por mencionar algunas), cuya finalidad es alimentar a las crías, debido a su alto nivel nutricional, ya que sus componentes se encuentran en la forma y cantidad adecuadas y necesarias (Rodiles *et al.*, 2022).

Vallejo *et al.*, (2018), consideran a la leche como un alimento, preciado y completo ya que consta con la mayoría de los elementos necesarios para el funcionamiento, desarrollo y formación del organismo por su alto contenido de grasa, proteínas y carbohidratos. También la mayoría de los subproductos de la leche puede contener estos componentes.

#### **1.3.1 Composición de la leche**

Después del parto, la vaca comienza con secreciones mamarias, a lo que se conoce como calostro con una duración de dos a tres días, el cual solo sirve para proteger y fortalecer el sistema de la cría, es de un olor fuerte y sabor amargo, con una gran cantidad de inmunoglobulinas y con una composición promedio de 79 % agua, 10 % proteína, 7 % grasa, 3 % lactosa y 1 % de ceniza (Rodiles *et al.*, 2022). Pasado este periodo la leche se sintetiza fundamentalmente en la glándula mamaria, la cual ya es utilizada por los humanos debido a su compleja mezcla de lípidos, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, su composición varía de acuerdo con el tipo de raza, alimentación y otros factores. Su composición media es de 86.6 % de agua, 4.1 % de grasa, 3.6 % de proteína 5 % de lactosa y 0.7 % de ceniza por cada 100 g de leche (Pachar, 2020).

### 1.3.2 Producción y consumo de leche en México

La importancia de la elaboración de productos lácteos en México es una de las ramas de la industria de alimentos, la cual ocupa el tercer lugar después de la industria de maíz y de la carne, por lo tanto es de suma importancia la producción nacional de la leche, de acuerdo a lo reportado por el SIAP (2021), hubo una producción estimada de 12 mil 842 millones de litros de leche bovina el año 2020, los principales productores fueron: Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato, estando Hidalgo en el lugar número 11 y Yucatán en último lugar como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Volumen de producción de leche a nivel nacional por entidad en 2020

<b>ESTADO</b>	<b>PRODUCCIÓN (L)</b>
Jalisco	2,625,726
Coahuila	1,457,972
Drurango	1,291,208
Chihuahua	1,189,304
Guanajuato	873,908
Hidalgo	413,145
Yucatán	2,742

**Fuente:** (SIAP, 2021)

### 1.4 Productos Lácteos

Los productos lácteos elaborados a partir de leche como yogurth, crema, mantequilla y queso, están dentro de la dieta de la población ya que contienen los nutrientes suficientes (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales) para el funcionamiento del organismo (OEXD-FAO, 2020).

### 1.4.1 Queso

La NOM-243-SSA1 (2010), define al queso como **el producto elaborado de la cuajada de la leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, obtenida de la coagulación de la caseína por medio de cuajo, gérmenes lácticos, enzimas, ácidos orgánicos comestibles con o sin tratamiento.** Está constituida esencialmente por caseínas en forma de gel, gracias a este proceso se logra conservar su valor nutrimental, incluidas las grasas, proteínas y constituyentes menores, provocando una consistencia sólida y un sabor agradable en el producto, en la Tabla 2 se muestran algunas clasificaciones de los quesos de acuerdo a distintos autores.

**Tabla 2.** Clasificación de quesos respecto a distintos autores

<b>Por su elaboración</b>	<b>Por el tipo de coagulación</b>	<b>Por su estado de maduración (días)</b>	<b>Por contenido de humedad (%)</b>
Frescos	Enzimática	Frescos (6-25)	Duros (20-42)
Madurados	Ácida	Semi- madurados (40)	Semiduros (44-55)
Procesados	Ácida/ térmica	Madurados (> 70)	Blandos (> 55)
(NOM-121, 1994)	(Gunasekaran y Ak, 2002)	(McSweeney, 2004)	(Ramírez y Vélez, 2012)

Sin embargo, Ramírez y Vélez (2012), mencionan en su investigación que los quesos pueden verse afectados por distintas causas, por ejemplo en su formulación, durante el proceso, en el almacenamiento y por microorganismos, provocando cambios en su microestructura, cambios fisicoquímicos y los mas importantes en sus atributos sensoriales (sabor, olor y color).

Para la fabricación de los diferentes tipos de quesos se deben de considerar cinco factores principales: la composición de la leche, la velocidad de acidificación, el desarrollo de la acidificación, el contenido de humedad, y la manipulación de la cuajada, y esto va a



permitir elaborar los quesos que se han mencionado en la Tabla 2, pero la clasificación más aceptada es la dada por la NOM-121 (1994), basándose en su elaboración por lo que los quesos se clasifican en: Quesos madurados, quesos procesados y quesos frescos.

#### ***1.4.1.1 Quesos madurados***

Son quesos de pasta dura, semidura o blanda ya que pasan por un tratamiento de cocción o maduración por un tiempo mayor a 6 semanas. Estos quesos tienen una humedad máxima de 45 %, tiene un mínimo de 25 % de grasa y 22 % de proteína, algunos ejemplos son: parmesano, cheddar, gouda, Chihuahua, entre otros (NOM-121, 1994).

#### ***1.4.1.2 Quesos procesados***

Son aquellos que se elaboran con el uso de calor, para que por medio de fusión de la mezcla de otros quesos, ingredientes alimenticios y agentes emulsificantes se puedan moldear y se dejen solidificar, estos pueden ser presentados en forma de rebanadas o untables (NOM-121, 1994).

#### ***1.4.1.3 Quesos frescos***

Este tipo de queso es aquel que no lleva tiempo de maduración después que ha sido elaborado, es consumido en su estado fresco ya que tiene una vida de anaquel de 15 a 25 días aproximadamente, una de sus principales características es su contenido de humedad que va desde los 50 hasta el 85 %, por lo que se deben de mantener a temperatura de refrigeración de 3 a 8 °C, estas características le darán una textura suave, cremosa, presentan un sabor suave, no tienen corteza, su consistencia va desde untable hasta rebanable, puede ser elaborado con leche cruda o pasteurizada, su contenido de proteína varía de 17 a 30 %, algunos quesos pueden ser: petit suisse, canasto, tenate, Oaxaca, panela por mencionar algunos (NOM-121, 1994).

## 1.4.2 Queso Panela

En la industria quesera se utilizan dos métodos para coagular la leche por medio de acidificación y la adición de cuajo. La coagulación enzimática de la leche es el método más utilizado el cual consiste en agregar una enzima que tiene la propiedad de coagular o gelificar el complejo caseico (Sánchez *et al.*, 2022). El cuajo natural mejor conocido como renina corresponde a una enzima proteolítica la cual se obtiene de los terneros antes del destete, esta enzima es secretada por la mucosa gástrica del cuarto estómago de acuerdo con (Chañi, 2023).

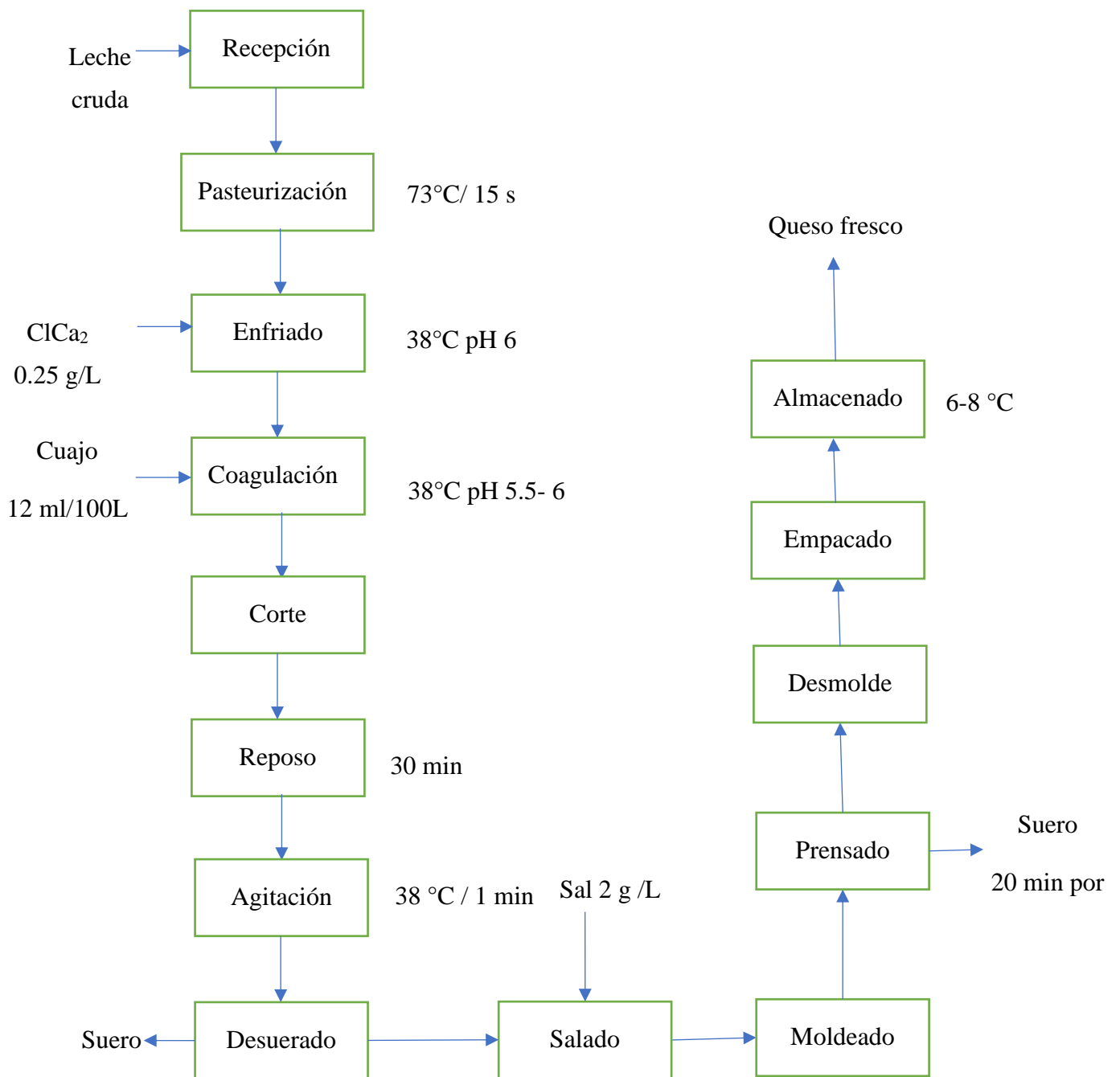
El queso panela es un queso fresco, se puede elaborar con leche pasteurizada (Figura 4), es considerado un queso de pasta suave y fácil de rebanar tiene una humedad de 60 a 80 %, por tal motivo debe conservarse a un temperatura de 4 a 8 °C, tiene una vida de anaquel de 15 a 25 días ya que es altamente perecedero (Narcía, 2011).



**Figura 4.** Queso fresco panela.  
Fuente: (Narcía, 2011).

### 1.4.2.1 Proceso de elaboración

Para la transformación de la leche en queso es un proceso simple, pero involucra fenómenos físicos y químicos muy complejos. Se trata de un proceso de concentración, por medio de la coagulación de las proteínas de la leche (caseína) por la acción enzimática (cuajo) u otro tipo de coagulante como la acidificación (comúnmente ácido láctico) (Vinocunga *et al.*, 2022). En la Figura 5 se muestra un diagrama de proceso para la elaboración de un queso panela.



**Figura 5.** Diagrama de proceso para elaboración de queso panela. Fuente: (Carretero *et al.*, 2014)

## 1.5 Microbiológicos

Muchos alimentos están expuestos a infinidad de microorganismos que pueden dañar a la salud o hasta causar la muerte, por eso es de suma importancia tomar en cuenta las normas y sobre todo la manipulación y proceso de los alimentos. La industria láctea no se queda exenta del crecimiento microbiano, ya que la flora microbiana de los subproductos de la leche proviene de la propia leche cuando es cruda.

Los quesos frescos tienen una vida de anaquel de 15 a 25 días, por lo tanto, deben considerarse diversos factores como la higiene, control de temperatura, embalaje, envasado, control de microorganismos y monitoreo de calidad) y así mantener la calidad del alimento durante su almacenamiento hasta su consumo, de acuerdo con Merchán *et al.*, (2018), considera dos factores importantes:

**Calidad microbiana.** La leche cruda tiene un intervalo de carga microbiana de 1000 a 5000 mil UFC/mL, pero de estos algunos son benéficos como las bacterias ácido lácticas (BAL), las cuales representan un 30 % de la carga total, pueden estar presentes los géneros *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus spp* encargados de la acidificación de la leche y los principales formadores de las características de cada queso como el sabor, color, olor y textura. También existen microorganismos patógenos dentro de la producción de queso, por ejemplo: *Bacillus cereus*, *Mycobacterium tuberculosis.*, *Brucella abortus*, *Campylobacter spp*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Staphylococcus aureus* y *Yersenia spp*. Por tal motivo se recomienda que toda la leche cruda sea pasteurizada para eliminar o disminuir la carga microbiana (Merchán *et al.*, 2018).

**Temperatura.** Es otro factor importante a considerar, porque la leche una vez después de la ordeña tiene una temperatura de 37 °C la cual es la óptima para el crecimiento de microorganismos, por eso se recomienda que para retardar el crecimiento esta se almacene inmediatamente en refrigeración a una temperatura de 4 a 6 °C, y posteriormente para matar la mayoría de los microorganismos se debe de pasteurizar ya sea de manera lenta (62 a 64 °C por 30 min.) o rápida (72-73 °C de 15 a 20 s) y ésta ya pueda ser utilizada o almacenada para su transformación (López, 2004).

### 1.5.1 Microorganismos en los alimentos

Los alimentos son una fuente importante para el consumo de la población, pero de igual manera una fuente de contagio de enfermedades al no implementar las prácticas de higiene y el control de calidad rigurosos para disminuir la presencia de microorganismos

En la industria láctea pueden existir una gran variedad de microorganismos, en productos como la leche, el yogurth y el queso, pero algunos son benéficos y deseados para su producción, mientras que otros si no se controlan adecuadamente a través de una operación unitaria como la pasteurización, pueden ocasionar deterioro a los productos lácteos y por consecuencia enfermedades (Florentino, 2021). A continuación, se describen algunos microorganismos presentes en estos productos de acuerdo con Aguilar, (2018):

***Bacterias Acido Lácticas (BAL):*** Estas se encargan de convertir la lactosa en ácido láctico, contribuyendo al sabor y la textura, por lo tanto, son esenciales para elaborar productos lácteos. Ejemplos de LAB incluyen *Lactobacillus spp*, *Streptococcus spp* y *Bifidobacterium spp*.

***Levaduras:*** Algunas de estas como las *Saccharomyces spp* y *Candida spp* se encargan de la producción de dióxido de carbono y de compuestos aromatizantes que influyen en el sabor y la textura de algunos productos lácteos.

***Hongos:*** En los productos lácteos se pueden encontrar algunos hongos no deseados, como los mohos (*Penicillum spp*, *Mucor spp*, *Geotrichum spp* o *Alternariq spp*), estos ocasionan la descomposición del alimento y la producción de toxinas peligrosas, crecen cuando el alimento se contamina o se almacena de condiciones incorrectas.

***Bacterias Ácido-Lácticas No Deseadas:*** Generalmente están crecen cuando no se aplican buenas prácticas de higiene, no se controlan las condiciones de fermentación, almacenamiento, o el control de las bacterias correctas en cada producción y, por lo tanto, pueden contaminar productos lácteos y causar alteraciones en el sabor o la textura, por ejemplo: *Clostridium botulinum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila*.

***Microorganismos Patógenos:*** Estos patógenos pueden causar enfermedades si son consumidos en cantidades suficientes y son transmitidos al consumir alimentos

contaminados. Microorganismos como *Salmonella Typhi*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*, crecen en alimentos lácteos cuando se manejan o se almacenan de una manera incorrecta.

### ***1.5.1.1 Salmonella Typhi***

Pertenece a la familia Enterobacteriaceae del género *Salmonella*, son bacilos Gram negativos (Figura 6), la mayoría de estos producen gas o sulfuro de hidrógeno por la fermentación de los carbohidratos, no fermentan la lactosa, pero si producen ácido a partir de la glucosa, maltosa y sorbitol, se reproducen a 37 °C de temperatura, a un pH de 7.2 - 7.6 °C. No forma esporas, es causante de la fiebre tifoidea y causa con regularidad la salmonelosis, se contagia por medio del consumo de agua o alimentos contaminados (Yaguana, 2015 y Hernández, 2022).



**Figura 6.** *Salmonella Typhi*. Fuente: (SCIENCIEphotoLIBRARY, 2023)

### ***1.5.1.2 Escherichia coli***

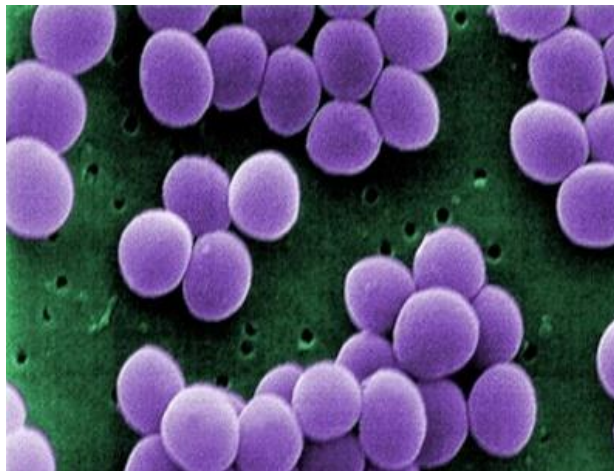
Es una bacteria gram negativo en forma de bastones (Figura 7), son anaerobios facultativos, de acuerdo a sus características fisiológicas su temperatura óptima para su crecimiento está de los 35 a los 37 °C, con un pH óptimo de 6.5 a 7.5. Estas fermentan la lactosa, formando gas a partir de los 35 °C. Se contagia por medio del consumo de agua o alimentos como: frutas, verduras crudas y leche no pasteurizada (Aguilar, 2018).



**Figura 7** *Escherichia coli*. Fuente: (cadenaser.com, 2023)

### ***1.5.1.3 Staphylococcus aureus***

Se encuentra dentro de las bacterias gram positivo, es un coco facultativo, son fermentativos y proteolíticos, están unidos formando agregados parecidos a racimos de uvas (Figura 8), también, se pueden encontrar en parejas o en forma de cadena corta. Estos se pueden reproducir a temperaturas entre los 4 y 46 °C, a un pH de 4.5 y 8 y en los alimentos con un Aw entre los 0.86 y 0.90. Este microorganismo puede ocasionar intoxicaciones al estar en contacto con alimentos contaminados (Hernández, 2022).



**Figura 8** *Staphylococcus aureus*. Fuente: (insst.es, 2021)

Es importante destacar que, en la producción de alimentos lácteos, se implementan prácticas de higiene y control de calidad rigurosas para minimizar la presencia de microorganismos no deseados y garantizar la seguridad y la calidad de los productos. Las bacterias lácticas beneficiosas se utilizan de manera controlada en la fermentación para producir productos lácteos específicos con sabores y texturas deseadas. Además, la pasteurización y otros métodos de procesamiento térmico se utilizan para eliminar patógenos y microorganismos no deseados en productos lácteos comerciales (Aguilar, 2018).

### **1.5.2 Concentración mínima inhibitoria (CMI)**

La CMI es la concentración más baja de un agente antimicrobiano que detiene el crecimiento visible de una población bacteriana sin matar todas las bacterias. Se utiliza para evaluar la susceptibilidad de las bacterias a un agente antimicrobiano. Para determinar la CMI se utiliza un método colorimétrico, utilizando sales tetrazolium (González *et al.*, 2020).

### **1.5.3 Concentración mínima bactericida (CMB)**

La CMB es la concentración más baja de un agente antimicrobiano que causa la muerte completa de una población bacteriana en lugar de simplemente inhibir su crecimiento. Es un indicador importante para la erradicación completa de una infección bacteriana (Carrera, 2016).

## **1.6 Actividad antioxidante**

La actividad antioxidante es la facultad que posee una sustancia para neutralizar o inhibir los radicales libres y los problemas ocasionados por el estrés oxidativo en el cuerpo. Los antioxidantes son moléculas que evitan que los radicales libres puedan hacer daño a las células y a los tejidos del cuerpo, estos actúan como protectores o estabilizadores, por medio de la donación de electrones o hidrógenos para neutralizarlos, ayudando a prevenir el daño oxidativo (Aguilar, 2012).



### **1.6.1 Radicales libres**

Los radicales libres son moléculas altamente reactivas e inestables que se producen naturalmente en el organismo por procesos metabólicos normales u ocasionados por factores externos como la contaminación, el consumo de tabaco o por la radiación solar. El estrés oxidativo se da por el desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad que tiene el cuerpo para estabilizarlos o neutralizarlos mediante antioxidantes producidos por el organismo (endógenos) o por su ingesta con los alimentos (exógenos) (Londoño, 2012).

Cuando los radicales libres reaccionan con otras moléculas, se produce una reacción en cadena conocida como oxidación, la oxidación es una reacción química donde hay un intercambio de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Esta oxidación se encarga de dañar las células, las membranas celulares, las proteínas, el ADN y otros componentes importantes del organismo. Esta oxidación está asociada a diferentes enfermedades crónicas como el cáncer, cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas y sobre todo al envejecimiento (Carvajal, 2019).

Al neutralizar los radicales libres, los antioxidantes actúan como defensores o protectores del organismo. Algunos antioxidantes pueden regenerarse a sí mismos después de la donación de electrones, mientras que otros interactúan directamente con enzimas antioxidantes endógenas o exógenas para combatir de esta manera el estrés oxidativo (Carvajal, 2019).

### **1.6.2 Fuentes antioxidantes**

Existe una gran variedad de productos con gran actividad antioxidante que son obtenidos por medio de los alimentos, los cuales al ser ingeridos y absorbidos por el organismo tienen la capacidad de actuar como antioxidantes. A continuación, se enumeran algunos alimentos ricos en antioxidantes (Monckeberg, 2023).

- 1) Frutas: Bayas (arándanos, fresas, frambuesas, moras), uvas, cerezas, manzanas, naranjas, granada y kiwi.
- 2) Verduras: espinacas, col rizada, zanahorias, jitomates, brócoli, pimientos.
- 3) Especies y hiervas: orégano, cúrcuma, romero, jengibre, clavo, canela y el ajo.

- 4) Legumbres: frijoles, lentejas y garbanzos, también son ricas en fibra.
- 5) Cacao, chocolate negro, té verde, aceites de oliva.
- 6) Otros alimentos como: pescados, vino tinto, algas marinas, aguacate, betabel, leche, quesos.
- 7) De igual manera existen otras maneras de poder evitar la oxidación, donde se pueden utilizar nanomateriales que tienen esa capacidad como las nanopartículas de óxido de hierro, los cuales actúan como captadores de radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno.

### 1.6.3 Métodos para evaluar la actividad antioxidante

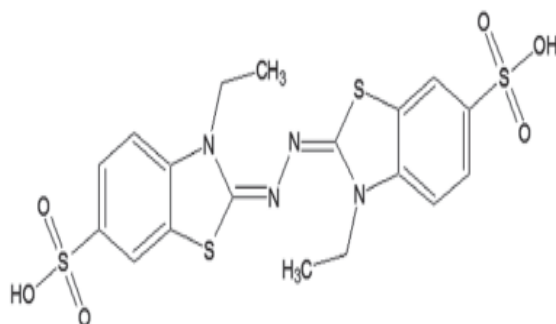
Ronald *et al.*, (2005), estandarizaron tres métodos para la determinación de la capacidad antioxidante y fenólicos en alimentos, algunos fueron: *La absorbancia de radicales de oxígeno* (ORAC), este interpreta un mecanismo de reacción de transferencia de hidrogeno (TAH), el *método de Folin-Ciocalteu*, consiste en la *transferencia de electrones* (ET), es expresado en contenido fenólico, el cual proporciona un acapacidad reductora y *la capacidad antioxidante equivalente de Trolox* (TEAC) es considerado de igual manera como el segundo método de ET.

Otro método de igual manera importante es el del *poder reductor* (FRAP): Este método mide la capacidad que tiene una muestra para reducir los radicales libres mediante la ET. Las muestras son mezcladas con un compuesto que contenga hierro, el cual es oxidado con la presencia de radicales libres. La cantidad de hierro reducido es medido como una indicación de su capacidad antioxidante (Londoño, 2012).

Londoño (2012), menciona que existen métodos que combinan el TAH y el ET, los cuales son el ABTS y el DPPH, estos son fundamentados con la estabilización de radicales libres, que por medio de un espectrofotómetro se puede detectar el cambio de los radicales al reaccionar con un antioxidante.

### 1.6.3.1 Método ABTS (*azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-acido sulfónico*)

También es conocido como el método de la capacidad antioxidante de polifenoles. Es un compuesto azul incoloro, estructurado por dos anillos benzotiazol unido por un grupo funcional azo (Figura 9), en una solución, el ABTS forma un radical libre que absorbe la luz a una longitud de onda de 734 nanómetros (nm), al encontrarse en presencia de un antioxidante, se produce una reacción de ET en la que el antioxidante dona un electrón al radical ABTS, por lo tanto, el color de esta se reduce a una forma incolora y estable

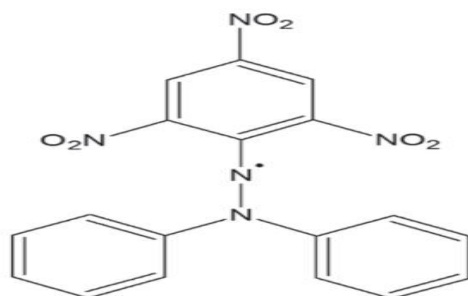


**Figura 9** Estructura química del ABTS. Fuente: (Londoño, 2012)

(Londoño, 2012).

### 1.6.3.2 Método para DPPH (*Difenil Picril Hidrazilo*)

Es considerado un radical estable, presenta una coloración violeta, es un compuesto altamente reactivo, conformado por dos átomos de nitrógeno y dos anillos de fenilo unidos a un grupo picrilo (Figura 10). Absorbe fuertemente la luz a una longitud de onda de 517 nm. La reacción de estabilización es principalmente mediante una ET con un aporte mínimo de TAH, el DPPH recibe un electrón al estar en contacto con un antioxidante, dando como resultado que la solución se torne incolora y estable al reducirse el DPPH. Por lo tanto, cuanto mayor sea la capacidad antioxidante de una muestra, mayor será la cantidad de radical educido, por tal motivo, mayor será la reducción de la absorbancia (Londoño, 2012).



**Figura 10** Estructura química del radical DPPH.  
Fuente: (Londoño, 2012)

## 1.7 Uso de conservadores

El uso de conservadores en alimentos como su nombre lo indica pueden ser de gran ayuda para la conservación de cualquier matriz alimentaria controlando el crecimiento microbiano de hongos, levaduras o bacterias, no todos los conservadores sirven para todo tipo de microorganismos, cada uno tiene su alto grado de especificidad, algunos que se pueden utilizar son: el benzoato, sorbato de sodio o potasio, sales del ácido propiónico, los nitritos o nitratos, y los sulfitos por mencionar algunos (Cavaliere *et al.*, 2005).

Hernández (2021), menciona que existen una infinidad de productos de origen botánico que tienen una alta actividad antimicrobiana, estas pueden provenir de especias como: clavo, canela, orégano, pimienta, tomillo, etcétera y también otras provenientes de plantas las cuales se utiliza su flor, fruto, semilla y la raíz. Para que el principio activo de cada conservador natural funcione, este se puede adicionar directo, en extracto (acuoso, oleoso o hidroalcohólico) y en polvo, esto ayuda a que sus componentes tengan contacto directo con los alimentos y de esta manera evitar o inhibir el crecimiento bacteriano y alargar la vida de anaquel.

## 1.8 Vida de anaquel

La vida de anaquel es el tiempo que tiene un alimento para comenzar a perder sus propiedades sensoriales, fisicoquímicas, texturales y color después de su producción. Al perderse estas propiedades los alimentos tienden al crecimiento de microorganismos (Carrillo y Mondragón, 2011). Los cambios que se dan en las propiedades de un alimento pueden ser

toleradas, los cuales pueden ayudar a determinar la vida de anaquel, pero existen muchos factores que influyen directamente en la caducidad de acuerdo con lo reportado por López (2010), estos pueden ser:

- ☼ Calidad de la leche.
- ☼ Tratamientos térmicos antes, durante y después de la elaboración de los alimentos.
- ☼ Uso de aditivos microbianos.
- ☼ Limpieza y saneamiento de equipos.
- ☼ Temperaturas de almacenamiento.

## **1.9 Propiedades reológicas y mecánicas**

Estas propiedades son las que miden el comportamiento de los alimentos cuando se les aplica una fuerza para medir su textura sin llegar a la deformación. Se pueden medir de dos maneras reológicas, la primera mediante un análisis de perfil de textura (TPA) el cual se lleva a cabo utilizando equipos (texturómetro, viscosímetro, colorímetro, entre otros) que permiten dar resultados expresados en unidades y la segunda es sensorialmente donde se utilizan los sentidos (olfato, gusto, vista, tacto y oído) para la evaluación del alimento (López, 2010).

### **1.9.1 Propiedades reológicas: Análisis de perfil de textura (TPA)**

Este es un análisis sensorial descriptivo que permite medir la textura basado en las características de los alimentos, permitiendo manipular una muestra, a la cual se le miden propiedades o variables como dureza, fracturabilidad, elasticidad, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad. Se miden con un texturómetro el cual permite evaluar alimentos como frutas, carnes, pan y queso, este trabaja simulando la percepción de la boca, relacionado con las sensaciones del tacto (Guerra *et al.*, 2012).

## 1.9.2 Propiedades mecánicas: Análisis sensorial

La vida de anaquel se ve afectada principalmente por los defectos sensoriales, los cuales se miden de acuerdo a la calidad/aceptabilidad donde se utilizan distintas pruebas y se usan distintas escalas de medición (Ruiz *et al.*, 2019).

El término evaluación sensorial mide un amplio rango de factores neurofisiológicos como son: el gusto, olfato, vista, oído y tacto y automáticamente es evaluado por el cerebro mandando una respuesta inmediata si gusta o no gusta un alimento (Sancho y De Castro, 1999). Estas evaluaciones se pueden hacer de tres maneras: discriminativas, descriptivas y afectivas.

**Prueba discriminativa.** Esta prueba permite determinar si hay diferencias significativas en las muestras, estas van más relacionadas a la reducción de costos, cambios de procesos y empaques (Catania y Avagnina, 2007).

**Prueba descriptiva:** prueba en la que se utilizan de 10 a 12 jueces entrenados, los panelistas son capacitados por un periodo mínimo de 3 meses, transcurrido este tiempo lograrán describir y cuantificar los atributos presentes en el alimento de manera empírica, es utilizada para evaluar productos de la competencia, agregar nuevos conceptos, ingredientes o productos, los cuales permitirán mejorar, controlar, monitorear y asegurar la calidad del alimento o producto evaluado (Catania y Avagnina, 2007).

**Pruebas afectivas:** esta prueba permite identificar si un producto es del agrado del panelista ya que este no es entrenado, permite evaluar la aceptabilidad del producto con escalas, ya sea hedónicas las cuales pueden ser de 5, 7 o 9 puntos los que van de me gusta mucho hasta el me desagrada, o también pueden ser de preferencia por pares, las cuales se selecciona la que es de más agrado (Catania y Avagnina, 2007).

## 1.10 Análisis de color

Es un análisis que se puede realizar de manera visual o instrumental los cuales miden el color de los alimentos por medio de unas coordenadas denominadas L\* (claridad/oscuridad: 0, negro, a 100, blanco); a\* (“+60” intensidad de color rojo y “-60” de color verde), y b\* (“+60” intensidad de color amarillo y “-60” de color azul), según el método de

Grassmann. De esta manera, los colores se representan en el espacio a unas distancias proporcionales a las diferencias visuales entre ellos. Es, por tanto, un sistema recomendado para mediciones industriales del color de los alimentos (Albert *et al.*, 2016).

El color puede verse afectado con la composición de los alimentos y por microorganismos, pero esta es una prueba que permite clasificar los alimentos y puede ser usado como referencia de calidad y composición de los alimentos (Ramírez, 2010).

Según Talens (2017), se puede medir la diferencia de color numéricamente entre muestras del mismo alimento, el cual especifica si se puede persistir esa diferencia o no con el ojo humano. Estudios realizados en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) valores menores a cinco no serán apreciables al ojo humano. En la Tabla 3, se presenta la relación entre la apreciación de los consumidores y los valores de  $\Delta E$ .

**Tabla 3.** Relación sensorial entre el consumidor y la diferencia de color ( $\Delta E$ )

<b>Diferencia Sensorial</b>	<b><math>\Delta E</math></b>
Ninguna	0 – 0.7
Ligera	0.7 – 2.5
Notable	2.5 – 3
Apreciable	3 – 5
Considerable	6 – 12
Extraordinaria	12

**Fuente:** (Ramírez, 2010)

### 1.11 Análisis químico proximal

Se realizan estas pruebas para determinar la composición de los alimentos que se van a medir y los resultados obtenidos se comparan con las normas o parámetros que ya están establecidos, para determinar si el nuevo alimento o alimentos a analizar cumplen con la cantidad necesaria o tiene más de lo permitido, la NOM-155-SCFI (2012), menciona que se puede conocer su calidad y determinar la cantidad grasa, proteína, sólidos totales, densidad y acidez

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se emplean diversos aditivos como conservadores en quesos, tal es el caso de algunas sales inorgánicas, sin embargo, el uso de este tipo de aditivos se ha visto limitado por sus efectos adversos a la salud ya que podría provocar alteraciones renales debido a su consumo prolongado. Como una alternativa al uso de este tipo de aditivos desde hace varios años se ha planteado la adición de extractos vegetales que presentan actividad antimicrobiana, tal es el caso de los extractos de ajo, los cuales además de presentar dicha actividad, están relacionados con la prevención de enfermedades crónico no transmisibles como el cáncer, diabetes e hipertensión.

En la actualidad existen diversos estudios sobre las propiedades funcionales del ajo, se sabe que el componente principal de los extractos de ajo es la alicina la cual es de suma importancia para distintos propósitos, tales como la conservación de alimentos, la actividad antioxidante y la actividad quimiopreventiva.

Por otro lado, las nanopartículas de óxido de hierro se han propuesto recientemente como agentes acarreadores de diversos compuestos bioactivos, debido a la capacidad que tienen de adsorber moléculas en su superficie. Una de las ventajas del uso de nanopartículas es que presentan una gran área superficial, además, las nanopartículas de óxido de hierro pueden ser multifuncionales, ya que además de acarrear al compuesto bioactivo al sitio de acción, son una fuente de hierro para la nutrición.

Por lo tanto, en este trabajo se pretende proponer una alternativa al uso de aditivos conservadores mediante la adición de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo a un queso panela. Esto se realizó con la finalidad de aumentar la vida de anaquel, y de aportar conocimientos sobre el efecto que tiene la adición de nanopartículas de óxido de hierro en las características texturales y sensoriales del queso.



# JUSTIFICACIÓN

La vida de anaquel de un alimento está determinada por diversos parámetros físicos, químicos y biológicos. Dentro de estos últimos se encuentra el deterioro ocasionado por microorganismos siendo este el factor principal que afecta la inocuidad, por lo tanto, el uso de aditivos alimentarios, tales como conservadores representan un riesgo para la salud, por este motivo su uso ha sido regulado en diversos países. Recientemente existe una tendencia por el consumo de productos naturales y esto incluye el disminuir el uso de aditivos artificiales. Con respecto a esto se ha reportado que el ajo (*Allium sativum* L.) es una fuente natural para inhibir el crecimiento antimicrobiano, Davinson *et al.*, (2015), han reportado que su actividad antimicrobiana se debe a sus compuestos sulfurados en especial la alicina, por su principal efecto que tiene para evitar el crecimiento de una gran variedad de bacterias y hongos. Debido a esto se ha considerado adicionar nanopartículas de óxido de hierro con extracto de ajo a un queso fresco panela, por lo tanto, se pretende determinar las posibles alternativas para la prolongación de la vida útil de un alimento (queso panela).

# OBJETIVOS

## 4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) durante la elaboración de un queso panela para extender su vida de anaquel.

## 4.2 Objetivos específicos

- ☼ Evaluar las propiedades fisicoquímicas de un queso panela adicionado con nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) por medio de un análisis químico proximal, perfil de textura, color, Aw para su caracterización.
  
- ☼ Determinar la actividad antioxidante (ABTS y DPPH) y actividad antimicrobiana de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) y del extracto de ajo, por medio de la concentración mínima inhibitoria (MIC) y actividad mínima bactericida (CMB) para el control de crecimiento de microorganismos gram negativos y gram positivos.
  
- ☼ Evaluar el efecto de la adición de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) de un queso panela mediante una evaluación de nivel de agrado para su aceptabilidad sensorial.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## 5.1 Ubicación

Los experimentos se realizaron en el taller de fermentaciones, en el Instituto de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El queso panela se elaboró en el taller de lácteos con leche pasteurizada, obtenida de la empresa Productora Universitaria de Lácteos (Prounilac) de la UAEH, ubicada en: Rancho Universitario s/n, Ex-Hacienda de Aquetzalpa, Tulancingo, Hidalgo (latitud: 20.06218° o 20°3'44" norte; Longitud -98.38221° o 98°22'56" oeste).

## 5.2 Síntesis de nanopartículas

Para obtener las nanopartículas se realizó una síntesis siguiendo la metodología de Hernández (2021). Se realizó una mezcla en 50 mL de agua destilada de 4.2 g de cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) y 1.5 g de cloruro ferroso tetrahidratado ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) en un matraz bola 24/40 de fondo plano.

Una vez homogeneizada la mezcla se sometió a un baño ultrasonico (Sonicador- Cole-Pamer 08895-04, EE. UU) de 40 kHz a 50 °C por un tiempo de 60 min, dejando caer por goteo 8 mL de una solución de hidróxido de amonio al 30 %, las partículas obtenidas se lavaron con etanol al 70 % y se separaron con la ayuda de un imán de neodimio y se secaron en una estufa a 70 °C por un lapso de 24 horas, pasado el tiempo las nanopartículas (NPs) se trituraron y se guardaron para su funcionalización.

### 5.2.1 Funcionalización con tetraetilortosilicato (TEOS)

Para la primera funcionalización se pesaron 100 mg de IONPs y se mezclaron con 10 mL de etanol, 2 mL de agua destilada, 800  $\mu\text{L}$  de hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) y 200  $\mu\text{L}$  de TEOS. Se colocaron nuevamente en un baño ultrasónico a 60 °C por 15 min. Finalmente, las nanopartículas obtenidas se lavaron con etanol al 70 % y se secaron por 24 horas a una temperatura de 70 °C (Hernández, 2021), para la siguiente funcionalización.

### **5.2.2 Extracto hidroalcohólico de ajo (*Allium sativum* L.)**

Se realizó un extracto hidroalcohólico con ajo. Se limpiaron y trituraron 1 g de bulbillos de ajo por cada 10 mL de solvente (30:70) etanol:agua destilada, el extracto se ajustó a un pH de 7.5 con hidróxido de sodio 1 molar (el pH del extracto de ajo es de  $6.8 \pm 0.2$ ). Se sometió a baño maría a 34 °C durante un tiempo de 55 min y agitación constante. Como último paso el extracto se filtró y se almacenó a congelación hasta su uso (Hernández, 2021).

### **5.2.3 Funcionalización con extracto de ajo**

Para la segunda funcionalización se siguió la metodología de Hernández, (2021). Se pesaron 500 mg de nanopartículas de  $FE_3O_4@TEOS$  y se mezclaron con 1 mL de extracto de ajo, se sometió a una agitación constante en una parrilla con agitación por un tiempo de 30 min, se introdujo un agitador magnético para una mayor homogenización, posteriormente se secaron las NPs por un tiempo de 24 horas a una temperatura de  $32 \pm 2$  °C. Finalmente, las NPs se trituraron para disgregar los posibles agregados y se almacenaron.

### **5.2.4 Elaboración de la suspensión para la adición en los quesos**

Para obtener las concentraciones a utilizar en los tratamientos de la matriz alimentaria se realizó una suspensión donde se pesaron 500 mg de nanopartículas y se mezclaron con 20 mL de agua estéril inyectable, posteriormente se dejaron precipitar, se retiraron 15 mL y se vaciaron en un frasco color ámbar, se realizó el mismo procedimiento hasta obtener un litro. Para determinar la concentración de la suspensión se secaron las nanopartículas que quedaron precipitadas.

## **5.4 Elaboración del queso panela y adición de nanopartículas**

Para el proceso de elaboración del queso panela se utilizó la metodología de Ramírez y Vélez (2019) con modificaciones para la adición de nanopartículas. Se recibieron 20 L de leche pasteurizada de la empresa Prounilac utilizando 5 L para cada tratamiento. Se calentó

la leche a una temperatura de  $32 \pm 2$  °C para la adición de nanopartículas. Se trabajó con cuatro tratamientos, uno sin la adición de nanopartículas (T1 = control), mientras que a las tres muestras siguientes se les agregó una suspensión de 1.1, 2.2, y 4.4 ppm (T1, T2, y T3 respectivamente) de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (IONPs-EA) con una concentración de 250 ppm. Una vez que la leche llegó a 32 °C se adicionó la quimosina en una proporción de 100 µL/L previamente diluida en 10 mL de agua destilada. Se dejó coagular por un tiempo de 30 min. El corte de la cuajada se realizó con liras de 1 cm de ancho y se agitó por 30 min. Después se drenaron tres cuartas partes del suero. El queso obtenido se prensó por 20 min. por cada lado. Se empacó en bolsas de polietileno y se almacenó a una temperatura de refrigeración de  $6 \pm 2$  °C hasta su posterior uso.

## **5.5 Análisis**

A la leche se le determinó la cantidad de grasa, sólidos no grasos, densidad, lactosa, proteína, adición de agua, temperatura, punto de congelación, pH y conductividad por medio de un analizador de leche (Lactoscan, Milkotronic Ltd, Bulgaria), antes de la elaboración del queso. Una vez elaborado el queso y de almacenarlo por 24 horas, se realizó un análisis químico proximal, actividad de agua, análisis de perfil de textura, color, análisis sensorial, análisis microbiológico y un análisis estadístico de los resultados.

### **5.5.1. Características de la leche por el equipo Lactoscan**

Para un análisis rápido de la leche se utilizó un analizador ultrasónico (Lactoscan Milkotronic Ltd, Bulgaria). Se agregaron 10 mL de leche en el compartimento para muestra. Se determinaron sólidos no grasos, proteína, contenido de agua, temperatura, punto de congelación, sólidos, conductividad y densidad (Lactoscan, 2014).

## 5.5.2 Análisis químico proximal del queso panela

### 5.5.2.1 Determinación del porcentaje de proteína

El análisis de proteína se determinó mediante el método Kjeldahl de acuerdo a la metodología de la AOAC (2016). En un tubo de digestión se agregó 5 g de una mezcla digestora (sulfato de cobre pentahidratado y sulfato de potasio), 15 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 1 g de muestra de queso finamente triturada y se comenzó con la digestión. Una vez que la muestra tomó un color verde transparente se mantuvo por una hora más. Se dejó enfriar y se agregó a cada tubo 20 mL de agua destilada y se colocó en el destilador (BÜCHI K-350, Suiza), mientras que en un matraz Erlenmeyer se mezclaron 50 mL de ácido bórico y 3 gotas de rojo de metilo como indicador y se inició la destilación. Una vez transcurridos cinco minutos se obtuvieron aproximadamente 250 mL de destilado (se realizó este procedimiento por cada muestra y entre cada tipo de muestra se hizo un blanco). Como parte final se realizó la titulación con ácido sulfúrico 0.1 N y se registraron los mililitros gastados. Para realizar los cálculos y expresar los resultados se calculó el porcentaje de nitrógeno presente en la muestra con la Ecuación 3 y para el porcentaje de proteína se utilizó la Ecuación 4.

$$\% \text{ De nitrógeno} = \frac{(mL \text{ problema} - mL \text{ blanco})(meq N)(N \text{ del } H_2SO_4)}{\text{Peso en gramos de la muestra}} \times 100$$

(Ecuación 3)

Donde:

*N del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>* = Normalidad del ácido sulfúrico.

*mL problema* = Volumen en mililitros de ácido sulfúrico gastados.

*mL blanco* = Volumen en mililitros gastados empleado para el blanco.

*meq N* = Miliequivalente del nitrógeno = 0.014 g N/ meq N.

*Peso en gramos de la muestra* = Peso real utilizado

$$\% \text{ Proteína} = (\% \text{ de nitrógeno}) \times F \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

*% de nitrógeno* = Porcentaje obtenido en la Ecuación 3

*F* = Factor de conversión de proteína 6.38 (para queso).

### ***5.5.2.2 Determinación del porcentaje de grasa***

Para el contenido de grasa de las muestras se realizó por triplicado. Se utilizó el método de ácido butirométrico Van-Gulik, el cual consiste en una digestión de sus componentes y la separación de la grasa por medio de un centrifugado (López *et al.*, 2015). Para la preparación de la muestra se utilizaron 3 g de queso triturado y se colocaron en la copa de vidrio con tapón y se ajustó en el cuello del butirómetro (graduado de 0 a 40 %), posteriormente se añadieron 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (densidad de 1.525 g/mL) o hasta cubrir la muestra, se sometieron a baño maría (RIOSSA B-40, Puebla, México) por 15 min. a una temperatura de 65 °C. Una vez terminada la digestión se retiró del agua y se agregó más H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta la escala de 25 % y 1 mL de alcohol isoamílico. Se centrifugaron (Gerber instrument, Michoacán, México) a 1200 rpm por 5 min. a una temperatura de 63 ± 2 °C. Transcurrido el tiempo se metieron nuevamente a baño maría hasta poder realizar la lectura del porcentaje de grasa directamente en la escala del butirómetro y se registraron los resultados obtenidos.

### ***5.5.2.3 Determinación del porcentaje de humedad***

El porcentaje de humedad se determinó por medio de la deshidratación de una muestra o diferencia de peso, donde la muestra se metió a una estufa de secado (Craft, México) de acuerdo a la metodología de la AOAC (2016). Como primer paso se secaron las charolas por un tiempo de 24 horas en la estufa, transcurrido el tiempo se dejaron enfriar en un desecador por 15 min. Se pesaron 4 g de muestra triturada por duplicado para cada tratamiento. Se

secaron en la estufa por 2 horas a una temperatura de 105 °C, pasado el tiempo se dejaron enfriar en un desecador y se registró el primer peso, se realizó el mismo procedimiento hasta obtener un peso constante. Para la determinación del porcentaje humedad se aplicó la Ecuación 5.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

#### ***5.5.2.4 Determinación del porcentaje de ceniza***

Para la determinación de ceniza, se realizó por calcinación de muestra (AOAC, 2016) en una mufla (Felisa FE-361, México). Se metieron a secar 24 crisoles hasta obtener su peso constante, se dejaron enfriar por un tiempo de 30 min. y se registró su peso cada 15 min. Se pesaron 3 g de muestra por duplicado para cada tratamiento. Se colocaron las muestras en cada crisol sobre un mechero y se comenzó a calcinar la muestra (evitando que esta se incendiara). Una vez calcinada la muestra se dejaron enfriar y se metieron a la mufla a una temperatura de 500 °C por dos horas hasta obtener una ceniza de color blanco a grisáceo. Se dejó enfriar la muestra en un desecador y se pesó la ceniza. Se calculó la cantidad obtenida mediante la Ecuación 6.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{peso de la charola vacía}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

#### **5.5.3 Determinación de pH**

Se realizó una mezcla de 10 g de queso triturado en 50 mL de agua destilada. Se midió el pH por triplicado en un potenciómetro (Hanna HI 2211, Colombia) de acuerdo a la metodología descrita por González (2011).



#### 5.5.4 Determinación de acidez

La determinación de acidez se realizó por triplicado. Se elaboró una mezcla de 10 g de queso, 20 mL de agua destilada y 0.5 mL de fenolftaleína al 1 % en un vaso de precipitado de 250 mL. Posteriormente se tituló con NaOH al 0.1 N hasta el vire de color. Para obtener el porcentaje de acidez se utilizó la Ecuación 7 (González, 2011).

$$\% \textit{Acidez} = \frac{V * N * 0.090}{P} X 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$V$  = Volumen en mililitros de hidróxido de sodio gastados

$N$  = Normalidad del NaOH

$P$  = Gramos de la muestra utilizada

#### 5.5.5 Determinación de actividad de agua ( $A_w$ )

La actividad de agua se llevó a cabo en un medidor AquaLab (Meter Group Inc., Series 3 TE, Washington), se introdujeron en el cajón de la muestra 3 g de queso triturado, el cual se comprimió completamente hasta la marca ubicada en el fondo de la charola. Posteriormente se realizaron las medidas de cada muestra a una temperatura ambiente por un tiempo de 5 min. y se registraron las lecturas obtenidas (García, 2006).

#### 5.5.6 Análisis de perfil de textura (TPA)

Para determinar la textura de las muestras de queso se realizó por medio de la compresión con un texturómetro (Brookfield, CT3, EE.UU.) con el Software Exponent Conect. Se realizaron 20 repeticiones por cada tratamiento. Las muestras utilizadas fueron cúbicas de 1.5 cm de cada lado. Se colocaron en el equipo y fueron comprimidas dos veces a temperatura ambiente con una geometría cilíndrica de acrílico de 25 mm de diámetro a una

velocidad de 2 mm/s con un tiempo de compresión de 0.8 s, hasta reducir su tamaño a una altura del 50 % con una fuerza aplicada de 0.005 N. Con los datos obtenidos se calcularon las propiedades de: Dureza, adhesividad, elasticidad y cohesividad, de acuerdo con la metodología descrita por Higuera *et al.*, (2019).

### 5.5.7 Análisis de color

Los parámetros del espacio de color CIE L\* a\* b\* se obtuvieron mediante un colorímetro (twilight 3nh, México). El parámetro L\* indica la luminosidad en un intervalo de 0 a 100; a\* indica una tonalidad de rojo (+) a verde (-) y b\* indica una tonalidad de amarillo (+) a azul (-) (Velasco, 2017). También se determinó su delta E ( $\Delta E$ ) para observar la diferencia de color entre los tratamientos y el control mediante la siguiente Ecuación 8 (Ramírez, 2010).

$$\Delta E = \sqrt{(L_r^* - L_s^*)^2 + (a_r^* - a_s^*)^2 + (b_r^* - b_s^*)^2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

### 5.5.8 Análisis microbiológico

#### 5.5.8.1 Concentración mínima inhibitoria (CMI) y concentración mínima bactericida (CMB)

Para la determinación de la concentración mínima inhibitoria en micro dilución en placa, se llevó a cabo de acuerdo a la metodología de González *et al.* (2020), para el extracto de ajo y en las IONPs-EA. En el extracto se realizaron concentraciones a partir de 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.12  $\mu\text{g/mL}$  y para las IONPs-EA se utilizaron concentraciones de 4000, 2000, 1000 y 600  $\mu\text{g/mL}$ . Para ambos análisis se utilizaron 2 bacterias gram negativas (*Escherichia coli* ATCC 8783 y *Salmonella typhi*) y una gram positiva (*Staphylococcus aureus* ATCC 29740).

El experimento se realizó por triplicado, en placas de 96 pozos de 200  $\mu\text{L}$  a los cuales se les agregó 44, 22, 11, 6 y 3  $\mu\text{L}$  de extracto de ajo y de nanopartículas 80, 40, 20 y 12  $\mu\text{L}$ , cada concentración se preparó con 50  $\mu\text{L}$  de caldo nutritivo de BHI (Infusión cerebro corazón) y cada pozo se aforó con solución salina tamponada de fosfatos (PBS) y 10  $\mu\text{L}$  de la suspensión bacteriana la cual se ajustó con McFarland al 0.5. Una vez inoculadas las placas se incubaron a una temperatura de 37 °C por 24 horas, se utilizaron como control positivo el antibiótico de Amikacina (AppliChem 4K10421) con concentraciones de 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y el control negativo fue caldo nutritivo solo y caldo nutritivo con bacterias. Para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB) se utilizó el vaciado en caja petri, la cual se le dibujaron cuadros para agregar 10  $\mu\text{L}$  de cada pozo de la P96 para observar la inhibición de los microorganismos.

### **5.5.9 Determinación de actividad antioxidante**

Se determinó la actividad antioxidante de las IONPs-EA para observar si estas tenían la capacidad de inhibir a los radicales libres y de esta manera tener la capacidad de resistir al estrés oxidativo y mantener su estabilidad durante su almacenamiento o en la aplicación de la matriz alimentaria. Su actividad fue determinada por los métodos ABTS y DPPH, los cuales consisten en la cuantificación de su actividad antioxidante en la disminución de sus absorbancias, 734 para ABTS y 514 para DPPH en presencia de un extracto. A mayor capacidad antioxidante del extracto, habrá una mayor disminución de color, siendo proporcional al grado de captura del radical oxidado (Bajarano, 2021).

#### **5.5.9.1 Actividad antioxidante por el método ABTS**

El método de ABTS se realizó de acuerdo a la metodología de Re *et al.* (1999) con algunas modificaciones. Para la determinación se preparó una solución de ABTS $\bullet$ + al 7 mM con persulfato de potasio al 2.45 mM, se dejó almacenó 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo se diluyó con etanol absoluto hasta obtener una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$ . Para determinar la actividad antioxidante se evaluaron diferentes

concentraciones de nanopartículas de 500, 400, 300, 200, 100 y 50  $\mu\text{g/mL}$  y para el extracto se utilizó una concentración de 225  $\mu\text{g/mL}$ .

La preparación de la muestra se realizó vertiendo 2.93 mL de la solución ABTS●+ con una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  y 0.07 mL de la suspensión de nanopartículas, se agitó en un vórtex y se dejó en reposo durante 30 min, posteriormente se midió la absorbancia de la solución a una longitud de onda de 734 nm en un espectrofotómetro (JENWAY 6715 UV/Visible, Uruguay). Se utilizó etanol absoluto como blanco. Para la determinación de la actividad antioxidante se aplicó la Ecuación 9.

$$\% \text{ de inhibición antioxidante} = 1 - ((A \text{ muestra} - A \text{ blanco}) / AR) * 100 \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde:

A muestra = Absorbancia de la muestra con el radical

A blanco = Absorbancia de la muestra con etanol

AR = Absorbancia de referencia (el radical con el solvente de la muestra)

Los resultados se expresaron como % de inhibición antioxidante.

### **5.5.9.2 Actividad antioxidante por el método DPPH**

Para la determinación de actividad antirradicalaria se realizó el método DPPH descrito por Brad-Williams (1995) con algunas modificaciones. Se preparó con metanol al 80 % y el radical DPPH● al 0.2 mM, se almacenó durante 24 horas en oscuridad y a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo, se diluyó con metanol al 80 % hasta obtener una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$ . Para determinar la actividad antioxidante se evaluaron diferentes concentraciones de nanopartículas de 500, 400, 300, 200, 100 y 50  $\mu\text{g/mL}$  y para el extracto se utilizó una concentración de 225  $\mu\text{g/mL}$ .

Para la preparación de las muestras se mezclaron 0.07 mL de la muestra y 2.93 mL de la solución DPPH● con una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$ , los tubos se mezclaron perfectamente y se dejó en reposo durante 60 min, transcurrido el tiempo se realizó la lectura de cada muestra a 517 nm en un espectrofotómetro (JENWAY 6715 UV/Visible, Uruguay).

Se utilizó metanol al 80 % como blanco. Para la determinación de la actividad antioxidante se aplicó la siguiente Ecuación 10:

$$\% \text{ de inhibición antioxidante} = 1 - ((A \text{ muestra} - A \text{ blanco}) / AR) * 100 \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

A muestra = Absorbancia de la muestra con el radical

A blanco = Absorbancia de la muestra con etanol

AR = Absorbancia de referencia (el radical con el solvente de la muestra)

Los resultados se expresaron como % de inhibición antioxidante.

### **5.5.10 Análisis sensorial**

La evaluación sensorial del queso se llevó a cabo a través de una prueba afectiva utilizando una escala de 5 puntos (1 = me disgusta mucho; 2 = me disgusta poco; 3 = ni me gusta ni me disgusta; 4 = me gusta poco y 5 = me gusta mucho). Con 126 jueces no entrenados, 72 mujeres y 54 hombres, de 17 a 35 años, siendo alumnos del Instituto de Ciencias Agropecuarias. Los jueces recibieron cuatro muestras de queso panela, 24 horas después de haberse elaborado: una del queso control y tres adicionadas con una suspensión de IONPs-EA 1.1, 2.2 y 4.4 ppm. Las muestras se cortaron en cubos de 1.5x1.5x1.5 cm. Se colocaron en un plato y fueron codificadas aleatoriamente con números de 4 dígitos (Quinde, 2017).

### **5.5.11 Análisis de vida de anaquel**

Para determinar la vida de anaquel del queso panela adicionado con nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.), se realizó con cuatro tratamientos, un control y tres con diferente concentración de nanopartículas (1.1, 2.2

y 4.4 ppm), las cuales se sometieron a temperatura de refrigeración de  $4 \pm 1$  °C. Los parámetros que se evaluaron fueron análisis químico proximal, análisis de perfil de textura (TPA), actividad de agua ( $A_w$ ), color, análisis sensorial, capacidad antioxidante y crecimiento microbiano, se registraron los resultados y fueron valorados al día 1, 3, 5 y 15 de acuerdo a los cambios obtenidos.

### **5.5.12 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente, de los parámetros de cada uno de los quesos, se realizó también un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA), se utilizó la prueba de Tukey para determinar si hay diferencias significativas con una  $P \leq 0.05$ , como analizador de datos se utilizó el programa SAS y para el análisis de los gráficos se determinó por el software SigmaPlot 14.0.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 6.1 Determinación de componentes de la leche por el equipo lactoscan

La composición de la leche aceptable para elaborar queso puede variar con respecto a los estándares de cada región o país, se deben considerar aspectos como la raza del animal, su salud, en general las prácticas ganaderas utilizadas. La leche que se transforma para elaborar un queso panela debe cumplir con ciertos parámetros en términos de contenido de grasa, proteínas, lactosa, sólidos totales y otros componentes, de igual manera se debe de considerar su temperatura, pH y su acidez, ya que estos parámetros determinarán el tipo de queso a elaborar (Villegas de Gante, 2021). En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos sobre la composición de la leche medido por el lactoscan.

**Tabla 4.** Componentes de la leche obtenidas por el equipo lactoscan

Parámetro	Composición de la leche	Lactoscan
Grasa	3.44 %	3.74 %
Proteína	3.47 %	3.34 %
Lactosa	4.1 %	4.94 %
pH	6.6	6.67
Acidez	20-25 °D	21 °D
Densidad	1.02 g/cm <sup>3</sup>	1.06 g/cm <sup>3</sup>

**Fuente:** (NOM-155-SCFI, 2012)

Como se puede observar en la Tabla 4 los resultados obtenidos con el lactoscan los valores coinciden con los estipulados por la NOM-155-SCFI, (2012) los cuales son aceptables para su transformación. Estos parámetros son esenciales para elaborar el queso panela, durante su almacenamiento estos determinarán su calidad y su vida de anaquel ya que la grasa, proteína, lactosa y agua son los principales formadores de la cuajada, quedando retenidas en el entrampado de las caseínas, es decir, que la relación caseína/grasa son dos componentes que determinan la textura del queso (Faya y Cabrera, 2018).

## 6.2 Elaboración del queso panela

Se obtuvieron cuatro quesos panelas de aproximadamente  $1.200 \pm 0.125$  Kg, un control y los otros tres adicionados con 1.1, 2.2, y 4.4 ppm de nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo.

## 6.3 Caracterización del queso

### 6.3.1 Análisis químico proximal

Una vez obtenido el queso y después de estar almacenado por 24 horas, se realizaron lo análisis químico proximal en el laboratorio multidisciplinario, donde se determinó la cantidad de proteína, grasa, humedad y ceniza. Cada experimento se determinó por triplicado. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los parámetros.

**Tabla 5.** Composición proximal de queso panela adicionado con IONPs-EA (%)

Tratamiento	Parámetros			
	Proteína	Grasa	Humedad	Ceniza
Control	$18.07 \pm 0.26^A$	$15.20 \pm 0.36^A$	$68.14 \pm 1.14^A$	$1.42 \pm 0.06^B$
1.1 ppm	$18.37 \pm 0.44^A$	$15.27 \pm 0.25^A$	$68.15 \pm 0.80^A$	$1.46 \pm 0.09^{AB}$
2.2 ppm	$17.98 \pm 0.59^A$	$14.67 \pm 0.29^A$	$68.22 \pm 1.65^A$	$1.57 \pm 0.08^{AB}$
4.4 ppm	$17.95 \pm 0.36^A$	$14.60 \pm 0.36^A$	$68.33 \pm 1.38^A$	$1.62 \pm 0.07^A$

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

#### 6.3.1.1 Proteína

En la Tabla 5 se puede observar que el contenido de proteína no se vio afectada con la adición de nanopartículas, por lo tanto, no existen diferencias significativas con un ( $P \leq 0.05$ ), esto podría deberse a que las IONPs-EA tienen la capacidad de adherirse a las



superficies de las proteínas, debido a sus interacciones electroestáticas entre las cargas de las proteínas y las NPs.

Las nanopartículas de hierro cuentan con cargas eléctricas positivas y negativas al igual que las proteínas, dependiendo en el pH en que se encuentren, cuando las cargas son opuestas estas tienden a atraerse (Kopac, 2021), provocando la adsorción de las IONPs-EA sobre la superficie de las proteínas del queso panela, por tal motivo no existe un aumento o una disminución considerable en el contenido, donde el control tuvo 18.07 % comparado con los tratamientos con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm de IONPs-EA estos presentaron 18.37, 17.98 y 17.95 % de proteína respectivamente.

La NOM-155-SCFI (2012), menciona que un queso panela debe tener un porcentaje de proteína de 17 a 22 %, por lo tanto, el queso panela adicionado con IONPs-EA se encuentra dentro de los parámetros permisibles sin verse alterado el porcentaje de proteína por la adición de nanopartículas.

### **6.3.1.2 Grasa**

La Norma Oficial Mexicana-223-2017 menciona que un queso panela debe contener un porcentaje de grasa que se encuentra entre el 10 y 20 %, los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 5, no se encontraron diferencias significativas con un  $P \leq 0.05$ , teniendo valores de 14.20 a 15.27 % estando dentro de lo permisible en la NOM-223-SCFGI/SAGARPA, (2017). Los tratamientos adicionados con nanopartículas no mostraron de igual manera que la proteína un aumento o una disminución en el contenido de grasa.

Aguilar (2012), elaboró un queso el cual fue adicionado con encapsulados de compuestos antioxidantes en emulsiones, teniendo como resultados en el contenido de grasa valores altos, porque la emulsión contenía aceite, esta se mezcló con la grasa del queso, por tal motivo, se vio reflejado en los resultados. Al contrario del queso adicionado con IONPs-EA, estas no se mezclan con la grasa pero hay una interacción entre ellas, es decir, cuando entran en contacto con la grasa, formando una interfaz con el agua.

### **6.3.1.3 Humedad**

Al determinar el parámetro de humedad este no tuvo diferencias significativas con una  $P \leq 0.05$  entre los tratamientos adicionados con nanopartículas y el control, podría decirse, que el uso de nanopartículas no tiene un efecto sobre la composición del queso como se muestran en la Tabla 5. Las NPs pueden actuar como un retenedor de agua, debido a que por naturaleza son porosas y la capacidad de retener moléculas de agua en su estructura, la cantidad de agua absorbida va a depender de la concentración que se agregue a la matriz alimentaria, por lo tanto, puede mantener al queso fresco y suave por mayor tiempo, sin la pérdida excesiva de suero.

Santillán y Vélez (2019), en su investigación adicionaron nanopartículas y micropartículas a un queso panela, donde observaron que tampoco mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Las nanopartículas no afectaron la humedad de la matriz alimentaria, durante su almacenamiento que fue por un tiempo de 29 días, oscilando su porcentaje de humedad entre los 53 y 56, mientras que el queso adicionado con IONPs-EA mostro valores más altos de 68.14 a 68.33 %, esta diferencia puede deberse a la forma que se adicionaron los metales.

### **6.3.1.4 Ceniza**

Los resultados obtenidos del contenido que se muestran en la Tabla 5, se puede observar que el contenido de ceniza de los tratamientos es estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ), por lo tanto, hay una diferencia significativa entre el queso control y los tratamientos adicionados con IONPs-EA. Esto se debe a que la cantidad de ceniza que se mide, es la cantidad de residuos orgánicos que quedan después de incinerar una muestra completamente, es decir, es la cantidad de minerales como calcio, fósforo, zinc, sales presentes, es este caso, en el queso panela (López, 2010).

La cantidad de ceniza obtenida fue muy baja tanto el control y los tratamientos adicionados con nanopartículas, esto se debe a que los quesos no fueron adicionados con sal, ya que este juega un papel importante en la estructura del queso y en el contenido de minerales contenidos en el queso.

López (2010), evaluó dos quesos donde su porcentaje de ceniza estuvo entre 2.40 y 3.06, elaborado con las condiciones y los aditivos totales, mientras que en este experimento el queso no se le adicionó sal, el queso control con IONPs-EA tuvo un valor de 1.42 %, y los tratamientos con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm tuvieron 1.46, 1.57 y 1.62 % de ceniza total respectivamente, mientras que la norma oficial mexicana especifica que el contenido de ceniza en queso debe tener 1 % como mínimo y 4 % como máximo. Se observa un aumento en la cantidad de ceniza en los tratamientos, por lo tanto, al adicionar mayor cantidad de nanopartículas el contenido de ceniza será mayor.

### 6.3.2 pH

Es uno de los parámetros que puede afectar la textura de los quesos, ya que tienen un efecto directo con la red de proteínas, a pH cercanos al punto isoeléctrico (pI) se forman quesos de pasta dura, típico de los quesos madurados, mientras que pH más alto las proteínas presentan carga negativa, por lo tanto, pueden generar queso con mayor humedad, suaves y más flexibles (Faya y Cabrera, 2018).

**Tabla 6.** pH de los quesos adicionados con IONPs-EA

Tratamiento	Día			
	1	3	5	15
<b>Control</b>	5.83 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	5.85 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	5.82 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	5.92 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
<b>1.1 ppm</b>	5.90 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	5.91 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	5.92 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	5.96 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
<b>2.2 ppm</b>	6.01 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.02 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.02 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.04 ± 0.01 <sup>Aa</sup>
<b>4.4 ppm</b>	6.05 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.03 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.05 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	6.09 ± 0.01 <sup>Aa</sup>

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6, se puede observar que no existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos y los días de almacenamiento del queso, por lo tanto, las IONPs-EA no tienen un efecto positivo ni negativo con la interacción con el queso, debido a que existe una reacción limitada entre el pH y las nanopartículas, por tal motivo, hay una estabilidad en el pH. Los valores obtenidos están entre 5.83 y 6.09, es decir que se encuentra dentro de lo establecido por la NMX-F-092 (1970) de 5 a 6, para quesos tipo 1 o quesos frescos (quesos procesados para rebanar o cortar).

### 6.3.3 Acidez

La acidez juega un papel importante con la elaboración de los quesos, los cuales determinan su textura final, es decir; a valores altos, habrá mayor sinéresis, por lo tanto, mayor repulsión de agua. La NOM-243-SSA1 (2010), especifica que el queso panela debe tener una acidez entre 0.1 % a 0.6 % de ácido láctico, que es igual a valores expresados en grados dornic ( $^{\circ}$ D) que se encuentra entre 15 a 20  $^{\circ}$ D.

**Tabla 7.** Valores de acidez expresados en  $^{\circ}$ Dornic ( $^{\circ}$ D)

Tratamiento	Día			
	1	3	5	15
<b>Control</b>	15.18 $\pm$ 0.38 <sup>Bb</sup>	15.50 $\pm$ 0.60 <sup>Bb</sup>	16.02 $\pm$ 0.50 <sup>Ca</sup>	16.19 $\pm$ 0.04 <sup>Ca</sup>
<b>1.1 ppm</b>	15.60 $\pm$ 0.52 <sup>Bb</sup>	15.33 $\pm$ 0.05 <sup>Bb</sup>	16.46 $\pm$ 0.37 <sup>BCa</sup>	16.71 $\pm$ 0.11 <sup>Ba</sup>
<b>2.2 ppm</b>	15.73 $\pm$ 0.05 <sup>Bc</sup>	15.77 $\pm$ 0.18 <sup>Bc</sup>	16.61 $\pm$ 0.53 <sup>ABb</sup>	16.95 $\pm$ 0.06 <sup>Aa</sup>
<b>4.4 ppm</b>	16.77 $\pm$ 0.17 <sup>Ab</sup>	17.00 $\pm$ 0.01 <sup>Aa</sup>	17.06 $\pm$ 0.04 <sup>Aa</sup>	17.11 $\pm$ 0.04 <sup>Aa</sup>

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la acidez de los quesos panela, observándose que el queso control y los tratamientos adicionados con nanopartículas

tuvieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) y de igual manera con el paso de los 15 días. Se puede observar que, el queso control y los tratamientos con concentraciones de 1.1 y 2.2 ppm de nanopartículas no mostraron diferencias significativas, pero sí, estos tres con el tratamiento con 4.4 ppm de NPs, registrándose valores en aumento, con respecto al paso de los días de igual manera la acidez se vio afectada, en cada uno de los tratamientos, por lo tanto, se puede observar que, este parámetro tuvo un aumento desde el día 1 con una acidez de 15.18 °D hasta 17.11 °D al día 15 encontrándose dentro de los parámetros permisibles por la norma oficial mexicana (La NOM-243-SSA1, 2010). Este aumento en la acidez es normal en la producción de quesos, ya que estos contienen bacterias ácido lácticas las cuales consumen la lactosa y los azúcares presentes y producen ácido láctico, provocando un aumento en la acidez, pero con valores muy alto o muy bajos puede causar cambios en el sabor, color y sobre todo en las características texturales (dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y masticabilidad) (Paredes, 2018).

#### **6.3.4 Actividad de agua ( $A_w$ )**

La actividad de agua es un parámetro que se relaciona con la estabilidad, vida de anaquel, características fisicoquímicas y físicas en un alimento, es decir, es la cantidad de agua que está libre en el alimento y se mide en una escala de 0 a 1, donde 0 representa ausencia de agua y 1 representa agua pura (Ordoñez *et al.*, 1998).

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos de la medición de  $A_w$  de los quesos adicionados con NPs con respecto a los días de almacenamiento (15 días) y entre cada tratamiento, donde se observa que entre el control y los tratamientos con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm de IONPs-EA no se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). Con respecto a los tratamientos con el paso de los días de almacenamiento, el queso control no mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) manteniéndose con valores entre 0.977 a 0.970 %, mientras que los tratamientos adicionados con IONPs-EA al paso de los 15 días tuvieron pérdida de agua, provocado por la sinéresis, donde el tratamiento con 1.1 ppm su  $A_w$  disminuyó de 0.976 a 0.967 %, el tratamiento con 2.2 ppm de 0.976 a 0.965 % y el último tratamiento con 4.4 ppm tuvo una disminución de agua del 0.975 a 0.964 %. Por lo tanto,

estos valores obtenidos se encuentran dentro de lo establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM-243-SSA1, 2010).

**Tabla 8.** Actividad de agua de quesos adicionados con IONPs-EA (%)

Tratamiento	Día			
	1	3	5	15
<b>Control</b>	0.977 ± 0.0015 <sup>Aa</sup>	0.976 ± 0.0015 <sup>Aa</sup>	0.974 ± 0.0039 <sup>Aa</sup>	0.970 ± 0.0013 <sup>Aa</sup>
<b>1.1 ppm</b>	0.976 ± 0.0005 <sup>Aa</sup>	0.973 ± 0.0006 <sup>Aab</sup>	0.972 ± 0.0016 <sup>Aab</sup>	0.967 ± 0.0027 <sup>Ab</sup>
<b>2.2 ppm</b>	0.976 ± 0.0022 <sup>Aa</sup>	0.973 ± 0.0008 <sup>Aa</sup>	0.971 ± 0.0011 <sup>Aab</sup>	0.965 ± 0.0016 <sup>Ab</sup>
<b>4.4 ppm</b>	0.975 ± 0.0014 <sup>Aa</sup>	0.972 ± 0.0038 <sup>Aab</sup>	0.970 ± 0.0017 <sup>Aab</sup>	0.964 ± 0.0004 <sup>Ab</sup>

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Faya y Cabrera, (2018) menciona que al tener valores bajos de  $A_w$  se debe a que las proteínas comienzan a sufrir sinéresis, provocando la expulsión del suero, esto es beneficioso para los quesos que llevan un proceso de maduración, pero el queso panela al ser un alimento fresco queda expuesto al desarrollo de microorganismo. Por tal motivo debe de mantenerse en refrigeración y consumirse en las fechas marcadas por los proveedores.

## 6.4 Análisis de perfil de textura

La textura es un parámetro muy importante en los alimentos, en los quesos se ve reflejado en su dureza, esto va a depender del tipo de queso que se vaya a elaborar (frescos, semi-maduros y maduros). Aguilar (2012), menciona que los cambios de textura en los parámetros del queso comienzan a cambiar justo después de su elaboración, donde se forma una red con las proteínas y dentro de ellas se quedan atrapados los glóbulos de grasa y agua, el cual conforme pasa el tiempo se va liberando, debido a la acción proteolítica de las enzimas residuales.

En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos de los cambios en las propiedades textural entre el queso control y los tratamientos de queso panela adicionados con

nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) y al paso de 15 días de almacenamiento.

Los resultados obtenidos en dureza de acuerdo a Castro, (2014) la definen como la fuerza que se necesita para deformar un alimento, mostrandose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los tratamientos adicionados con NPs a diferencia del control que tuvo el valor mas bajo (1.63 Newton), como se observa que al incrementar la cantidad de nanopartículas el queso es mas duro el cual fue aumentando de 2.10 a 3.97 Newton (N), esto podría deberse a que dentro de la proteína aparte de entrapar grasa y agua tambien se esta reteniendo el metal y provocando una interacción con la estructura proteica haciendo el queso mas firme (Guinee, 2002), otro factor importante es la perdida de humedad (sineresis) (Aguilar, 2012). El cual también se ve mas reflejado con el paso del tiempo, como se observa en el día 15 donde se realizó la segunda medición teniendo valores más elevados que al día 1 que van de 1.77 para el control y de 2.53 hasta 4.04 N para los adicionados con el metal, esto es normal ya que los quesos frescos tienden a liberar el agua retenida.

Estudios realizados por Santillan y Vélez (2019), donde adicionaron nanopartículas y macropartículas de calcio, hierro y zinc a un queso panela en concentraciones mayores, donde sus resultados de queso panela con Nps de hierro fueron mayores ya que estas fueron adicionadas de acuerdo a la ingesta diaria recomendada (miligramos) y las IONPs-EA fueron adicionadas en suspensión en partes por millón (ppm) de concentración, pero mostrando el mismo efecto que a mayor concentración y al paso del tiempo el queso se hace mas duro tambien debido a la sinéresis.

Como se puede observar en los resultados obtenidos en el parámetro de adhesividad al día uno los tratamientos adicionados con IONPs-EA (1.1, 2.2 y 4.4 ppm) mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) con respecto al control, mientras que entre ellos no hubo diferencias, el mismo efecto tuvieron los tratamietnos al paso de los quince días, mientras que en cada tratamiento con respecto al día uno y al día 15 no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ). La adhesividad es el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre el alimento y la superficie entre otros materiales (Castro *et al.*, 2014), es decir, que durante la masticación del queso no se necesitó mucha fuerza para retirar el matetrial que se adhiere al paladar o a los dientes, por lo tanto, al disminiur los valores en

los quesos con nanopartículas es una ventaja positiva, de acuerdo a un estudio realizado por Santillán y Vélez (2019), donde al agregar nanopartículas de hierro al queso son mejores que al adicionar materiales con mayor tamaño, esto se debe a que existe una mayor estabilidad sobre la estructura proteica del queso (Santillán, 2015).

**Tabla 9.** Análisis de Perfil de Textura (TPA) de queso panela

<b>Tratamiento</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 15</b>
<b>Dureza (N)</b>		
<b>Control</b>	1.63 ± 0.44 <sup>Ca</sup>	1.77 ± 0.59 <sup>Da</sup>
<b>1.1 ppm</b>	2.10 ± 0.54 <sup>Cb</sup>	2.53 ± 0.62 <sup>Ca</sup>
<b>2.2 ppm</b>	3.09 ± 0.63 <sup>Ba</sup>	3.19 ± 0.50 <sup>Ba</sup>
<b>4.4 ppm</b>	3.97 ± 0.68 <sup>Aa</sup>	4.04 ± 0.50 <sup>Aa</sup>
<b>Adhesividad (J)</b>		
<b>Control</b>	2.68e-04 ± 8.2e-05 <sup>Aa</sup>	2.46e-04 ± 8.5e-05 <sup>Aa</sup>
<b>1.1 ppm</b>	1.61e-04 ± 9.41e-05 <sup>Ba</sup>	1.54e-04 ± 8.2e-05 <sup>Ba</sup>
<b>2.2 ppm</b>	1.56e-04 ± 5.77e-05 <sup>Ba</sup>	1.47e-04 ± 5.5e-05 <sup>Ba</sup>
<b>4.4 ppm</b>	1.12e-04 ± 1.58e-04 <sup>Ba</sup>	1.17e-04 ± 6.1e-05 <sup>Ba</sup>
<b>Cohesividad (adimensional)</b>		
<b>Control</b>	0.680 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.681 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
<b>1.1 ppm</b>	0.681 ± 0.06 <sup>Aa</sup>	0.681 ± 0.06 <sup>Aa</sup>
<b>2.2 ppm</b>	0.681 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.681 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
<b>4.4 ppm</b>	0.681 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.681 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
<b>Elasticidad (adimensional)</b>		
<b>Control</b>	0.866 ± 0.01 <sup>Aa</sup>	0.854 ± 0.01 <sup>Ab</sup>
<b>1.1 ppm</b>	0.853 ± 0.01 <sup>ABa</sup>	0.849 ± 0.02 <sup>ABb</sup>
<b>2.2 ppm</b>	0.840 ± 0.01 <sup>Ba</sup>	0.835 ± 0.02 <sup>Bb</sup>
<b>4.4 ppm</b>	0.814 ± 0.01 <sup>Ca</sup>	0.806 ± 0.01 <sup>Cb</sup>

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).



Los resultados para cohesividad muestran que, no existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el control y los tratamientos adicionados con NPs y tampoco entre los días uno y quince, esto se debe a que la interacción entre las moléculas que componen al queso se encontraban mas fuertemente unidas (Aguilar, 2012) y otro factor que influye en la adhesividad del queso panela es que es considerado un queso fresco, por lo tanto, no lleva un proceso de maduración no habiendo cambios considerables en la textura (Torres *et al.*, 2015). Osorio (2005), definen el parámetro de cohesividad como el punto límite en el cual un alimento puede deformarse hasta antes de romperse, por lo tanto un queso maduro se rompe o desborona mas facil que un queso panela, debido a su humedad.

La elasticidad en los alimentos es la capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma inicial después de haber recibido una fuerza de impacto (Torres, 2015). En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos de la elasticidad de los quesos panela adicionados con nanopartículas y el control, donse se observa que si existen diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos al dia siguiente de su almacenamiento, por lo tanto, al adicionar mayor concentración de Nps su elasticidad fue menor de 0.866 a 0.814, y al pasar los 15 días esta aún fue más baja de 0.850 a 0.806, viéndose también una disminución considerable al pasar los 15 días de cada tratamiento por ejemplo el control de 8.66 disminuyó su elasticidad a 0.855 y el tratamietno con 4.4 ppm se vio mayormente afectado de 0.814 a 0.806, esto se atribuye a la expulsión del agua que estaba retenida en las proteínas, provocando una deshidratación de las mismas, es decir que al haber menor cantidad de humedad en la red proteíca esta pierde elasticidad, y esta característica es reflejada en los quesos semi-duros y duros (Torres *et al.*, 2015).

## 6.5 Análisis de color

La escala de Hunter permite evaluar los parámetros de color en una muestra, comparadas con un control. Los resultados obtenidos de las mediciones de los valores de L, a, b y diferencia de color ( $\Delta E$ ) se registraron en la Tabla 10.

**Tabla 10** Resultados de los parámetros del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA

Tratamiento	Parámetros						$\Delta E$
	L		a		b		
	Día 1	Día 15	Día 1	Día 15	Día 1	Día 15	
<b>Control</b>	91.37 $\pm$ 0.7 <sup>Aa</sup>	89.34 $\pm$ 0.9 <sup>Ab</sup>	7.29 $\pm$ 0.8 <sup>Ab</sup>	9.37 $\pm$ 0.5 <sup>Aa</sup>	14.10 $\pm$ 0.4 <sup>Aa</sup>	17.23 $\pm$ 0.7 <sup>Ab</sup>	2.13 $\pm$ 0.5 <sup>C</sup>
<b>1.1 ppm</b>	88.64 $\pm$ 0.6 <sup>Ba</sup>	85.78 $\pm$ 0.8 <sup>Bb</sup>	8.66 $\pm$ 0.9 <sup>Bb</sup>	9.89 $\pm$ 0.8 <sup>Aa</sup>	14.25 $\pm$ 0.3 <sup>Ab</sup>	17.80 $\pm$ 0.6 <sup>Aa</sup>	3.85 $\pm$ 0.4 <sup>B</sup>
<b>2.2 ppm</b>	88.51 $\pm$ 0.8 <sup>Ba</sup>	81.24 $\pm$ 0.7 <sup>Cb</sup>	8.78 $\pm$ 0.9 <sup>Bb</sup>	10.26 $\pm$ 0.8 <sup>Ba</sup>	16.52 $\pm$ 0.5 <sup>Bb</sup>	18.98 $\pm$ 0.5 <sup>Ba</sup>	8.54 $\pm$ 0.3 <sup>A</sup>
<b>4.4 ppm</b>	87.98 $\pm$ 0.8 <sup>Ba</sup>	78.64 $\pm$ 0.5 <sup>Db</sup>	8.54 $\pm$ 0.6 <sup>Bb</sup>	10.63 $\pm$ 0.8 <sup>Ba</sup>	17.12 $\pm$ 0.4 <sup>Bb</sup>	19.04 $\pm$ 0.8 <sup>Ba</sup>	8.84 $\pm$ 0.3 <sup>A</sup>

\*Medias de tratamiento con diferente letra mayúscula en la misma columna para cada parámetro L, a y b son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila para cada parámetro L, a y b comparando los días 1 y 15 son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ )

De acuerdo con el análisis de color, se observa que si existieron diferencias significativas con una  $P \leq 0.05$  entre las muestras con nanopartículas y el control, y de igual manera en el tiempo de almacenamiento. Los tratamientos adicionados con IONPs-EA si mostraron diferencias significativas en comparación con el queso control. Esto se debe al color del óxido de hierro que va de un tono rojizo a un marrón, lo que ocasionó una disminución de la luminosidad de 88.64 a 97.98, un aumento en el parámetro a de 8.66 a 8.54 y en el parámetro b de 17.80 a 19.04 al aumentar la concentración de NPs, presentaron el mismo comportamiento estos parámetros en cada uno de los tratamientos en el día 15.

Durante los días de almacenamiento entre el día 1 y el día 15, el queso control tuvo una disminución en la luminosidad (L) de 91.37 a 89.34, b de 18.25 a 17.80 y en el valor de a se presentó un aumento de 7.29 a 9.37. Por otro lado, los tratamientos adicionados con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm de NPs presentaron el mismo comportamiento durante los 15 días de almacenamiento, con una disminución en la luminosidad y un aumento en los parámetros a y b. Esto se debe a que, al adicionar metales a una matriz alimentaria con alto contenido de lípidos, como es el caso del queso panela, se favorece la oxidación de estos. Santillan y Vélez (2019), mostraron resultados similares al adicionar nanopartículas de hierro a un queso panela, mientras que sus tratamientos adicionados con NPs de Ca y Zn, no mostraron estos cambios de color, esto se debe que estos metales son incolores, por lo tanto, no interfieren con la luminosidad del queso, pero en los quesos adicionados con nanopartículas de hierro estas tiene un color café-rojizo, al ser un color intenso, si interfiere con las propiedades del queso.

Con respecto a la diferencia de color ( $\Delta E$ ) si mostraron cambios al aumentar la concentración de nanopartículas, ya que este determina si el color final de una muestra es diferente con una muestra control, el cual puede o no ser perceptible. Los resultados obtenidos son cambios de los parámetros L, a y b, con respecto a los días de almacenamiento (15 días).

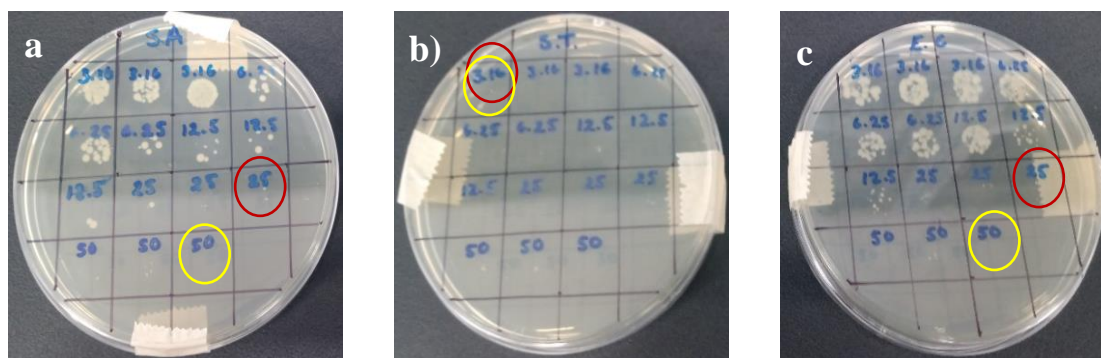
Con respecto al análisis del cambio final de color durante los 15 días de almacenamiento, todos los tratamientos mostraron cambios significativos ( $P \leq 0.05$ ). Donde el queso control tuvo un valor de 2.13, el tratamiento con 1.1 ppm con 3.85, pero los cambios más significativos se observaron en los tratamientos con concentraciones de 2.2 y 4.4 ppm

de NPs con valores de 8.54 y 8.84 respectivamente, esto quiere decir que los quesos ya comenzaban a tomar una coloración la cual ya se puede apreciar. Ramírez (2010), menciona que  $\Delta E$  proporciona un valor numérico para expresar el color perceptible por el ojo humano, donde valores menores a cinco las muestras no tiene cambios en el color, por lo tanto, en esta investigación los tratamientos con 2.2 y 4.4 ppm de NPs los valores están por arriba de cinco, ya notándose ligeramente el color de cada queso. Como ya se ha mencionado, esto se debe al color del metal agregado, ya que las IONPs-EA al ser de hierro, con el paso del tiempo tiende a reaccionar con la grasa, oxidándola, provocando otros cambios bioquímicos en el queso panela (Ramírez y Vélez, 2012).

## 6.6 Análisis microbiológico

Para determinar la actividad antimicrobiana de este experimento se le realizó al extracto hidroalcohólico de ajo y a las nanopartículas ya funcionalizadas, donde se determinó la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB).

En Tabla 11 se registraron los resultados obtenidos sobre la actividad inhibitoria y bactericida del extracto de ajo sobre las bacterias trabajadas. Su actividad con respecto a CMI y la CMB varía según el tipo de bacteria (Figura 12). *Salmonella enterica* Typhimurium fue la bacteria que tuvo menor resistencia al extracto, utilizando una concentración de 3.12  $\mu\text{g}/\text{mL}$  para matar e inhibir la bacteria.



**Figura 11** Concentración Mínima Inhibitoria (círculo rojo) y Concentración Mínima Bactericida (círculo amarillo) del extracto hidroalcohólico de ajo. a) *Staphylococcus aureus*, b) *Salmonella typhi* y c) *Escherichia coli*.

Para las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* no mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), encontrándose que la concentración mínima para inhibir el crecimiento de estas dos bacterias se necesitó una concentración de 25  $\mu\text{g/mL}$ , mientras que para matar las bacterias (CMB) se necesitó el doble de la concentración (50  $\mu\text{g/mL}$ ), siendo más resistentes al extracto hidroalcohólico de ajo.

Las diferencias observadas entre las concentraciones utilizadas en las bacterias, se debe, a que la alicina obtenida del extracto al ser un compuesto orgánico tiene la capacidad de atravesar la pared celular de las bacterias debido a su solubilidad en presencia de lípidos y por el solvente hidroalcohólico (Caycedo *et al.*, 2020).

**Tabla 11.** Concentración Mínima Inhibitoria y Concentración Mínima Bactericida del extracto hidroalcohólico del extracto hidroalcohólico de ajo y de las nanopartículas funcionalizadas (IONPs-EA) ( $\mu\text{g/mL}$ )

Bacteria	Extracto de ajo		IONPs- EA	
	CMI	CMB	CMI	CMB
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8783	25 <sup>A</sup>	50 <sup>A</sup>	-	-
<i>Salmonella entérica</i> Typhimurium	3.12 <sup>B</sup>	3.12 <sup>B</sup>	-	-
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29740	25 <sup>A</sup>	50 <sup>A</sup>	-	-

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

En bacterias gram positivas como *Staphylococcus aureus*, que tienen menos lípidos en su pared celular, la penetración del principio activo es más rápida, Esto permite que una mayor cantidad del principio activo del extracto llegue a la membrana celular, donde puede inactivar moléculas para inhibir el crecimiento e incluso matarlas, pero el resultado obtenido muestra que es más resistente a la alicina, esto puede deberse a que algunas cepas de *S. aureus* protegen su membrana celular produciendo factores de virulencia que van a favorecer la resistencia a la lisis (Caycedo *et al.*, 2020).

En la bacteria gram negativa *Escherichia coli*, También es posible que el producto interactúe con enzimas periplásmicas, disminuyendo la concentración del principio activo (alicina) que llega al citoplasma (Llontop, 2022), por lo tanto, tener mayor resistencia al extracto, pero el aumentar la concentración puede influir a la muerte de la cepa.

Esto de igual manera va a depender de la estructura y la sensibilidad de las bacterias a diferentes compuestos orgánicos o a antibióticos que los hacen más sensibles, como el resultado obtenido de la *Salmonella entérica* Typhimurium en esta investigación que aun siendo una gram negativa es más sensible a la alicina.

Actualmente existe una gran variedad de investigaciones que demuestran la actividad antimicrobiana del ajo (*Allium sativum* L.), donde se han utilizado diferentes extractos (hidroalcohólico, acuoso, oleoso, etc.), en polvo y en el ajo triturado.

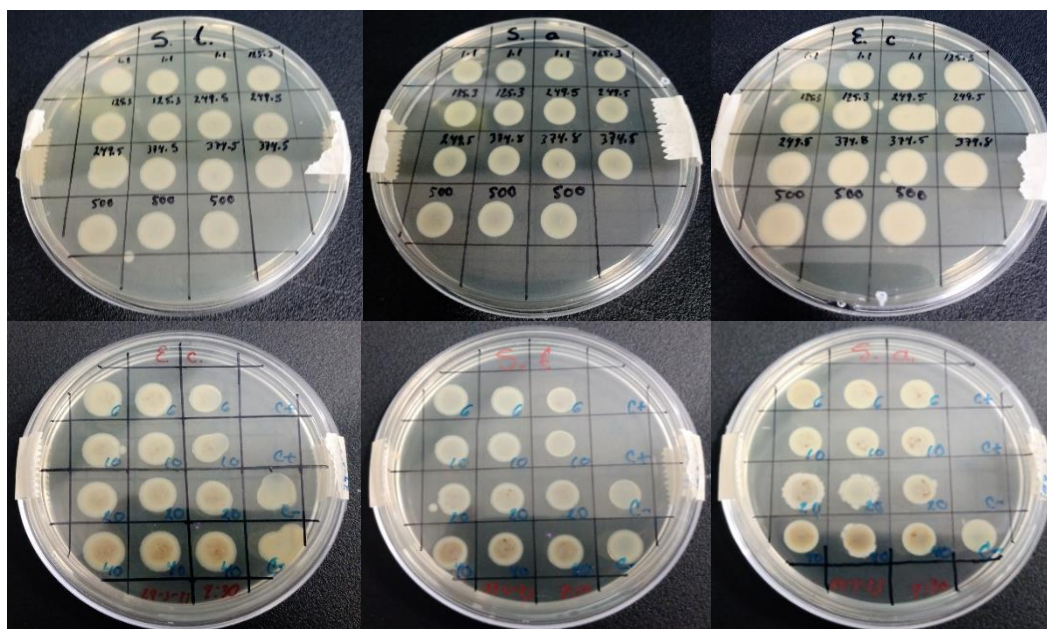
Domingo y López (2003), reportaron que al utilizar un extracto oleoso de ajo, necesitaron una concentración mínima inhibitoria de 0.17 mg/L para *Escherichia coli* y para *Salmonellan* 5.5 mg/L. tambien utilizaron ajo en polvo donde necesitando concentraciones de 25 mg/L para ambas bacterias.

Yaguana (2015), realizó un extrato acuoso de *Allium sativum* L., por medio de halos de inhibición determinó las concentraciones para inhibir bacterias, evaluando concentración y temperaturas , encontró que, para inhibir *Staphylococcus aureus* y *Salmonella* se necesitan 250 mg/mL y para *Escherichia coli* 100 mg/mL a una temperatura de 35 °C ya que al aumentar la temperatura se necesitan mayores cocnentraciones del extracto.

Pereda (2020), evaluó el efecto antibacteriano de cultivos de *Escherichia coli* con un extracto hidroalcoholico de ajo, por medio de halos de inhibición, teniendo un diametro promedio de 21.6 mm de inhibición del crecimeitno de esta bacteria, con el extracto a una concentración del 75%.

Con respecto a la concentración mínima inhibitoria y bactericida de las IONPs-EA se observa en la Tabla 11 que estas no poseen actividad antimicrobiana, el experimento se realizó dos veces para confirmar su actividad aumentando las concentraciones utilizadas (Figura 13), concluyendo que las nanopartículas funcionalizadas no poseen actividad sobre las bacterias *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi* y *Escherichia coli*.

Para que las nanopartículas cumplan con sus actividades biológicas deben de considerarse distintos factores, por ejemplo: Tipo de síntesis (química o verde), tamaño de partícula, carga superficial, morfología, estructura y su solubilidad, también se puede considerar su funcionalización (principio activo que irá adsorbido en la superficie de la Nanopartícula) (Martínez, 2019).



**Figura 12** Concentración Mínima Inhibitoria y Concentración Mínima Bactericida de las IONPs-EA. Primer experimento: a1) *Staphylococcus aureus*. b1) *Salmonella typhi* y c1) *Escherichia coli*. Segundo experimento: a2) *Staphylococcus aureus*. b2) *Salmonella typhi* y c2) *Escherichia coli*

Existen pocos artículos que reportan el efecto antimicrobiano de las nanopartículas de óxido de hierro, obtenidas con diferentes metodologías.

Muñoz (2023), reporta que las nanopartículas de óxido de hierro con *Annona Muricata*, en un ensayo de difusión en disco no se presentó inhibición en ninguno de sus tratamientos frente a bacterias gram negativas (*Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) y gram positivas (*Enterococcus casseliflavus* y *Staphylococcus aureus*), por lo tanto, esto va a depender de la concentración y el tamaño de las partículas obtenidas. Estas en lugar de inhibir el crecimiento pueden provocar el desarrollo de las bacterias de acuerdo a lo publicado por Borchering *et al.* (2014).

Tran *et al.*, (2022), reportaron la inhibición de *Staphylococcus aureus* con nanopartículas de óxido de hierro recubiertas con alcohol polivinílico, los cultivos los realizaron en placas de 96 pocillos con concentraciones de 3 mg/mL, 30 mg/mL, 300 mg/mL, esto era para evitar que las nanopartículas se aglomerasen. Teniendo mayor efecto de inhibición en concentraciones más altas.

Armijo *et al.*, (2020), reportaron que el uso de nanopartículas de hierro para la inhibición de bacterias va a diferir entre el tipo de cepa, de igual manera dependerá del tipo de funcionalización de la Np, es decir, cual será el recubrimiento para tener una mejor efectividad. Por lo tanto, estos son unos parámetros que se pueden considerar. En su investigación utilizaron Np de óxido de hierro solas, con recubrimiento de alginato y con tobramicina hacia la bacteria *Pseudomonas aeruginosa*, los resultados demostraron que las Nps solas hubo una inhibición en concentraciones bajas, mientras que las Np con alginato la inhibición fue muy baja y con las Np con tobramicina no hubo inhibición.

En el año 2020, Flores Ramírez, reportó la inhibición de la bacteria *Salmonella typhi* ante nanopartículas de magnetita (NPM) y nanopartículas de magnetita modificadas con quitosano (NPM/Qts) mediante método electroquímico, para el efecto inhibitorio de la cepa comprobaron que utilizando NPM se necesitan concentraciones por arriba de 1.50 mg/mL, mientras que en la NPM/Qts observaron mayor inhibición a partir de concentraciones 0.9 mg/mL, esto se lo atribuyeron a la producción de ROS al depender de la reacción del peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con los compuestos férricos de la magnetita.

## **6.7 Capacidad antioxidante**

### **6.7.1 Capacidad antioxidante del extracto de ajo por los métodos ABTS y DPPH**

En los resultados obtenidos para la determinación de la capacidad antioxidante del extracto de ajo a una concentración de 225 ppm mediante el ensayo con ABTS, se encontró una inhibición del 37 % de este radical, lo que indica una capacidad para reducir la actividad antioxidante. Por otro lado, en el ensayo con DPPH, se observó una inhibición del 49 % con la misma concentración del extracto de ajo (225 ppm), lo que sugiere una mayor capacidad



antioxidante en comparación con el ensayo de ABTS. Las diferencias obtenidas entre ambos radicales es que el DPPH es más sensible y responde a una amplia variedad de antioxidantes, mientras que ABTS su reacción es más compleja y depende del tiempo y las condiciones de acuerdo a lo mencionado por Muro *et al.*, (2011). Estos porcentajes de inhibición reflejan la eficacia del extracto de ajo en la neutralización de los radicales libres. Freire y Rodríguez (2022), obtuvieron porcentajes de inhibición por el método ABTS de extracto acuoso, metanólico y de ajo hervido de 25.90, 14.10 y 54.70 % respectivamente a una concentración de 40 mg/mL. La actividad antioxidante del ajo de acuerdo a Arzate (2021), se debe a que contiene selenio y aminoácidos como cisteína, glutamina, isoleucina y metionina, de igual manera contiene compuestos organosulfurados (aliina, ajoeno, tiosulfatos, alil mercaptano, alicina entre otros), los cuales se encargan de inhibir la formación de radicales libres, siendo la alicina el principal componente antioxidante ya que reacciona con las enzimas que poseen grupos tiol libres, inhibiendo la producción de superóxidos, debido a que se encarga de atrapar los radicales libres. La eficacia de los extractos de ajo sobre algunas enfermedades crónicas como la diabetes, hipertensión, cáncer, por mencionar algunas, puede variar y está influenciada por varios factores como su composición química, la dosis, la forma de administración, la preparación, el procesamiento y la manera de extraer sus compuestos (Alcaraz *et al.*, 2023).

### **6.7.2 Capacidad antioxidante de las IONPs-EA por los métodos ABTS Y DPPH**

Las nanopartículas funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) presentaron una actividad antioxidante del 39.95 % a una concentración de 50 ppm por el método ABTS, mientras que otros autores como Khan *et al.* (2023), obtuvieron un porcentaje del 38.12 a una concentración de 68 µg/mL utilizando un extracto de *Tavernier glabra* con nanopartículas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Merelign *et al.*, (2021) utilizaron *Curcuma longa* en formulaciones con nanopartículas de óxido metálicas (hierro, zinc y titanio) donde las nanopartículas de óxido de hierro presentaron un porcentaje de inhibición del 65 % a una concentración de 100 µg/mL. Para el método DPPH se obtuvo como resultado en las IONPs-EA un porcentaje de 15.7 % a una concentración de 50 ppm. Khalil *et al.* (2017), presentaron

una actividad antioxidante de sus nanopartículas del 54.08 % a una concentración de 200  $\mu\text{g/mL}$ , de igual manera Khan *et al.*, (2023) obtuvieron porcentajes del 32 % a concentraciones de 68  $\mu\text{g/mL}$  utilizando un extracto de *Tavernier glabra*. Estas diferencias entre los autores y los resultados obtenidos sobre el efecto de la actividad antioxidante para las nanopartículas van a depender desde el tipo de síntesis, extracto que se utilice, compuestos orgánicos, tamaño, forma, área superficial, concentración a utilizar, entre muchos otros factores que van a determinar el porcentaje de inhibición de los radicales libres (Sampath *et al.*, 2022 y Mei Ge *et al.*, 2022).

### 6.7.3 Capacidad antioxidante de los quesos adicionados con IONPs-EA por los métodos ABTS Y DPPH

Los resultados obtenidos sobre el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH en las muestras de queso control y adicionados con 1.1, 2.2 y 4.4 ppm de IONPs-EA se registraron en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Resultados de la capacidad antioxidante del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA

Tratamiento	Método (% de inhibición)	
	ABTS	DPPH
Control	12.52 $\pm$ 0.019 <sup>B</sup>	43.01 $\pm$ 0.01 <sup>C</sup>
1.1 ppm	15.71 $\pm$ 0.002 <sup>AB</sup>	43.25 $\pm$ 0.02 <sup>C</sup>
2.2 ppm	16.10 $\pm$ 0.003 <sup>AB</sup>	52.30 $\pm$ 0.01 <sup>B</sup>
4.4 ppm	16.86 $\pm$ 0.001 <sup>A</sup>	60.29 $\pm$ 0.03 <sup>A</sup>

\* Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos para el método ABTS no mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos adicionados con IONPs-EA (1.1, 2.2 y 4.4 ppm) y a su vez el control con los tratamientos con 1.1 y 2.2 ppm no hubo

diferencias, pero entre el queso control y el queso adicionado con 4.4 ppm IONPs-EA si hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). A medida que al aumentar la concentración de NPs, se observa un incremento promedio de 16.86 % a comparación del queso control sin nanopartículas que tuvo un porcentaje de inhibición promedio de 12.52 %.

Con respecto al método de DPPH se observaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ), es decir, que al aumentar la concentración de IONPs-EA (1.1, 2.2 y 4.4 ppm) el porcentaje de inhibición promedio aumentó de 43.25 a 60.29 % con respecto al queso control que registró un porcentaje promedio de 43.01 %. Las diferencias en los valores de porcentaje de inhibición entre ABTS y DPPH son comunes debido a las variaciones en la sensibilidad y el mecanismo de acción de estos métodos (Avello y Suwalsky, 2016 y Carbajal *et al.*, 2020).

Un estudio realizado por Bueno (2021), observó que la interacción entre las proteínas y otros componentes del queso, como los lípidos, pueden influir en la actividad antioxidante del queso, obteniendo valores de ABTS y DPPH de 27.31 y 43.77 % respectivamente, valores similares al queso control sin nanopartículas de esta investigación, también Torres *et al.* (2023), en un queso añejo con el tiempo de almacenamiento de tres meses obtuvo un porcentaje de inhibición del 13.15 % aumentando a 19.92 % por el método DPPH, por otro lado, Villafaña *et al.* (2020), elaboró dos quesos panela uno con leche de vaca y el otro con leche de cabra, teniendo un porcentaje de inhibición de 24.016 y 79.710 % respectivamente. Según Carbajal *et al.* (2020), determinaron en seis muestras de quesos frescos (asadero) porcentajes de inhibición de 45.57 hasta 85.14 % por el método DPPH. Por lo tanto, la actividad antioxidante entre los quesos va a depender del contenido en su composición (en su mayoría péptidos derivados de las caseínas), en el proceso de elaboración, tiempo de almacenamiento o de maduración y sobre todo el tipo de queso (Carbajal *et al.*, 2020 y Torres *et al.*, 2023).

Por lo tanto, estos resultados publicados por los distintos autores y los resultados obtenidos son importantes para observar cómo las IONPs-EA pueden contribuir a la reducción de radicales libres y, por lo tanto, a la protección contra el estrés oxidativo. Como se observa que al aumentar la cantidad de nanopartículas la actividad antioxidante va aumentando, eso quiere decir que son una buena opción para reducir los radicales libres y de esta manera proteger a las células del estrés oxidativo (Avello y Suwalsky, 2016).

## 6.7 Análisis sensorial

Un alimento durante su almacenamiento cambia sus propiedades, los cuales determinan su calidad. Para determinar la aceptación sensorial de los quesos adicionados con IONPs-EA y del queso control, se realizó por medio de una prueba hedónica de 5 puntos, con 126 panelistas no entrenados.

Los resultados obtenidos se registraron en la Tabla 13, donde, se puede observar que no existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), entre el queso control y los quesos adicionados con nanopartículas, eso quiere decir que, los panelistas no lograron percibir alguna diferencia (sabor, olor o color), Y de igual manera se obtuvo el mismo comportamiento entre los días, no observándose diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre el día uno y el día quince. La única característica identificada fue, que le hacía falta sal y eso se debe a que los quesos elaborados no se les adicionó este aditivo, el motivo fue que no se quería que la sal tuviera alguna influencia sobre las nanopartículas.

**Tabla 13.** Resultados obtenidos del análisis sensorial del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA

Tratamientos	Resultados	
	Día 1	Día 15
<b>Control</b>	$3.4127 \pm 0.943^{Aa}$	$3.4603 \pm 0.943^{Aa}$
<b>1.1 ppm</b>	$3.3651 \pm 0.957^{Aa}$	$3.4127 \pm 0.957^{Aa}$
<b>2.2 ppm</b>	$3.2937 \pm 0.991^{Aa}$	$3.3571 \pm 0.991^{Aa}$
<b>4.4 ppm</b>	$3.4683 \pm 0.945^{Aa}$	$3.3254 \pm 0.945^{Aa}$

\*Medias con diferente letra mayúscula en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) y medias con diferente letra minúscula en la misma fila son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados obtenidos en esta investigación difieren con los de Santillán y Vélez (2019), porque sus quesos fueron adicionados con nanopartículas y micropartículas de Ca, Zn y Fe, donde los quesos enriquecidos con Fe tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), ya que, estos tomaron un color rosado y no fueron atractivos para los jueces, obteniendo los puntajes más bajos en la escala hedónica, esto se debe a la forma en que se adicionaron sus nanopartículas.

Nazzaro *et al.* (2012), ha reportado que, para que un alimento no se vea alterado en sus propiedades sensoriales, como el color y sabor, y es adicionado con algún metal, recomienda que las partículas entre más pequeñas sean, la identificación de sabores y olores puede ser imperceptible. Mendoza (2018), agregó hierro microencapsulado a unas gomitas, donde observó que el tamaño determinaba el resabio del hierro en el alimento.

## CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo el propósito de evaluar el efecto que tendría un queso panela al adicionar nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo (*Allium sativum* L.) sobre los cambios que podría tener. Se le realizaron diferentes análisis concluyendo que unos si provocan cambios y otros se mantienen estables. La leche obtenida de PROUNILAC cuenta con las características esenciales para la elaboración de un queso, encontrándose parámetros permitidos por las normas, en cuestión de grasa, proteína, acidez y pH, factores que determinan el producto final. Los quesos adicionados con IONPs-EA no mostraron diferencias significativas en el análisis químico proximal, es decir que proteína, grasa, humedad no se vieron afectadas por las nanopartículas, pero sí se mostró un aumento en los resultados de ceniza, esto se debe a que las nanopartículas al ser un mineral se ven reflejados en este porcentaje, pero sin afectar otros parámetros como el pH, ya que este se mantuvo estable con el incremento en las concentraciones (1.1, 2.2 y 4.4 ppm), mientras que la acidez aumentó con el paso de los días de almacenamiento, debido a la producción de ácido láctico de las bacterias propias del queso. Por lo tanto, la actividad de agua no mostró cambios significativos con la adición de NPs y tampoco en los 15 días de almacenamiento. Con respecto a las propiedades texturales, se observó mayor dureza a mayor cantidad de IONPs-EA, pero disminuyendo su adhesividad y la elasticidad, pero sin verse afectada la cohesividad. En el análisis de color se observó el mismo comportamiento entre los tratamientos al adicionar las IONPs-EA y con el paso de los 15 días, donde se registró una disminución en el parámetro de L, provocando una disminución en el brillo o luminosidad del queso mientras que los valores de a aumentaron acercándose a una tendencia de color rojo esto debido a la adición de las NPs y b de igual manera aumentó este parámetro, por lo tanto, con estos valores obtenidos de L, a y b la diferencia de color ( $\Delta E$ ) mostró cambios significativos entre los tratamientos, al aumentar la concentración de nanopartículas, donde se determinó que la adición de las NPs si tienen un efecto en el color, teniendo valores por arriba de cinco, los cuales ya pueden ser perceptibles por el ojo humano. Con respecto a la actividad antimicrobiana, se observó que el extracto de ajo si tiene actividad inhibitoria para *Salmonella typhi* con una concentración de 3.12  $\mu\text{g/mL}$  necesitándose la misma concentración para la actividad bactericida, mientras que para *Staphylococcus aureus* y

*Escherichia coli* se necesitó una concentración de 25 µg/mL para ambas bacterias y para la actividad bactericida se necesita el doble de extracto (50 µg/mL) para matar las bacterias. La capacidad antioxidante en los quesos para el método ABTS mostraron una mayor inhibición a una concentración de 4.4 ppm, mientras que el radical DPPH al aumentar la concentración fue aumentando la actividad antioxidante. Por otro lado, la parte sensorial los quesos presentaron buenos resultados por los panelistas ya que no se observaron diferencias significativas con la adición de las nanopartículas y tampoco con el paso de los días. En general es necesario realizar más análisis para poder entender el mecanismo de interacción entre las nanopartículas y los constituyentes de la leche que dan como resultado una modificación en el queso panela.

## RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios para determinar la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de óxido de hierro funcionalizadas con extracto de ajo.
- Realizar una microscopía electrónica de barrido para examinar la estructura del queso y buscar la presencia de nanopartículas de óxido de hierro.
- Realizar de igual manera una microscopía electrónica de barrido al suero para determinar la presencia de IONPs-EA.
- Realizar un estudio para cuantificar la cantidad de nanopartículas atrapadas en el queso panela y la cantidad que se ha ido en el suero.



# REFERENCIAS

- Aguilar, C. (2018). *Fundamentos teóricos y prácticos de Microbiología de Alimentos*. Coahuila: DIA-UAdeC.
- Aguilar, G. M. (2012). *Protección de un compuesto antioxidante mediante su encapsulación y su aplicación en queso*. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo.
- Aguilar, U. (2018). *Aumento de vida de anaquel del queso panela en la empresa Lácteos del Potrero S. de R.L. MI*. Informe Técnico, Tecnológico Nacional de México, Tuxtla Gutierrez.
- Albert, F., Aleixos, N., Cubero, S., Bataller, C., Munera, S., & Blasco, J. (2016). AU06 - Análisis de algunas características externas de los alimentos mediante análisis de imágenes utilizando Food- ColorInspector. *ReDivia*, 1039-1045.
- Alcaraz, É., Mallo, A., & Nitiu, D. (2023). Bibliographic review of *Allium sativum* (Amaryllidaceae) as an important inhibitor of microbial and fungal development. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 58 (3); 389-398.
- Alvino, J., & Brioso, W. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL DE MUÑA (Minthostachys mollis) Y SU APLICACIÓN PARA ALARGAR LA VIDA ÚTIL DEL QUESO FRESCO*. Perú: UNHEVAL.
- AOAC. (2016). *Official Methods os Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. USA: ROCKVILLE.
- Arias, A., Sgroppo, S., & Ojeda, G. (2019). Nanotechnology and its applications in food. *Mundo nano*, 1-14.
- Armijo, L., Wawrzyniec, S. J., Kopciuch, M., Brandt, E. I., Rivera, A. C., Cruz, N. J., . . . Osinski, M. (2020). Antibacterial activity of iron oxide, iron nitride, and tobramycin conjugated nanoparticles against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Journal of Nanobiotechnology*, 1-27.

- Arzate, H. (2021). *EVALUACIÓN DEL EXTRACTO DE AJO SOBRE PARÁMETROS PRODUCTIVOS, INMUNOLÓGICOS Y LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO*. Tesis, UNAM, México.
- Assa, F., Jafarizadeh, H., Ajamein, H., Anarjan, N., Vaghari, H., Sayyar, Z., & Berenjian, A. (2016). Una perspectiva biotecnológica sobre la aplicación de nanopartículas de óxido de hierro. *Nano Res*, 20203-2225.
- Ávalos, A., Haza, A., & Morales, P. (2016). Nanotechnology in the food industry I: applications. *Complutense de Ciencia Veterinarias*, 1-17.
- Ávalos, A., Haza, A., & Morales, P. (2016). Nanotechnology in the food industry: applications. *Complutense de ciencias veterinarias*, 10(2); 1-17.
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2016). Radicales libres, Antioxidantes y mecanismo de protección. *Atenea*, 161-172.
- Azuero, A., Jaramillo, C., San Martín, D., & D'Armas, H. (2016). Analysis of antimicrobial effect of twelve medicinal plants of ancient use in Ecuador. *Ciencia UNEMI*, 11-18.
- Baduí, S. (2019). La conservación de los alimentos: una milenaria tradición para garantizar la seguridad alimentaria. En C. Delgadillo, M. Díaz, & J. Ledesma, *EL PAPEL DE LOS ALIMENTOS ENLATADOS EN LA SALUD* (págs. 13-28). México.
- Bajarano Rincón, E. V. (2021). *Queso Tipo Manchego con fresa con actividad antioxidante y enriquecido con vitamina D dirigido al público infantil*. Tesis, Universidad Autónoma de Queretaro, Facultad de Ingeniería, Queretaro.
- Barrera, G. (2015). *Anatomía de la Glándula Mamaria*. Argentina: BM.
- Bello, J., Lizeldi, B., González, E., Manzo, A., Quiñones, E., Nochebuena, X., & Vázquez, C. (2004). Productos Lácteos: La Ruta de la Metamorfosis. *Revista digital universitaria*.
- Berekaa, M. (2015). Nanotechnology in Food Industry; Advances in Food processing, Packaging and Food Safety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 345-357.

- Borcherding, J., Baltrusaitis, J., Chen, H., Stebounova, L., Ming Wu, C., Rubasinghege, G., . . . Comellas, A. (2014). Las nanopartículas de óxido de hierro inducen el crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa*, inducen la formación de biopelículas e inhiben la función del péptido antimicrobiano. *PubMed*, 1 (2): 123-132. doi:doi: 10.1039/C3EN00029J
- Borja, J., & Rojas, B. (2020). Nanomaterials: Synthesis Methods. *Revista Polo del comocimiento*, 426-445.
- Bueno, T. (2021). *Valorización del suero de queso "ranchero" mediante la producción de una bebida fermentada con gránulos de kéfir*. Tesis, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México.
- cadnaser.com. (25 de 09 de 2023). *SER PROGRAMAS Y PODCAST*. Obtenido de [https://cadnaser.com/ser/2011/05/31/sociedad/1306808010\\_850215.html](https://cadnaser.com/ser/2011/05/31/sociedad/1306808010_850215.html)
- Carbajal, D., Rojas, S., & Rodríguez, G. (2020). Evaluación de la actividad antioxidante en quesos asaderos de marcas comerciales de Guanajuato. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 332-334.
- Caro, F., López, L., Lizardi, J., Arguelles, W., Goycoolea, F., Carvajal, E., & López, Y. (2019). Preparation methods of chitosan nanoparticles: a review. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(3): 13-25.
- Carrera, H. (2016). *Evaluación del extracto etanólico de propóleo como conservante en queso cabaña*. Tesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Carretero, P., Díaz, M., Domínguez, M., & Huaquino, J. (2014). *Tecnología de Lácteos y Bebidas*. Villareal.
- Carrillo, M., & Mondragón, F. (2011). Estudio de vida útil del queso asadero. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, 12(3).
- Carvajal, C. (2019). REACTIVE OXYGEN SPECIES: TRAINING, FUNCTION AND OXIDATIVE STRESS. *REVISTA MEDICINA LEGAL DE COSTA RICA*, 36(1): 91-100.

- Castro, A. N. (2014). Reología y textura en quesos bajos en grasa. *Revista Especializada de Ciencia y Tecnología*, 21, 58-66.
- Catania, C., & Avagnina, S. (2007). El análisis sensorial. España: INTA.
- Cavaleri, S., Harbeck, R., MacCarter, Y., Ortez, J., Rankin, I., Sautter, R., . . . Spiegel, C. (2005). *Manual de pruebas de susceptibilidad antimicrobiana*. Manual, Seattle.
- Caycedo, L., Corrales, L., & Trujillo, D. (2020). Bacteria, nutrition and growth: a look from chemistry. *Cundinamarca*, 49-94.
- Chañi, A. (2023). *Utilización de los cuajos naturales para la elaboración de queso fresco en el distrito de Kunturkanki – Canas*. Tesis, Universidad Tecnológica de los Andes, Peru.
- Chavarría, C., & Payajo, L. (2021). *Revisión sistemática sobre el uso de nanopartículas de óxido de hierro en el tratamiento de aguas contaminadas con plomo y mercurio*. Tesis, Universidad César Vallejo, Perú.
- CODEX. (2018). *Definiciones de Leche y Queso*. Chile.
- Cruz, R., Reséndiz, V., Landa, P., Jiménez, J., Díaz, M., Miranda, G., & García, J. (2017). Nanotechnology in the food industry: nanoparticles used in meat conservation. *Agroproductividad*, 10(10); 39-46.
- Del Rio, M. (2014). *Aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro a la eliminación de mercurio del agua*. España: Departamento de Química.
- Díaz, L., & Jimenez, K. (2016). Validation of a Method of Extraction of Allicin in Garlic and its Quantification by HPLC. *ResearchGate*, 1-6.
- Domingo, D., & López, M. (2003). Plantas con acción antimicrobiana. *QUIMIOTERAP*, VOL.16 (No. 4): 385-393.
- Durán, E., Villalobos, C., Churio, O., Pizarro, F., & Valenzuela, C. (2017). Iron encapsulation: Another strategy for the prevention or treatment of iron deficiency anemia. *Revista Chilena de Nutrición*, 234-243.
- Escobaro, A., Pizzio, L., & Romanelli, G. (2019). Magnetic catalysts based on Iron Oxides: Synthesis, Properties and Applications. *Ciencia en Desarrollo*, 79- 101.

- Faya , J., & Cabrera, M. (2018). *Evaluación de las características Fisicoquímicas y Sensoriales del Queso Fresco Elaborado con Diferentes Concentraciones de Cuajo de Cuy (Cavia porcellus)*. Tesis, Lambayeque, Perú.
- Fennema, O. (2000). *Química de los Alimentos*. España: ACRIBIA.
- Florencia , M. (2011). *ESTUDIO DE PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN INDUSTRIAL DE AJO CON LA FINALIDAD DE PRESERVAR ALICINA COMO PRINCIPIO BIOACTIVO*. Argentina.
- Florentino López, O. C. (2021). *Microorganismos como Agentes de Deterioro en los Alimentos. Perulactea*.
- Flores Ramírez, A. Y. (2020). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPÓSITO CON BASE EN NANOPARTÍCULAS DE MAGNETITA OBTENIDAS VÍA ELECTROQUÍMICA, MODIFICADAS CON QUITOSANO, PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA*. TESIS, TECNM, Tepic-Nayarit.
- Foroutan, M., Hazrati, K., & Khademvatan, S. (2017). Antileishmanial and Immunomodulatory Activity of *Allium sativum* (Garlic): A Review. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 22(1): 141-155.
- Freire, E., & Rodríguez, D. (2022). *ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE IN VITRO DEL EXTRACTO ACUOSO DEL BULBO DE AJO (Allium sativum)*. Tesis, Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Gabrielyan, L., Hakobyan, L., Hovhannisyan, A., & Trchounian, A. (2018). Effects of iron oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles on *Escherichia coli* strains resistant to antibiotics. *Microbiología aplicada*, 1108-1116.
- García, B. (2006). *Caracterización físico-química de diversos tipos de quesos elaborados en el Valle de Tulancingo Hidalgo con el fin de proponer normas de calidad*. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo.
- García, T. (2020). Nanomateriales reactivos (nanocatalizadores). *Ciencia y Tecnologías Químicas*, 28-33.

- Garzón , J. (2018). *Uso del ajo del ajo y/o compuestos activos como agente antimicrobiano en la industria de alimentos* . Facatativá.
- Gómez, D. (2019). NANOTECHNOLGY IN THE FOOD INSDUSTRY. *Revista SENNOVA*, 4 (1), 34-43.
- Gómez, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27 829: 75-80.
- González, A. (2011). *Análisis fisicoquímico de: Queso Asadero, Queso Panela, y Queso Doble Crema, en la empresa Lácteos de Chiapas S.A. de C.V.* Tesis, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, Chiapas, México.
- González-Alamilla, E., Rivas-Jacobo, M., Sosa-Gutiérrez, C., Delgadillo-Ruiz, L., Villadares-Carranza, B., Rosenfeld-Miranda, C., . . . Rivero-Pérez, N. (2020). Antibacterial effect of the methanol extract of *Salix babylonica* against important bacteria in public Health. *ABANICO VETERINARIO*, 10(1):1-11.
- Guerra, J., Montejano, J., & Martín, S. (2012). Evaluation of proteolytic and physicochemical changes during storage of fresh Panela cheese from Queretaro, Mexico and its impact in texture. *CyTA- Journal of Food*, 10(4); 296-305.
- Guinee, T. F. (2002). Effect of pH and calcium concentration on some textural and funtional propierties of mozzarella cheese. *Journal of Dairy Sciencie*, 87(17), 1655-1669.
- Gunasekaran, S., & Ak, M. (2002). *Cheese Rheology and Texture*. New York: CRCPress.
- Hernández Córtez, C., Aguilera Arreola , M. G., & Castro Escarpulli, G. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 31 (4): 137-151.
- Hernández González, I. (2022). *EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIBACTERIANO, ANTI-INFLAMATORIO Y ANTIOXIDANTE DEL EXTRACTO HIDROALCOHÓLICO DE Vaccinium leucanthum(CAHUICHE)*. Tesis, UAEH/ICAp, Tulancingo de Bravo.
- Hernández, A. (2021). *Síntesis de nanopartículas de óxido de hierrro funcionalizadas con alicina extraída de Allium sativum (ajo)*. Mineral de la Reforma, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Herrera, A. (2021). Algunos Principios de la Química Verde Aplicada a una Extracción de ADN. *CONSCIENCIA*, 2(5): 58-65.
- Higuera, J., Arenas, F., Correa, G., & Aguirre, R. (2019). Physico-chemical and sensory analysis of fresh cheese with replacement of milk fat by avocado lipids (Persea americana Mill V. Hass). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, Volumen 22 (1):e1199.
- Ibarra, L., Tassell, M., & Miller, M. (2017). invited review: Hispanic-style cheeses and their association with *Listeria monocytogenes*. *Journal of Dairy Science*, 100: 2421-2432.
- insst.es. (25 de 5 de 2021). *Instituto Nacional de Seguridad y Salud de Trabajo*. Obtenido de <https://www.insst.es/agentes-biologicos-basebio/bacterias/staphylococcus-aureus>
- Khalil, A., Ovais, M., Ullah, I., Alí, M., Shimwari, Z., & Maza, M. (2017). Biosynthesis of iron oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles via aqueous extracts of *Sageretia thea* (Osbeck.) and their pharmacognostic properties. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 10 (4); 186-201.
- Khan, A., Khan, H., Othman, M., Shahnaz, Kamran, T., Almarhoon, Z., . . . Khan, A. (2023). Antimicrobial, antioxidant, and antileishmanial activity of *Tavernier glabra* mediated ZnO NPs and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NPs. *Inorganic Chemistry Communications*, VOL 148.
- Kopac, T. (2021). Protein corona, understanding the nanoparticle–protein interactions and future perspectives: A critical review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1-11.
- Lactoscan. (13 de junio de 2014). *Milkotronic Ltda*. Obtenido de XPRT agriculture: <https://www.agriculture-xprt.com/downloads/lactoscan-model-mcc-milk-analyzer-manual-532919>
- Leal, M., & Loeza, A. (2018). La química oculta que nos rodea. *Ciencia y Luz*.
- Ledezma, E., & Apitza, R. (2006). Ajoene, el principal compuesto activo derivado del ajo (*Allium sativum*), un nuevo agente antifúngico. *Iberoamericana de Micología*, Colombia.

- Llontop, R. A. (2022). *Efecto inhibitorio in vitro de los extractos combinados de Allium sativum L. "ajo" y Zingiber officinale "jenjibre" sobre Escherichia coli y Staphylococcus aureus aisladas de infecciones del tracto urinario*. TESIS, UDCH, Chiclayo - Perú.
- Londoño, L. J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. En *Ingeniería de Alimentos* (Vol. 3, págs. 129-162). Lasalle: GRIAL.
- López , Á., Barriga, D., Jara, J., & Ruz, J. (2015). *Determinaciones Análíticas en Queso*. Sevilla, España: IFAPA.
- López, I. (2010). *Propiedades físico-químicas, texturales y sensoriales del queso elaborado en el municipio de Vega de Alatorre, Ver., y su relación con algunas características de queso de la Joya, Ver.* Tesis, Xalapa, Veracruz.
- López, J., & Martínez, N. (2018). SENSORIAL AND PHYSICOCHEMICAL PROFILE OF CHIHUAHUA CHEESE CONSIDERING CONSUMER PREFERENCES. *Agrociencia*, 52: 361-378.
- López, J., & Rojas, L. (2021). *Ingredientes de origen natural como alternativa para incrementar la vida útil de los productos cárnicos: Una revisión sistemática*. Tesis, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- López, M. (2004). *MEJORAMIENTO DE VIDA DE ANAQUEL EN QUESO TRADICIONAL RANCHERO Y QUESO PASTA HILADA (OAXACA)*. Tesis, México, D.F.
- López, R. (2021). Nanotecnología en alimentos. *Alianzas y tendencias BUAP*, 1-5.
- Martínez Muñoz, G. (2019). *ESTUDIO DE NANOPARTÍCULAS POLIMÉRICAS CON APLICACIÓN EN MICROBIOLOGÍA*. Universidad de Sevilla, Sevilla-España.
- McSweeney, P. (2004). Biochemistry of cheese ripening. *international journal of Dairy Technology*, 127-144.
- Mei Ge, X., Cao, Z., & Chu, L. (2022). The Antioxidant Effect of the Metal and Metal-Oxide Nanoparticles. *Antioxidant*, 4(11); 1-17.



- Mendoza Cuevas, J. A. (2019). *ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS ENRIQUECIDOS EN PÉPTIDOS DE QUESO PRENSA DE GUERRERO*. Tesis, Estado de México.
- Mendoza, C. (2018). *Microencapsulación de hierro por medio de coacervación para la adición en alimentos evitando el resabio*. TESIS, Universidad Autónoma de Queretaro, Santiago de Queretaro.
- Merchán, N., Pineda, L., Cárdenas, A., González, N., Otálora, M., & Sánchez, Y. (2018). Microorganisms commonly reported as causing diseases transmitted by fresh cheese in the Americas, 2007-2016: Review. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol 56 .
- Merelign, A., Moniruzzaman, M., Karthikeyan, A., & Min, T. (2021). Curcumin Nanoformulations with Metal Oxide Nanomaterials for Biomedical Applications. *Nanomaterials*, 11(1); 1-21.
- Meriga, B., Mopuri, R., & Muralikrishna, T. (2012). Insecticidal, antimicrobial and antioxidant activities of bulb extracts of *Allium sativum*. *Asian Pacific Journals of tropical medicine*, 391-395.
- Monckeberg, F. (2023). *PortalAntioxidantes.com*. Obtenido de <https://portalantioxidantes.com/antioxidantes-en-alimentos/>
- Moya, A. (2020). *Compuestos Organosulfurados presentes en aliáceas y sus propiedades saludables*. Tesis, Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Muñoz Fontalvo, L. A. (2023). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de nanopartículas de Hierro (FeNPs) sintetizadas con el extracto de Annona Muricata L. controladas mediante micela inversa*. ULB, Barranquilla- Colombia.
- Muro, C., Álvarez, R., Telles, A., Riera, R., & Arana, A. (2011). Review: Production and functionality of active peptides from milk. *Food Science and Technology International*, 17 (4); 2-19.
- Najahi, W., Arnold, R., & Cummings, B. (2020). Safe Nanoparticles: Are We There Yet? *International Journal of Molecular Sciences*, 1-21.

- Narcía, Y. (2011). *COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN DIEZ MARCAS DE QUESO PANELA*. Tesis, Coahuila.
- NMX-12901. (2015). *Nanotecnologías - Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: Principios y enfoques*. Norma Mexicana, México.
- NMX-F-092. (1970). *CALIDAD PARA QUESOS PROCESADOS. NORMASMEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS. NORMA MEXICANA*.
- NOM-121. (1994). *Norma Oficial Mexicana, Bienes y Servicios. Quesos: Frescos, Madurados y Procesados. Especificaciones Sanitarias*. Norma, México.
- NOM-155-SCFI-. (2012). *Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba*. Norma, México.
- NOM-223-SCFGI/SAGARPA. (2017). *Queso-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba*. Norma Oficial Mexicana.
- NOM-243-SSA1-. (2010). *Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. Norma, México.
- OECD-FAO. (2020). *Agricultural Outlook 2020-2029*. Paris.
- Osorio-Tobón, J. C.-V. (2005). Caracterización reológica y textural del queso edam. *DINA*, 72 (147), 33-45.
- Pachar, L. (2020). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE QUESO FRESCO PARA DETERMINAR SU GRADO DE INOCUIDAD Y ACEPTACIÓN*. Tesis, Universidad Técnica de Machala, Machala.
- Paredes, C. (2018). *Caracterización sensorial y perfil de textura del queso amasado de la provincia de Carchi*. Tesis, UDLA, Quito.
- Pereda Aguilar, L. (2020). *EFFECTO ANTIBACTERIANO IN VITRO DE EXTRACTO HIDROALCOHÓLICO DE Allium sativum (AJO) Y Plantago major (LLANTÉN) FRENTE A CULTIVOS DE Escherichia coli*. TESIS, ULADECH, Trujillo - Perú.

- Quinde, M. (2017). *Propuesta de una guía práctica para el análisis sensorial de alimentos y bebidas aplicado a quesos frescos*. Tesis, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ramírez López, C., & Vélez Ruiz, J. F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*, 131 - 148.
- Ramírez, C., & Vélez, J. (2012). Quesos Frescos: Propiedades, Métodos de Determinación y Factores que Afectan su Calidad. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 131-148.
- Ramírez, J. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 52-58.
- Ramírez-Navas, J. S. (2010). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y queso. *Tecnología Láctea Latinoamericana*, 51-58.
- Rodiles, J., Trujillo, R., & Zamora, R. (2022). LA LECHE Y LOS DERIVADOS LÁCTEOS. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 34-38.
- Ronald, L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 4290-4302.
- Ruiz, F., Hernández, J., García, R., Rocher, C., & Valadez, V. (2019). Comparación sensorial de queso panela elaborado con leche de vaca (*Bos taurus*) y búfala (*Bubalus bubalis*). *Investigación y Desarrollo en Ciencias y Tecnología de Alimentos*, Tabasco, México.
- Saldívar, L. (2020). Soft regulation, technical standards and international regulatory harmonization, for nanotechnology. *Mundo Nano*, 13(24): 1-27.
- Sampath, S., Madhavan, Y., Muralidharan, M., Sunderam, V., Lawrance, A., & Muthupandian, S. (2022). A review on algal mediated synthesis of metal and metal oxide nanoparticles and their emerging biomedical potential. *Journal of Biotechnology*, 92-109.

- Sánchez, N., Cepeda, M., Tamez, K., Rodríguez, B., Sinagawa, S., Luna, A., . . . Méndez, G. (2022). Efecto del aceite de orégano en las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales del queso panela. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 258-271.
- Sancho, J., & De Castro, J. (1999). *Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos*. Barcelona: Universita Barcelona.
- Santillan , E., & Vélez, J. (2019). Evaluación de propiedades fisicoquímicas y físicas de dos alimentos lácteos (yogur y queso) enriquecidos con nanopartículas de Ca, Fe y Zn. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 52-80.
- Santillán-Urquiza, E. A.-C.-H.-G.-R.-R. (2015). La inulina como un nuevo recubrimiento biocompatible: evaluación de las afinidades superficiales hacia las nanopartículas de CaHPO<sub>4</sub>, -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, CaHPO<sub>4</sub>@ZnO y -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@ZnO. *Revista de Ciencia de Interfaces y Coloides*, 460, 339-348.
- Sathyanarayanan, M., Balachandranath, R., GenjiYuvasri, Kumar, S., & Subbiahdoss, G. (2013). The Effect of Gold and Iron-Oxide Nanoparticles on Biofilm-Forming Pathogens. *Hindawi*, 1-5.
- SCIENCIEphotoLIBRARY. (2023). *Biblioteca de Fotos de Ciencia* . Obtenido de <https://www.sciencephoto.com/media/799391/view/salmonella-typhi-bacterium-sem>
- Shang, A., Cao, S.-Y., Xu, X.-Y., Gan, R.-Y., Tang, G.-Y., Corke, H., . . . Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Biological Functions of Garlic (*Allium sativum* L.). *Foods*, 1-31.
- SIAP. (2021). *Escenario mensual de productos agroalimentarios (Leche de bovino)*. México.
- Sifontes, Á. (2014). Biosíntesis de nanomateriales: hacia el avance de la nanotecnología verde. *Mundo Nano*, 7(14): 56-68.
- Talens, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. *RiuNET*, 1-8.
- Torres, J. D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTAEAIA*, 63-75.

- Torres, V., Hernández, A., & Hernández, B. (2023). Sensory, textural analysis and antioxidant activity of añejo Zacazonapan cheese during ripening. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Sal*, 25(2); 204-213.
- Tran, N., Mir, A., Mallik, D., Sinha, A., Nayar, S., & Webster, T. J. (2022). Efecto bactericida de las nanopartículas de óxido de hierro en *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Nanomedicine*, 5:, 277-283. doi:DOI:10.2147/IJN.S9220
- Vallejo, C., Díaz, R., Morales, W., Godoy, H., Calderon, N., & Cegido, J. (2018). PHYSICAL-CHEMICAL AND HIGIENIC HEALTH QUALITY OF MILK IN DOUBLE PURPOSE PRODUCTION SYSTEM. *Rvista de Investigación Talento*, (1): 35-44.
- Vardanyan, Z., Gevorkyan, V., Ananyan, M., Vardapetyan, H., & Trchounian, A. (2015). Efectos de varias nanopartículas de metales pesados en *Enterococcus hirae* y *Escherichia coli* crecimiento y transporte de membranas acopladas a protones. *Nanobiotechnology*, 13-69.
- Vásquez, V., Salhuana, J., Jiménez, L., & Abanto, L. (2018). Evaluation of the bacteriological quality of fresh cheeses from Cajamarca. *Ecología Aplicada*, 1(1): 45-51.
- Velasco, M. F. (2017). *Desnaturalización de proteínas séricas de leche bovina por termosonicación y su aplicación en queso fresco*. TESIS, BUAP, Puebla.
- Villafaña, B., Rojas, S., & Rodríguez, G. (2020). Determinación de concentración peptídica total y actividad antioxidante en queso panela a base de leche de vaca y cabra. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 327-331.
- Villegas de Gante, A. (2021). *Procesamiento básico de la leche en derivados*. Texcoco, Edo. de México.
- Villegas de Gante, A. (2003). *Manual de prácticas: Tecnología de Alimentos de Origen Animal (Leche y Carne)*. Texcoco, Edo. de México.
- Villegas De Gante, A. (2003). *Procesamiento básico de la leche en derivados*. México.
- Villegas De Gante, A. (2021). *Procesamiento Básico de la leche en derivados*. México.

- Vinocunga, D., Romero, A., & Sánchez, C. (2022). Design of the process for obtaining fresh cheese in the province of Chimborazo using SuperPro Designer software. *Revista Ingenio*, 6(1): 60-69.
- Yaguana Jiménez, C. (2015). “*Evaluación del efecto antibiótico de los extractos acuosos de Allium sativum (ajo) y de Coriandrum sativum (culantro) mediante el método de sensibilidad por difusión en agar Bauer-Kirby, sobre cepas bacterianas de Staphylococcus aureus, Escherichia coli.* Tesis, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Escuela De Bioanálisis.
- Yaguana Jiménez, C. (2015). *Evaluación del efecto antibiótico de los extractos acuosos de Allium sativum (ajo) y de Coriandrum sativum (culantro) mediante el método de sensibilidad por difusión en agar Bauer-Kirby, sobre cepas bacterianas de Staphylococcus aureus, Escherichia coli.* Quito.

# ANEXOS

Formato para la evaluación sensorial del queso control y los quesos adicionados con IONPs-EA.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

Instituto de Ciencias Agropecuarias  
**EVALUACIÓN SENSORIAL DE QUESO FRESCO**



Nombre: \_\_\_\_\_ semestre y grupo: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: F \_\_\_ M \_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** Frente a usted se encuentran cuatro muestras codificadas, pruébelas de izquierda a derecha. Y con un poco de agua enjuague su boca entre cada muestra. Posteriormente indique con una **X** el nivel de agrado o desagrado de cada una.

Código de las muestras

2726	1593	1926	3270
<input type="checkbox"/> Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/> Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/> Me disgusta mucho	<input type="checkbox"/> Me disgusta mucho
<input type="checkbox"/> Me disgusta poco	<input type="checkbox"/> Me disgusta poco	<input type="checkbox"/> Me disgusta poco	<input type="checkbox"/> Me disgusta poco
<input type="checkbox"/> Ni me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/> Ni me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/> Ni me gusta ni me disgusta	<input type="checkbox"/> Ni me gusta ni me disgusta
<input type="checkbox"/> Me gusta poco	<input type="checkbox"/> Me gusta poco	<input type="checkbox"/> Me gusta poco	<input type="checkbox"/> Me gusta poco
<input type="checkbox"/> Me gusta mucho	<input type="checkbox"/> Me gusta mucho	<input type="checkbox"/> Me gusta mucho	<input type="checkbox"/> Me gusta mucho

¿De las cuatro muestras que probó escriba el código de la que más le gusto? \_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

¿Se compromete a volver a realizar esta prueba? SI  NO

¡GRACIAS!