



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS  
DE LACTOSUERO EN LA ELABORACIÓN DE QUESOS  
FRESCOS Y EN EL DESARROLLO DE UN QUESO  
ANÁLOGO CON PROTEÍNAS EXCLUSIVAS DE  
LACTOSUERO**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA**

SILVIA SOFÍA MONROY GALVÁN

**DIRECTOR DE TESIS**

M. en C. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL



Ciudad Universitaria, CD. MX. 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: HUGO RUBÉN CARREÑO ORTIZ**

**VOCAL: JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

**SECRETARIO: BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN**

**1er. SUPLENTE: ESMERALDA PAZ LEMUS**

**2° SUPLENTE: FEDERICO NIETO PINEDA**

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN  
ANIMAL Y BIOQUÍMICA. FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA, UNAM.**

## **ASESOR DEL TEMA:**

**M. en C. JUAN CARLOS RAMÍREZ OREJEL**

## **SUPERVISOR TÉCNICO:**

**Dra. AURORA HILDA RAMÍREZ PÉREZ**

## **SUSTENTANTE:**

**SILVIA SOFÍA MONROY GALVÁN**

### *Agradecimientos:*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme las puertas e impartirme sabiduría y conocimientos que con mucho orgullo llevaré por siempre.*

*A la Facultad de Química, mi segundo hogar, donde además de brindarme todos los recursos y oportunidades para poder entender las maravillas de la ciencia química y de los alimentos, me reunió con maravillosas personas.*

*A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por la amabilidad y disposición para hacerme sentir como en casa tanto en la realización de éste proyecto, como en el enriquecimiento personal al realizar el servicio social y al incluirme en su personal como Ayudante de Profesor de Asignatura B del periodo de Febrero de 2015 a Julio de 2016.*

*A las personas que forman parte del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, y en especial al laboratorio de Toxicología por la amabilidad y tolerancia para conmigo. Así como al Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (CEPIPSA), a la Dra. Patricia Negrete Torres por su disposición a brindarnos asesorías.*

*Al Proyecto PAPIIT IT 201213 “Elaboración de bebidas para consumo humano a base de lactosuero de leche, que contribuyan a mejorar la alimentación y disminuir el impacto ambiental causado por la eliminación de lactosuero”, por los insumos requeridos para los análisis químicos y de minerales, bajo la responsabilidad de la Dra. Hilda Ramírez Pérez a quien agradezco por la revisión de éste proyecto.*

*A mi asesor, mentor y profesor el M. en C. Juan Carlos Ramírez Orejel, quién además de impartirme conocimientos con toda afabilidad y entusiasmo, depositó en mí la confianza para desenvolverme en el laboratorio desde el comienzo de la estancia hasta el término de éste proyecto para así, poder obtener más experiencias enriquecedoras.*

*A la profesora Julieta Sandoval Guillén y al profesor Hugo Rubén Carreño Ortiz, quienes con toda amabilidad, dedicación y paciencia realizaron magníficas aportaciones a la corrección de éste trabajo.*

*Al Dr. Miquel Gimeno Seco por su amable y atenta disposición para poder llevar a cabo las microscopías, a Jesús D. por su ayuda con los registros, así como al T. A. Iván Puente Lee, por su dedicación en la realización de las mismas.*

*A la Dra. Patricia Severiano Pérez por la gentileza y paciencia al brindarme asesorías además de la cooperación para realizar los análisis de perfil de textura.*

*A todos los profesores que he tenido a lo largo de mi formación, quienes con mucho gusto han hecho su labor y me han impuesto el reto de ser mejor y aprender más, gracias por todo.*

*“Look deep into nature and then you will understand  
everything better.”*

*-Albert Einstein*

Parte de los resultados de éste proyecto se presentaron en el "III Congreso Internacional Sobre Innovación y Tendencias en Procesamiento de Alimentos y XVIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos" en la modalidad de póster con clave DNP 07 y título: "DESARROLLO DE UN QUESO ANÁLOGO CON PROTEINAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO".

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INNOVACIÓN Y TENDENCIAS EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS  
XVIII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
LA VERDAD OS HARÁ LIBRES

UANL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

La Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León y la División de Ciencias de la Vida del Campus Irapuato-Salamanca a través del Departamento de Alimentos otorga la presente:

**CONSTANCIA**  
A

**Silvia Sofía Monroy Galván**

Por su asistencia al III Congreso Internacional Sobre Innovación y Tendencias en Procesamiento de Alimentos y en el XVIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Llevado a cabo del 18 al 20 de Mayo del 2016 en la ciudad de Guanajuato, Gto.  
División de Ciencias Económico Administrativa-UGTO

*Ma. del Rosario Abraham Juárez*  
Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez  
Directora del Departamento de Alimentos-UG  
Y Coordinadora del evento

*Juan Gabriel Baez González*  
Dr. Juan Gabriel Baez González  
Coordinador del evento  
Facultad de Ciencias Biológicas-UANL

También parte de los resultados de éste proyecto se presentaron en el curso "La leche y el queso en la mesa" en la modalidad de presentación oral y con título: "DESARROLLO DE UN QUESO ANÁLOGO CON PROTEINAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO"

Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Secretaría de Educación Continua

Otorgan la presente

# Constancia

a

*Silvia Sofia Monroy Galván*

quien participó como *Conferenciante* en el curso:

## "La leche y el queso en la mesa"

impartido en esta Institución  
el 17 y 18 de agosto de 2016  
con una duración de 1 hora

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Ciudad Universitaria, Cd. Mx. a 18 de agosto de 2016.

ConcerVet  
PW015/16

*Dr. Francisco Suárez Güemes*  
Dr. Francisco Suárez Güemes  
Director de la FMVZ

*MVZ Martha Beatriz Trejo Salas*  
MVZ Martha Beatriz Trejo Salas  
Secretaría de Educación Continua



—¿Así que hiciste muchos quesos con la leche de mi cabra?

—No —respondió Julián—. Sólo me dio leche para un queso.

—Ya ves, te llevaste mi cabra, pero no mi secreto.

El secreto no es la cabra, sino la alegría con la que hago mi trabajo.



*Fragmento del cuento No. 23 “La viejita y los quesos”, del Libro de Lecturas de primer grado, publicado gratuitamente por la SEP (González-Guerrero et al., 1997).*

# Tabla de contenido

<b><u>Introducción.....</u></b>	<b>19</b>
<b><u>Objetivo General .....</u></b>	<b>21</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES .....</b>	<b>21</b>
EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO EN LA PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS .....	21
EFFECTO EN LA MODIFICACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS PARA INCORPORAR PROTEÍNAS DE LACTOSUERO DESNATURALIZADAS .....	21
DESARROLLO DEL QUESO ANÁLOGO CON PROTEÍNAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO	22
<b><u>Hipótesis .....</u></b>	<b>23</b>
<b>EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO EN LA PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS .....</b>	<b>23</b>
<b>EFFECTO EN LA MODIFICACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS PARA INCORPORAR PROTEÍNAS DE LACTOSUERO.....</b>	<b>23</b>
<b>DESARROLLO DEL QUESO ANÁLOGO CON PROTEÍNAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO .....</b>	<b>24</b>
<b><u>Capítulo I. Antecedentes .....</u></b>	<b>25</b>
<b>I.I QUESO FRESCO .....</b>	<b>25</b>
I.I.I DEFINICIÓN .....	25
I.I.II CLASIFICACIÓN .....	25
I.I.III COAGULACIÓN ENZIMÁTICA .....	26
I.I.IV ESTRUCTURA DEL QUESO.....	27
I.I.V DESUERADO .....	28
I.I.VI RENDIMIENTO QUESERO.....	29
<b>I.II LACTOSUERO .....</b>	<b>30</b>
I.II.I DEFINICIÓN .....	30
I.II.II CARACTERÍSTICAS DE LAS PROTEÍNAS DE LACTOSUERO .....	30
<b>I.III QUESOS ANÁLOGOS.....</b>	<b>33</b>
I.III.I DEFINICIÓN .....	33
I.III.II FORMULACIONES .....	33
I.III.III ADITIVOS PERMITIDOS .....	35
I.III.IV PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	37

**Capítulo II. Metodología ..... 39**

<b>II.I PRODUCCIÓN DE LOS QUESOS FRESCOS CON LA INCORPORACIÓN DE LA PROTEÍNA DE SUERO .....</b>	<b>39</b>
II.I.I EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNAS DE LACTOSUERO EN QUESO FRESCO .....	39
II.I.II MODIFICACIÓN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS PARA INCORPORAR PROTEÍNAS DE LACTOSUERO.....	41
II.I.III DESARROLLO DEL QUESO ANÁLOGO CON PROTEÍNAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO .....	44
<b>II.II COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS QUESOS Y LACTOSUEROS .....</b>	<b>47</b>
<b>II.III CONTENIDO DE MACROMINERALES. ....</b>	<b>48</b>
<b>II.IV COLOR CIE L*A*B* .....</b>	<b>48</b>
<b>II.V ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA .....</b>	<b>49</b>
<b>II.VI MICROSCOPIAS ELECTRÓNICAS DE BARRIDO AMBIENTAL (ESEM). ..</b>	<b>49</b>
<b>II.VII EVALUACIÓN SENSORIAL: PRUEBAS CON CONSUMIDORES. ....</b>	<b>50</b>
<b>II.VIII ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>50</b>

**Capítulo III. Resultados y discusión del efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en queso fresco. .... 51**

<b>III.I EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LACTOSUERO EN LA LECHE.....</b>	<b>51</b>
III.I.I COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	51
III.I.II MACROMINERALES .....	53
III.I.III RENDIMIENTO QUESERO.....	55
III.I.IV COLOR CIE L*A*B* .....	57
III.I.V ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA .....	58
<b>III.II EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL LACTOSUERO EN CUAJADA .....</b>	<b>59</b>
III.II.I COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	59
III.II.II MACROMINERALES .....	61
III.II.III RENDIMIENTO QUESERO.....	63
III.II.IV COLOR CIE L*A*B* .....	64
III.II.V ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA .....	65
<b>III.III MICROSCOPIAS ELECTRÓNICAS DE BARRIDO AMBIENTAL (ESEM) ..</b>	<b>66</b>

**Capítulo IV. Resultados y discusión del efecto de la modificación en el proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero. .... 68**

**IV.I EFECTO DE LA DESNATURALIZACIÓN A 85°C DEL 20 % DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO (WPC<sub>80</sub> %) SOLUBILIZADO EN AGUA Y SU INCORPORACIÓN EN EL QUESO FRESCO: EN CUAJADA (C-1) Y EN LECHE (C-2)..... 68**

IV.I.I COMPOSICIÓN QUÍMICA ..... 68

IV.I.II MACROMINERALES ..... 70

IV.I.III RENDIMIENTO QUESERO ..... 71

IV.I.IV COLOR CIE L\*A\*B\* ..... 73

IV.I.V ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA ..... 73

IV.I.VI MICROSCOPIAS ELECTRÓNICAS DE BARRIDO AMBIENTAL (ESEM)..... 74

**IV.II ELABORACIÓN DE QUESO CON CALENTAMIENTO DE LA CUAJADA A 92°C POR 5 MINUTOS: D-1 (ADICIONANDO 20% DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO WPC<sub>80</sub>%) Y D-2 (CON LAS PROTEÍNAS PROPIAS DE LA LECHE). .... 76**

IV.II.I COMPOSICIÓN QUÍMICA..... 76

IV.II.II MACROMINERALES..... 78

IV.II.III RENDIMIENTO QUESERO ..... 79

IV.II.IV COLOR CIE L\*A\*B\* ..... 81

IV.II.V ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA ..... 82

IV.II.VI MICROSCOPIAS ELECTRÓNICAS DE BARRIDO AMBIENTAL (ESEM)..... 83

**Capítulo V. Resultados y discusión del desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero ..... 85**

**V.I COMPOSICIÓN QUÍMICA..... 85**

**V.II MACROMINERALES..... 87**

**V.III COLOR CIE L\*A\*B\*..... 88**

**V.IV ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA..... 89**

**V.V ESTRUCTURA DE LOS QUESOS ANÁLOGOS ..... 91**

V.V.I MICROSCOPIAS ELECTRÓNICAS DE BARRIDO AMBIENTAL (ESEM) ..... 94

**V.VI EVALUACIÓN SENSORIAL ..... 96**

**Conclusiones ..... 103**

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE PROTEÍNA DE LACTOSUERO EN LA PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS ..... 103

EFFECTO EN LA MODIFICACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE QUESOS FRESCOS PARA INCORPORAR PROTEÍNAS DE LACTOSUERO DESNATURALIZADAS ..... 103

DESARROLLO DEL QUESO ANÁLOGO CON PROTEÍNAS EXCLUSIVAS DE LACTOSUERO 104

<b><u>Perspectivas.....</u></b>	<b>106</b>
<b><u>Bibliografía.....</u></b>	<b>107</b>
<b><u>Anexos .....</u></b>	<b>114</b>
<b>A.I CÁLCULO DE PORCENTAJES DE PROTEÍNA ADICIONADA.....</b>	<b>114</b>
<b>A.II QUESO ANÁLOGO.....</b>	<b>114</b>
A.II.I DIAGRAMAS DE PRODUCCIÓN DEL QUESO ANÁLOGO.....	114
A.II.II FICHAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS E INGREDIENTES .....	116
<b>A.III CUESTIONARIO DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL DEL QUESO ANÁLOGO CON INULINA .....</b>	<b>122</b>
<b>A.IV BALANCES DE MATERIA .....</b>	<b>123</b>
<b>A.V MICROSCOPÍAS ESEM.....</b>	<b>125</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Características de las proteínas presentes en el lactosuero ..	<b>31</b>
<b>Tabla 2.</b> Ingredientes y porcentajes de adición para la formulación de quesos análogos.....	<b>34</b>
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones para los aditivos alimentarios permitidos en quesos procesados .....	<b>35</b>
<b>Tabla 4.</b> Formulaciones del queso análogo expresadas en porcentajes. ....	<b>45</b>
<b>Tabla 5.</b> Métodos utilizados para los análisis químicos proximales. ....	<b>47</b>
<b>Tabla 6.</b> Métodos utilizados para la cuantificación de los macrominerales. ....	<b>48</b>
<b>Tabla 7.</b> Composición química del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en porcentaje.....	<b>52</b>
<b>Tabla 8.</b> Composición química de los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en porcentaje.....	<b>53</b>
<b>Tabla 9.</b> Contenido de macrominerales para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en mg/100 g de queso.....	<b>54</b>
<b>Tabla 10.</b> Contenido de macrominerales de los lactosueros obtenidos a partir de la producción de para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en mg/100 mL de lactosuero .....	<b>55</b>
<b>Tabla 11.</b> Cuantificación de color: L*, a*, b* y $\Delta E$ del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche .....	<b>57</b>
<b>Tabla 12.</b> Perfil de textura del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche .....	<b>58</b>
<b>Tabla 13.</b> Composición química del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en porcentaje.....	<b>60</b>
<b>Tabla 14.</b> Composición química de los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en porcentaje ...	<b>61</b>
<b>Tabla 15.</b> Contenido de macrominerales en el queso testigo y en los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en mg/100 g de queso.....	<b>62</b>
<b>Tabla 16.</b> Contenido de macrominerales en los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en mg/100 mL de lactosuero.....	<b>62</b>

<b>Tabla 17.</b> Cuantificación de color: L*, a*, b* y ΔE del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada.....	<b>65</b>
<b>Tabla 18.</b> Perfil de textura del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada .....	<b>66</b>
<b>Tabla 19.</b> Composición química de los quesos y lactosueros: testigo y de los elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2), expresados en porcentaje.....	<b>69</b>
<b>Tabla 20.</b> Contenido de los macrominerales en los quesos y lactosueros: testigo y en los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2); expresados en mg/100 g de queso .....	<b>71</b>
<b>Tabla 21.</b> Cuantificación de color: L*, a*, b* y ΔE de los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2) .....	<b>73</b>
<b>Tabla 22.</b> Perfil de textura de los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2) .....	<b>74</b>
<b>Tabla 23.</b> Composición química de los quesos y lactosueros: testigo y con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en porcentaje .....	<b>77</b>
<b>Tabla 24.</b> Contenido de los macrominerales en los quesos y lactosueros: testigo y en los con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en mg/100 g de queso .....	<b>79</b>
<b>Tabla 25.</b> Cuantificación de color: L*, a*, b* y ΔE del queso testigo y de los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche) .....	<b>81</b>
<b>Tabla 26.</b> Perfil de textura de los quesos, testigo y en los con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche) .....	<b>82</b>
<b>Tabla 27.</b> Composición química de los quesos análogos original y con inulina, expresados en porcentaje .....	<b>86</b>
<b>Tabla 28.</b> Contenido de los macrominerales en los quesos análogos original y con inulina expresados en mg/100 g de queso análogo .....	<b>87</b>
<b>Tabla 29.</b> Cuantificación de color: L*, a*, b* y ΔE de los quesos análogo 3 (sin ajuste de color), análogo original, análogo con inulina.....	<b>89</b>
<b>Tabla 30.</b> Análisis de perfil de textura para los quesos testigo, análogo original y análogo con inulina .....	<b>90</b>
<b>Tabla 31.</b> Porcentajes de proteína adicionada .....	<b>114</b>
<b>Tabla 32.</b> Especificaciones técnicas de la Carragenina FlanGelly™ ...	<b>116</b>

<b>Tabla 33.</b> Especificaciones técnicas del cloruro de calcio.....	<b>117</b>
<b>Tabla 34.</b> Especificaciones técnicas de la Inulina .....	<b>117</b>
<b>Tabla 35.</b> Especificaciones técnicas del ácido láctico .....	<b>118</b>
<b>Tabla 36.</b> Especificaciones técnicas del citrato de sodio .....	<b>118</b>
<b>Tabla 37.</b> Ficha de especificaciones técnicas del pirofosfato de sodio.....	<b>119</b>
<b>Tabla 38.</b> Especificaciones técnicas del dióxido de titanio .....	<b>120</b>
<b>Tabla 39.</b> Balances de materia para el queso Testigo.....	<b>123</b>
<b>Tabla 40.</b> Balances de materia de la incorporación de proteína de lactosuero en leche A+10 %, A+20 % y A+30 % .....	<b>123</b>
<b>Tabla 41.</b> Balance de materia de la incorporación de la proteína en cuajada B+10 %, B+20 %, B+30 % .....	<b>124</b>
<b>Tabla 42.</b> Balances de materia de los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2) .....	<b>124</b>
<b>Tabla 43.</b> Balance de materia de los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche).....	<b>125</b>



## Índice de Figuras

<b>Figura 01.</b> Representación esquemática de la estructura supramolecular de los lípidos lácteos en quesos. Figura tomada de Hickey, C. (2015). .....	<b>28</b>
<b>Figura 02.</b> Diagrama utilizado para estudiar el efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en la elaboración de quesos frescos.....	<b>39</b>
<b>Figura 03.</b> Diagrama del procedimiento de la producción de quesos frescos incorporando el WPC en leche (A) y la cuajada (B). ....	<b>40</b>
<b>Figura 04.</b> Diagrama de las modificaciones en el proceso de producción de quesos frescos para la incorporación de proteínas del lactosuero	<b>41</b>
<b>Figura 05.</b> Diagrama del proceso para la incorporación de 20% del concentrado de proteína de lactosuero (WPC) desnaturalizado en leche (C-2) y en cuajada (C-1). ....	<b>42</b>
<b>Figura 06.</b> Diagrama del proceso de la elaboración del queso con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos .....	<b>43</b>
<b>Figura 07.</b> Diagrama del proceso de elaboración del queso análogo original .....	<b>46</b>
<b>Figura 08.</b> Diagrama del proceso de elaboración del queso análogo con inulina .....	<b>46</b>
<b>Figura 09.</b> Porcentaje de rendimiento obtenido expresado en (g de queso/g de leche utilizada)*100, para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche. ....	<b>56</b>
<b>Figura 10.</b> Porcentaje de rendimiento obtenido expresado en (g de queso/g de leche utilizada)*100, para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada....	<b>64</b>
<b>Figura 11.</b> Microscopías ESEM obtenidas para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche y en la cuajada.....	<b>67</b>
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de rendimiento obtenido para los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2), expresados en (g de queso/g de leche utilizada)*100 .....	<b>72</b>
<b>Figura 13.</b> Microscopías ESEM obtenidas para el queso testigo (C) y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (A: C-1) y en leche (B: C-2).....	<b>75</b>
<b>Figura 14.</b> Porcentaje de rendimiento obtenido para los quesos testigo y los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en (g de queso/g de leche utilizada)*100 .....	<b>80</b>

<b>Figura 15.</b> Microscopías ESEM obtenidas para el testigo (C) y los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: A:D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y B:D-2 (con las proteínas propias de la leche con un aumento x250 .....	<b>84</b>
<b>Figura 16.</b> Paso a paso del diagrama de producción del queso análogo con inulina.....	<b>91</b>
<b>Figura 17.</b> Quesos análogos original (A) y con inulina (B) .....	<b>93</b>
<b>Figura 18.</b> Microscopías ESEM obtenidas para los quesos Testigo A, quesos análogos: Original B y con inulina C; a aumento x250. ....	<b>95</b>
<b>Figura 19.</b> Microscopías ESEM de los quesos análogos original A y con inulina B con un aumento x1500.....	<b>95</b>
<b>Figura 20.</b> Microscopía SEM del queso análogo control a base de caseína y aceite de palma hidrogenado tomado de Hennelly et al., 2006.....	<b>96</b>
<b>Figura 21.</b> Distribución de la frecuencia de consumo de queso de los encuestados (n=100). ....	<b>97</b>
<b>Figura 22.</b> Costumbre de consumo de marcas comerciales de quesos (n=100). ....	<b>97</b>
<b>Figura 23.</b> Distribución del agrado con una escala hedónica de 9 puntos, de los atributos de color, aroma lácteo y sabor salado hacia el queso análogo con inulina evaluado (n=100). ....	<b>98</b>
<b>Figura 24.</b> Distribución del agrado de la textura, del queso análogo con inulina evaluado en una escala justo como me gusta (n=100). ....	<b>99</b>
<b>Figura 25.</b> Agrado en general del consumidos hacia el queso análogo con inulina, utilizando una escala hedónica de 9 puntos (n=100). .	<b>100</b>
<b>Figura 26.</b> Distribución de la aceptación para la compra del queso análogo con inulina (n=100). ....	<b>101</b>
<b>Figura 27.</b> Distribución de las razones por las cuales los consumidores comprarían el producto (n=70). ....	<b>101</b>
<b>Figura 28.</b> Precio que estarían dispuestos a pagar los consumidores que comprarían el producto por una presentación de 250 gramos del queso análogo con inulina (n=70). ....	<b>102</b>
<b>Figura 29.</b> Distribución de las razones por las cuales los consumidores no comprarían el producto (n=30). ....	<b>102</b>
<b>Figura 30.</b> Propuesta de proceso de producción del queso análogo 1. ....	<b>114</b>
<b>Figura 31.</b> Proceso de producción del queso análogo 2, modificando el pH del producto final a 5.5. ....	<b>115</b>
<b>Figura 33.</b> Especificaciones técnicas del concentrado de proteína de lactosuero, WPC Hilmar™ 8200.....	<b>121</b>
<b>Figura 34.</b> Cuestionario para la evaluación sensorial del queso análogo. ....	<b>122</b>
<b>Figura 35.</b> Microscopías ESEM para el queso testigo. Aumentos de: A: x50, B: x250, C: x700 y D: x1500 .....	<b>125</b>

<b>Figura 36.</b> Microscopías ESEM para el queso A+20 %. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>126</b>
<b>Figura 37.</b> Microscopías ESEM para el queso B+20 %. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>126</b>
<b>Figura 38.</b> Microscopías ESEM para el queso C-1. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>127</b>
<b>Figura 39.</b> Microscopías ESEM para el queso C-2. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>128</b>
<b>Figura 40.</b> Microscopías ESEM para el queso D-1. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>128</b>
<b>Figura 41.</b> Microscopías ESEM para el queso D-2. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>129</b>
<b>Figura 42.</b> Microscopías ESEM para el queso análogo original. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>130</b>
<b>Figura 43.</b> Microscopías ESEM para el queso análogo con inulina. Aumentos de: <b>A:</b> x50, <b>B:</b> x250, <b>C:</b> x700 y <b>D:</b> x1500 .....	<b>130</b>

## Introducción

El uso de la coagulación enzimática de la leche por la quimosina conlleva a la pérdida de las proteínas del suero, principalmente la  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -la) y  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -lg); las cuales, poseen un alto valor biológico (mayor al de las proteínas del huevo) y efectos benéficos en la salud humana como: la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina (ACE, por sus siglas en inglés), actividades antimicrobianas y anticarcinogénicas, fuente de aminoácidos esenciales (como metionina y cisteína) que funcionan como antioxidantes.

El rendimiento quesero se ve principalmente influenciado por (i) la relación grasa/proteína de la leche, (ii) la incorporación de lactosa, cenizas y agua en la matriz del queso y (iii) por la retención o reincorporación de las proteínas del lactosuero.

Debido a que en México hubo un consumo de quesos per cápita (en el año 2012) de 3 kg y a que la participación del queso fresco en la producción quesera representó un 14 % de un total de 53 mil 994 toneladas con un valor en el mercado de 2 mil 476 M \$mx; existió el interés para promover la retención de una mayor fracción de proteínas totales en quesos frescos. Para esto, se añadió concentrado de proteínas de lactosuero tanto en leche como en cuajada y se estudió el efecto final que tenían éstas modificaciones en los quesos obtenidos a pequeña escala.

El suero de leche debido a su gran producción y a que su desecho directo es causante de contaminación por su alta demanda biológica de oxígeno, promueve el desarrollo de productos a base del lactosuero como en el queso Ricotta (de origen italiano) y el Mysost (de origen noruego) los cuales poseen una fuerte tradición de consumo siendo una excelente

forma de aprovechamiento del lactosuero y de sus proteínas, las cuales en el plano nutritivo, tienen un valor biológico superior al de las caseínas. Por lo que también existió el interés del desarrollo de un queso análogo a un queso fresco, con proteínas exclusivas de lactosuero.

En general se ha encontrado que la sustitución de caseína con proteínas de lactosuero en quesos análogos y procesados, reduce su fluidez haciendo a éstos productos más convenientes en aplicaciones alimenticias en las que no se desea tener una alta capacidad para fundir; además sugieren que las proteínas de lactosuero interactúan con la matriz de caseína como un relleno activo o como un agente que fortalece y refuerza la estructura.

Recientemente, investigadores han encontrado una forma de mejorar el aspecto nutricional de los quesos análogos gracias a un parcial reemplazo del contenido de lípidos con ingredientes que proveen ciertos beneficios a la salud, como por ejemplo el uso de inulina y almidones resistentes.

## **Objetivo General**

Aprovechar las características fisicoquímicas y bioquímicas de las proteínas de lactosuero para evaluar el efecto de su incorporación sobre las características de quesos frescos, así como en el desarrollo de un queso análogo.

## **Objetivos Particulares**

### **Efecto de la incorporación de proteína de lactosuero en la producción de quesos frescos**

- Evaluar el efecto de la adición de un concentrado de proteína de lactosuero al obtener 6 quesos frescos adicionando 10 %, 20 % y 30 % de proteína de lactosuero con respecto al porcentaje de proteína total para comparar si existe diferencia al agregarla en la leche o en la cuajada.
- Estudiar la composición química, los contenidos de macrominerales y los perfiles de textura de los 6 quesos obtenidos adicionados con proteína de lactosuero para compararlos contra el perfil de un queso testigo y seleccionar tanto el porcentaje de proteína a incorporar como el método de adición de la misma.
- Evaluar el método de adición de la proteína de lactosuero comparando el rendimiento quesero y la microestructura de la red formada en los quesos frescos modificados.

### **Efecto en la modificación del proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero desnaturalizadas**

- Obtener 2 quesos frescos con 20 % de proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en la leche y en la cuajada, para conocer si existe diferencia entre el método de adición sobre el rendimiento de proteína total en los quesos frescos, mediante la comparación en

la composición, los contenidos de macrominerales, los perfiles de textura y las microscopías contra el perfil de un queso testigo.

- Evaluar los efectos de la modificación del proceso de producción del queso fresco al desnaturalizar la proteína de lactosuero en la cuajada habiendo adicionado 20 % de proteína de lactosuero en la leche y con las proteínas propias de la leche, para conocer si existe un aumento de rendimiento de proteína total en el queso mediante la comparación en la composición, los contenidos de macrominerales, los perfiles de textura y las microscopías contra el perfil de un queso testigo.
- Conocer la eficiencia del proceso al comparar los balances de materia de los quesos obtenidos para determinar si las modificaciones al proceso afectan la eficiencia de retención de las proteínas totales.

### **Desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero**

- Seleccionar los ingredientes y aditivos para obtener una formulación base del queso análogo utilizando proteínas exclusivas de lactosuero y desarrollar un queso al que se le incluya inulina para reducir la cantidad de grasa propuesta.
- Evaluar el proceso de producción del queso análogo que permita obtener un producto aceptable mediante la comparación de la composición, las microscopías, los contenidos de macrominerales y de textura en los quesos análogos obtenidos con la formulación original y con inulina para conocer la estructura de la red formada con proteínas exclusivas de lactosuero.
- Diseñar y realizar un estudio con consumidores del queso análogo con inulina para medir la aceptación general y de sus atributos más relevantes.

## **Hipótesis**

Debido a las propiedades diferentes de las proteínas de lactosuero en comparación con las caseínas, su incorporación en quesos frescos modificará el rendimiento y estructura del queso fresco obtenido, mientras que su utilización como ingrediente en el desarrollo de un queso análogo, posibilitará su interacción con otros ingredientes y aditivos formando un producto aceptable.

### **Efecto de la incorporación de proteína de lactosuero en la producción de quesos frescos**

- Si se incorpora la proteína de lactosuero en tres concentraciones diferentes durante la producción de quesos frescos, entonces aumentará el rendimiento de proteína total conforme aumente la cantidad de proteína.
- Si se modifica el modo de adición de la proteína, entonces cambiará la composición y la textura de los quesos.

### **Efecto en la modificación del proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero**

- Si primero se desnaturalizan térmicamente a las proteínas de lactosuero y éstas se logran incorporar al queso fresco, entonces se aumentará el rendimiento de proteína total generando un cambio en la estructura de los quesos.
- Cuando se desnaturalizan las proteínas una vez cuajado el queso, se promoverá la incorporación de los componentes de la leche reflejado en un cambio de la composición.
- Si la textura de los quesos al modificar el proceso de producción es significativamente diferente, entonces microscópicamente se habrá generado una nueva estructura.



## **Desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero**

- Si se seleccionan los aditivos adecuados para elaborar el queso análogo entonces se promoverá el uso exclusivo de las proteínas de lactosuero en la formación de una estructura estable.
- Al agregar inulina en la formulación base sustituyendo en un 60% a la parte grasa, no se verá comprometida la textura del producto ni su microestructura.
- Si el proceso y la formulación del queso análogo permiten obtener un buen producto, entonces tendrá un buen nivel de agrado por parte de los consumidores.

# Capítulo I. Antecedentes

## I.I Queso Fresco

### I.I.I Definición

De acuerdo con la *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* (2010), se define a los quesos como los productos elaborados de la cuajada de leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin la adición de crema, obtenida de la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácteos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles con o sin tratamiento ulterior, por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales, dando lugar a las diferentes variedades de quesos pudiendo clasificarse por su proceso en: fresco, madurado o procesado.

### I.I.II Clasificación

Los quesos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Quesos frescos: Aquellos que además de cumplir con la descripción general de queso se caracterizan por su alto contenido de humedad, sin corteza o con una corteza muy fina, pudiendo o no adicionarles aditivos e ingredientes opcionales.
- Quesos madurados: Aquéllos que además de cumplir con la descripción general de queso, se caracterizan por ser de pasta dura, semidura o blanda y pueden tener o no corteza; sometidos a un proceso de maduración mediante adición de microorganismos, bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura y humedad, para provocar en ellos cambios bioquímicos y físicos característicos del producto del que se trate,

lo que le permite prolongar su vida de anaquel, los cuales pueden o no requerir o no condiciones de refrigeración.

- Quesos procesados: Aquéllos que además de cumplir con la descripción general de queso se caracterizan por ser elaborados con mezclas de quesos, fusión y emulsión con sales fundentes, aditivos para alimentos permitidos e ingredientes opcionales, sometidos a proceso térmico de 70°C durante 30 segundos o someterse a cualquier otra combinación equivalente o mayor de tiempo y temperatura, lo que le permite prolongar su vida de anaquel.

- Quesos de suero: Productos obtenidos a partir del suero de leche entera, semidescremada, o descremada pasteurizada de vaca, cabra u oveja, el cual es coagulado por calentamiento (Secretaría de Salud, 2010).

### **I.I.III Coagulación enzimática**

La mayoría de los tipos de quesos se coagulan a través de la acción de proteasas selectivas a las cuales, se les conoce como cuajo. Ésta acción es un mecanismo de dos fases: la primera fase, involucra la proteólisis limitada de la  $\kappa$ -caseína (enlace Phe<sub>105</sub>-Met<sub>106</sub>) para producir micelas de paracaseína; en la segunda fase, dichas micelas se agregan en flóculos debido a la presencia de Ca<sup>2+</sup> y una temperatura mayor a 20°C, para después formar una red tridimensional (coágulo) la cual tendrá en su interior lactosuero y glóbulos de grasa

Los factores de los que depende la coagulación enzimática son:

1. La cantidad y fuerza de cuajo.

Determina los mililitros de leche que pueden coagular un mililitro de cuajo a una temperatura y en un tiempo determinado.

2. La temperatura.

Al ser una reacción enzimática, la velocidad de coagulación óptima presenta un intervalo de 30 a 35 °C.

### 3. El pH de la leche.

Cuando el pH es inferior a 7 hay una aceleración en la gelificación porque se acerca al pH óptimo de la enzima que es 4.7, y además, se reducen las cargas eléctricas de las micelas de caseína con lo que disminuye su estabilidad.

### 4. El contenido de la leche en iones $\text{Ca}^{2+}$ .

La estabilidad de las micelas de caseína depende de la presencia iones de  $\text{Ca}^{2+}$ . Al modificar la concentración de iones en la leche se desestabiliza en mayor medida la estructura micelar de la leche.

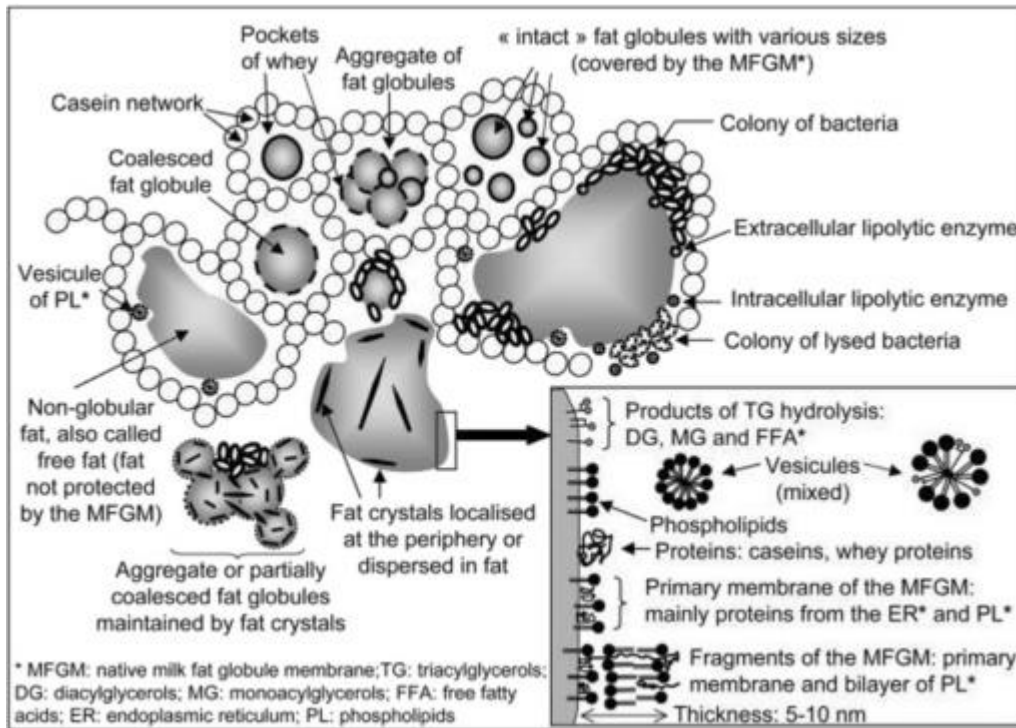
### 5. El contenido de la leche en fosfato cálcico coloidal.

El coágulo enzimático posee flexibilidad, elasticidad, es compacto, impermeable y contráctil; esta última propiedad permite efectuar el desuerado. Su carácter compacto tolera la intervención de acciones mecánicas potentes que facilitan la contracción del coágulo y la salida del suero (Fox *et al.*, 2000b).

## **I.I.IV Estructura del queso**

Se ha estudiado el desarrollo de la estructura del queso y se ha demostrado que ésta proviene principalmente de la interacción entre las caseínas y los componentes de la leche. La matriz formada inicia siendo amplia y se contrae a medida que las micelas de caseína comienzan a coalescer, uniéndose para formar una matriz densa en la cual los glóbulos grasos, lípidos libres, los minerales (solubles y los unidos a las caseínas como el fosfato de calcio coloidal), las proteínas de lactosuero y otros solutos quedan atrapados y distribuidos internamente (Hickey *et al.*, 2015).

La textura y la estructura del queso están estrechamente relacionados con el contenido de lípidos y la distribución de los glóbulos grasos en la matriz del queso, éstas interacciones se muestran en la **Figura 01**.



**Figura 01.** Representación esquemática de la estructura supramolecular de los lípidos lácteos en quesos. Figura tomada de Hickey, C. (2015). Los lípidos pueden existir como glóbulos singulares, glóbulos grasos que coalescen los cuales poseen una membrana compartida y como lípidos libres.

La retención de la grasa influye en la textura, el rendimiento quesero, y en características organolépticas de cada tipo de queso; mientras más grasa se retenga la matriz de proteína, es menos densa. Con lo que se aumenta la viabilidad del agua dando una textura más suave y una mejora en la capacidad de fundir de los quesos.

### I.I.V Desuerado

Un gel coagulado por acción enzimática o por coagulación ácida es algo estable si no se perturba, pero cuando se corta o se le aplica una fuerza externa, la matriz de paracaseína se contrae liberando la fase acuosa del gel conocida como lactosuero; a este proceso se le conoce como sinéresis del gel, con el cual se controla la humedad del queso y a su vez la actividad microbiana y enzimática en el queso por lo tanto la calidad y estabilidad del queso terminado.

Para permitir la salida del lactosuero y promover la deshidratación del queso se utilizan acciones mecánicas para disminuir la cohesión del coágulo, éstas dependen del tipo de queso a producir; por ejemplo, en el caso del queso Cheddar se realiza el corte de la cuajada, se aplica calor (alrededor de 40°C) al agitar la cuajada vigorosamente para obtener el queso.

Es frecuente que posterior al corte de la cuajada, le siga la agitación de los gránulos por un tiempo prolongado, dependiendo del tipo de queso; la acción de la temperatura es fundamental en el desuerado de los geles enzimáticos, su aumento permite disminuir el grado de hidratación de los granos de la cuajada favoreciendo la sinéresis. Para quesos suaves o de alto contenido de humedad, el gel se deja reposar directamente en los moldes y su desuerado ocurre *in situ* a medida que el pH disminuye (Fox *et al.*, 2000d).

#### **I.I.VI Rendimiento quesero**

Es importante conocer el rendimiento quesero debido a su aplicación como una forma para medir la eficiencia del proceso y determinar su viabilidad económica o para medir los resultados de experimentos, lo cual, resulta esencial en la evaluación del potencial de utilidad de un proceso en particular, o del cambio en la tecnología utilizada en el proceso. Comúnmente se expresa como porcentaje de rendimiento a los kilogramos de queso obtenidos por 100 kilogramos de leche. (Fox *et al.*, 2000a). La composición de la leche y, por lo tanto, el rendimiento quesero de una cierta cantidad de leche pueden variar de acuerdo con la especie, la raza, la etapa de lactación, la nutrición y bienestar del animal entre otros factores.

## **I.II Lactosuero**

### **I.II.I Definición**

Se define al lactosuero o suero de leche al líquido obtenido de la coagulación de la caseína de la leche, mediante la acción de enzimas coagulantes de origen animal, vegetal o microbiano, por la adición de ácidos orgánicos o minerales de grado alimentario; acidificación por intercambio iónico hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína (Secretaría de Salud, 2010).

Dependiendo del tipo de queso producido, se obtiene de entre 7 a 8 kg de lactosuero por kilogramo del producto final y se clasifica como dulce o ácido dependiendo del proceso de manufactura del que se obtiene. El lactosuero ácido se obtiene por ejemplo de la producción de queso Cottage y del proceso de manufactura de la caseína ácida. Se estima que aproximadamente el 94 % del lactosuero producido globalmente es dulce siendo el que proviene de la precipitación enzimática de la leche (Kilara y Vanhela, 2004).

### **I.II.II Características de las proteínas de lactosuero**

Las proteínas del lactosuero son de una calidad excepcional, ya que como ocurre con las proteínas del huevo, no son deficientes de ningún aminoácido esencial. Además, su elevado contenido en lisina (11 % en  $\beta$ -Lactoglobulina ( $\beta$ -Lg) y 10-11 % en ( $\alpha$ -La)  $\alpha$ -Lactoalbúmina) hace del lactosuero un complemento ideal para los requerimientos de cualquier organismo en crecimiento. En el plano nutritivo, las proteínas del lactosuero tienen un valor biológico superior al de la caseína. De estas consideraciones se deduce que su extracción para diversos usos sea de gran interés. En la **Tabla 1** se encuentran enlistadas las principales características bioquímicas de las proteínas de lactosuero y el porcentaje en el que se encuentran.

**Tabla 1.** Características de las proteínas presentes en el lactosuero

Proteína	Contenido en lactosuero	Tamaño	Características
<b><math>\beta</math>-Lactoglobulina</b>	$\approx 58 \%$	Contiene 162 aminoácidos con un peso molecular de 18 300 Da	Su estructura cuaternaria varía entre monómeros, oligómeros dependiendo el pH, la temperatura y la fuerza iónica. La zona hidrófoba se puede ligar a la vitamina A
<b><math>\alpha</math>-Lactoalbúmina</b>	$\approx 13 \%$	Contiene 123 aminoácidos con un peso molecular de 14 146 Da	Modifica la actividad de la enzima galactosiltransferasa La presencia de iones $\text{Ca}^{2+}$ la hace más estable al calor
<b>Albúmina Sérica Bovina</b>	$\approx 6 \%$	Aproximadamente tiene 580 aminoácidos y con un peso molecular de 69 000 Da	Al ser aislada su forma es idéntica a la seroalbúmina sanguínea Tiene como función acarrear ácidos grasos libres
<b>Inmunoglobulinas</b>	$\approx 8 \%$	Tienen un peso molecular de 20 - 25 000 Da y de 50-70 000 Da	Actividad biológica como anticuerpos
<b>Proteosa peptona</b>	$\approx 1.1 \%^1$	El tipo 3 se encuentra sólo en lactosuero y tiene un peso molecular de 20 000 Da	Estas moléculas se derivan de la proteólisis de las $\beta$ -caseínas, su concentración aumenta con el tiempo
<b>Lactoferrina</b>	$\approx 3 \%$	Tiene cerca de 680 aminoácidos y presenta un peso molecular de 80 000 Da	Glicoproteína unida a $\text{Fe}^{3+}$ , tiene propiedades bactericidas y fisiológicas

(Aguilera y Rademacher, 2004) <sup>1</sup> del total de las proteínas en leche



Por otra parte, el lactosuero es un agente extremadamente contaminante ya que contiene 35 000 mg/L de demanda de bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es una estimación de la cantidad de oxígeno que es requerido por una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días y 68 000 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO), que es la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

En Australia, se estimó una obtención de lactosuero anual de 103 millones de toneladas para el año 1992. Cerca del 26 % del lactosuero que producen es transformado mediante tecnología de ultrafiltración en concentrado de lactosuero en polvo, lactosuero reducido en lactosa y WPC (Whey Protein Concentrate), 28 % es utilizado como alimento para ganado, 5 % es utilizado como reemplazo de calostro, 13 % se transforma en lactosuero en polvo, 19 % se utiliza como fertilizante y 10 % se trata como residuo industrial (Mangino, 1992).

Los concentrados de proteína de lactosuero (WPC, 30-80 % de proteína) se obtiene mediante ultrafiltración y son comúnmente utilizados como ingredientes funcionales en la preparación de geles, espumas y emulsiones (Pearce y Zadow, 1992).

## **I.III Quesos análogos**

### **I.III.I Definición**

Se han desarrollado a nivel mundial, productos conocidos como quesos procesados análogos, los cuales están hechos a partir de mezclas de proteínas lácteas o vegetales con grasa vegetal o no vegetal. La importancia de los quesos análogos está en que el producto final tiene prácticamente las mismas propiedades funcionales, nutritivas y organolépticas que un queso natural.

Se ha incrementado el desarrollo de los quesos análogos debido a:

- La simplicidad del proceso de manufactura.
- El reemplazo de ingredientes lácteos por productos vegetales más económicos.
- No se requiere de un proceso de maduración.
- Se pueden variar las formulaciones para ser modificadas según requisitos particulares en cuanto a textura.

No se cuentan con la estadística que indique la importancia de los quesos análogos en la actual situación del mercado de productos lácteos mundiales; sin embargo se conoce que en Estados Unidos de América, la mayor producción de queso análogo es del tipo mozzarella, el cual es para su utilización en pizzas; mientras que en Europa, el mercado es casi inexistente (Bachmann, 2001).

### **I.III.II Formulaciones**

La formulación involucra la selección de los ingredientes para dar con una composición y textura óptima de acuerdo con el tipo de queso análogo a desarrollar. En la **Tabla 2** se encuentran los ingredientes más frecuentemente utilizados a distintos intervalos de inclusión en la formulación de quesos análogos.

**Tabla 2.** *Ingredientes y porcentajes de adición para la formulación de quesos análogos*

<b>Ingredientes</b>	<b>Porcentaje de adición</b>
<b>Agua (incluyendo el condensado)</b>	43.5 - 60
<b>Caseína y caseinatos</b>	11 - 28
<b>Aceite vegetal</b>	0 - 28
<b>Almidón</b>	0 - 25.8
<b>Sales emulsificantes</b>	0.5 - 4
<b>Agentes acidificantes</b>	0.1 - 1.6
<b>Cloruro de Sodio</b>	0.7 - 2
<b>Conservadores</b>	0.09 - 1.1
<b>Estabilizantes</b>	0.35 - 5
<b>Colorantes</b>	0.2 - 2
<b>Saborizantes y potenciadores del sabor</b>	0.2 - 5

(O’Riordan *et al.*, 2011)

La funcionalidad del queso se define como el comportamiento que tiene durante todas las etapas de preparación y consumo del alimento en el que se incorpora, éstas propiedades que contribuyen a su funcionalidad se agrupan en tres tipos: las propiedades relacionadas con la textura, las propiedades de fundido y las propiedades relacionadas con el sabor/aroma; la funcionalidad de un queso análogo se puede ver sustancialmente afectada por los cambios en la formulación en específico, la hidratación de la proteína es una de las etapas más importantes (O’Riordan *et al.*, 2011).

En general se ha encontrado que la sustitución de caseína con proteínas de lactosuero en quesos análogos y procesados, reduce su fluidez haciendo a éstos productos más convenientes en aplicaciones alimenticias en las que no se desea tener una alta capacidad para fundir; además sugieren que las proteínas de lactosuero interactúan con la matriz de

caseína como un relleno activo o como un agente que fortalece y refuerza la estructura (Mleko y Foegeding, 2000).

Recientemente, investigadores han encontrado una forma de mejorar el aspecto nutricional de los quesos análogos debido a un parcial reemplazo del contenido de lípidos con ingredientes que proveen ciertos beneficios a la salud, como por ejemplo el uso de inulina y almidones resistentes (Hennelly *et al.*, 2006).

### **I.III.III Aditivos permitidos**

En México no se cuenta con una normatividad sobre quesos análogos, sin embargo se aplican las especificaciones para los aditivos alimentarios de la normatividad aplicada para los quesos procesados de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, y del CODEX GENERAL STANDARD for process(ed) cheese and spreadable process(ed) cheese CODEX STAN A-8(b)-1978 (CODEX, 1987) los cuales se enlistan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Especificaciones para los aditivos alimentarios permitidos en quesos procesados

Clase	Aditivo	Especificaciones
<b>Acidificantes/ Agentes modificadores de pH</b>	Ácido cítrico	40 g /kg (sólidos o combinados)
	Ácido fosfórico	
	Ácido láctico	
	Ácido acético	
	Carbonato de calcio o/y bicarbonato de sodio	
<b>Emulsificantes</b>	Citratos de sodio, potasio y calcio	9 g/kg (total de fosfatos)
	Mono-, di-, y polifosfatos de sodio, potasio y calcio	
<b>Espesantes</b>	Gomas: arábica, algarrobo, karaya y guar	8 g/kg
	Agar-agar	
	Alginatos	
	Carragenina	
	Pectina	
	Grenetina	

<b>Colorantes</b>	Anato	600 mg/kg (solos o combinados)
	$\beta$ -caroteno	
	Clorofila	BPM's
	Riboflavina	
	Curcumina	
	Oleoresina de paprika	
	Dióxido de titanio	
<b>Conservadores</b>	Sorbato de sodio y potasio	3 g/kg (sólitos o combinados), expresados como ácidos
	Ácido propiónico y sus sales de sodio y calcio	
	Nisina	12.5 mg de nisina pura por kg

(CODEX, 1987; Secretaria de Salud, 2010)

### ***I.III.III.I El papel de los carragenatos y de la inulina en productos lácteos.***

Los carragenatos son polisacáridos aniónicos lineales extraídos de algas rojas (Rhodophyceae), consisten en enlaces alternados de tipo  $\alpha$ -1,4 y  $\beta$ -1,3 unidos a residuos de galactosa anhidra. Hay tres fracciones mayores ( $\kappa$ -kappa,  $\iota$ -iota y  $\lambda$ -lambda) en las cuales varía el número y la posición de grupos sulfato en el dímero de galactosa:  $\kappa$ -carragenina y  $\iota$ -carragenina requieren de temperatura para pasar de un estado desordenado (en forma de rollos o madejas) a un estado ordenado en forma de hélices (presentes en solución acuosa), ambos tipos producen geles y su fuerza está relacionada con la presencia de cationes,  $\kappa$ -carragenina es sensible a potasio y  $\iota$ -carragenina a iones calcio; mientras que  $\lambda$ -carragenina, al formar geles poco estables, se le considera un agente espesante (Prajapati *et al.*, 2014).

El tipo de interacciones que se llevan a cabo entre los carragenatos y las proteínas de la leche depende de si la temperatura está por arriba del punto de transición de su estado madeja/hélice: si está por debajo de ésta temperatura, existe una adsorción de las partes helicoidales de las cadenas de carragenina en las micelas de caseína (en concentraciones menores a 0.2 %); mientras que en concentraciones mayores a 0.2 %, además de la estructura descrita anteriormente, se forma una red

tridimensional de los polímeros, en la cual las hélices dobles constituyen los puntos de unión de las cadenas de polímero (Cerníková *et al.*, 2008).

La inulina pertenece a un grupo de carbohidratos conocidos como fructanos, estos se componen de una mezcla de polímeros de fructosa y oligómeros unidos mediante enlaces  $\beta$ -2,1 terminando en un residuo de glucosa con una longitud que varía de 2 a 60 unidades de fructosa. Es considerado como prebiótico, debido a que consiste en fibras solubles y fermentables que no pueden ser digeridas por amilasas y otro tipo de enzimas en la sección alta del tracto intestinal. Se obtienen a partir de plantas dicotiledóneas y muchas especies de frutas (plátano) y vegetales (raíces de espárragos, cebollas).

La formación de geles con inulina depende de: su concentración, la temperatura, la presencia de iones calcio, el pH y la presencia de otros modificadores reológicos. Su interacción con el agua se describe como una adsorción, hidratación, absorción, unión o retención de agua (Karimi *et al.*, 2015).

#### **I.III.IV Proceso de producción**

El proceso para la obtención de queso análogos consiste en mezclar los ingredientes (**I.III.II. Formulación**) que, al someterse a un calentamiento, producen una emulsión estable del tipo lípido en agua; la cual, al enfriarse da como resultado un producto homogéneo.

En general, el agua y el caseinato se mezclan a una temperatura aproximado de 50°C con la presencia de sales emulsificantes (llamadas así por diversos autores). La ayuda del calor y el movimiento constante promueven una serie de cambios fisicoquímicos en la mezcla, resultando en la rehidratación de la parte insoluble de la paracaseína y su conversión como un agente emulsificante. La adición de agentes emulsificantes causa

en la mezcla que el valor pH se incremente (pH alrededor de 8-9), en ese valor de pH se favorece el secuestro del calcio por el fosfato de sodio. En este punto se añade la parte grasa y se incrementa la temperatura alrededor de 80°C (70-95°C).

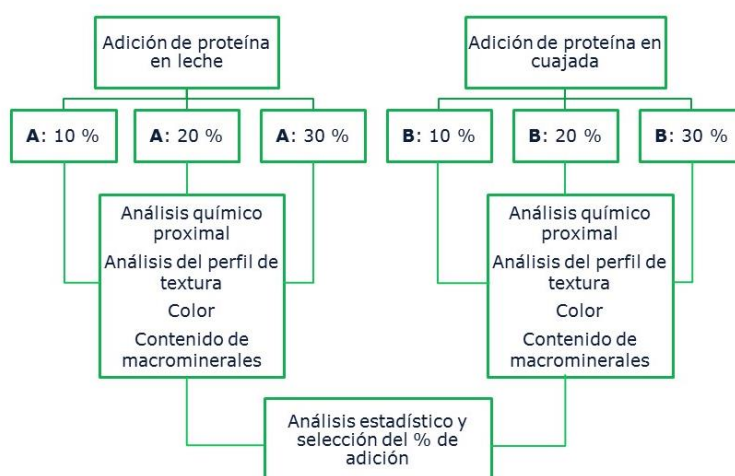
La pasta resultante se cocina con agitación y se adicionan acidulantes para ajustar el pH; una vez cocido, el queso análogo se debe enfriar a 4° C para mantener la textura y apariencia final del producto terminado (O'Riordan *et al.*, 2011).

## Capítulo II. Metodología

### II.I Producción de los quesos frescos con la incorporación de la proteína de suero

#### II.I.I Efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en queso fresco

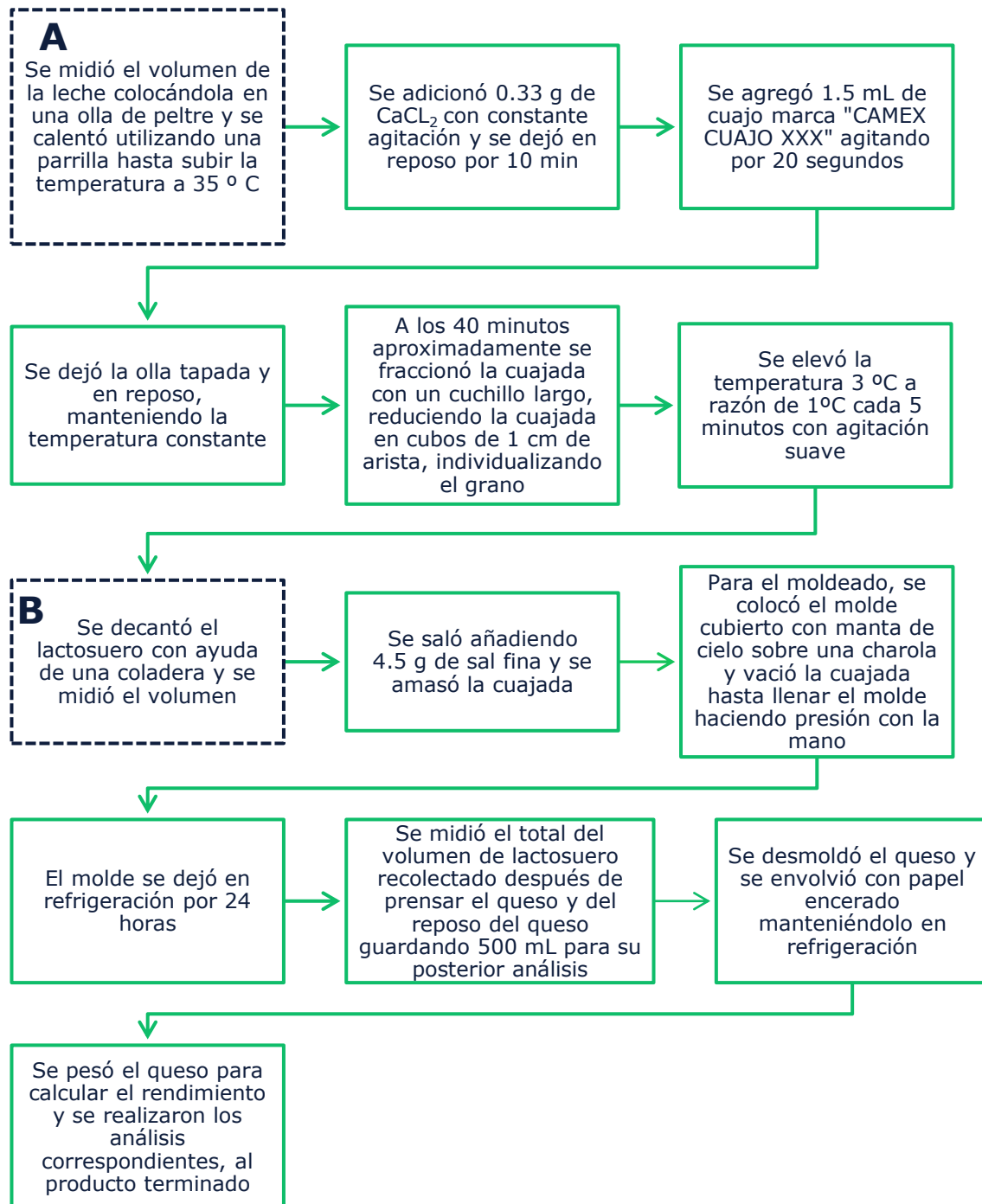
Se utilizó 1 litro de leche entera de vaca estandarizada y homogenizada, para producir cada uno de los quesos del diagrama de trabajo en la **Figura 02**. Además, se hizo un queso testigo utilizando 1.5 L de leche entera estandarizada y homogenizada, para la comparación de los resultados.



**Figura 02.** Diagrama utilizado para estudiar el efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en la elaboración de quesos frescos

Para elaborar cada queso se siguió el diagrama propuesto en la **Figura 03**. En los quesos en los que se adicionó la proteína en leche, se hizo el cálculo (**Anexo A.1**) para que, en base a la cantidad de proteína de la leche, se agregaran 10, 20 y 30 % más de proteína de lactosuero marca Hilmar™ 8200 WPC<sub>80</sub> % (78 % proteína en base húmeda); la cual se disolvió al calentar la leche a 35° C (paso **A**, **Figura 03**) antes de adicionar la sal de CaCl<sub>2</sub>.



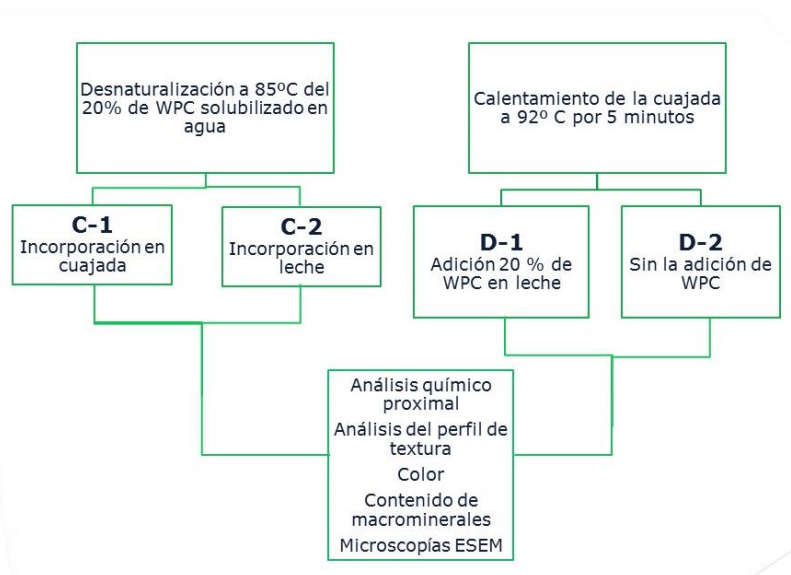


**Figura 03.** Diagrama del procedimiento de la producción de quesos frescos incorporando el WPC en leche (A) y la cuajada (B).

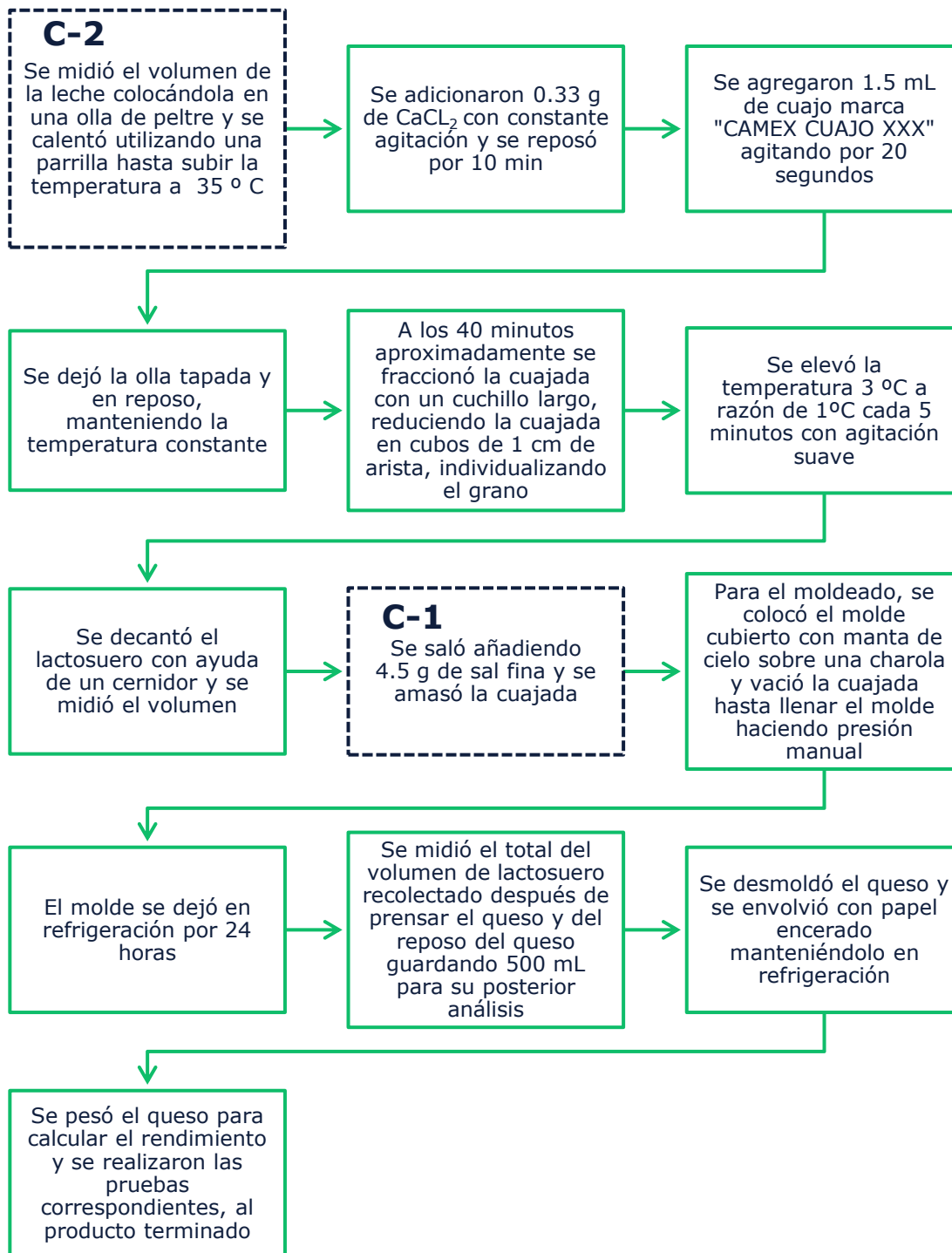
## II.I.II Modificación en el proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero

Con base en los resultados obtenidos en la primera parte (II.I.I) se procedió a realizar el estudio sobre el efecto de la modificación del proceso de producción de los quesos frescos para incrementar el rendimiento quesero y de proteína total. Se siguió el orden de la **Figura 04**, para producir 4 quesos utilizando 1.5 L de leche estandarizada: 2 quesos desnaturando la proteína de lactosuero (C-1 y C-2) y 2 quesos con calentamiento de la cuajada a 85°C por 5 minutos (D-1 y D-2).

Para los quesos **C-1** y **C-2** se disolvieron 12 g de WPC 80 % en 30 mL de agua, correspondientes a la adición de 20 % de proteína de lactosuero con respecto a 1.5 L de leche (**Anexo A.1**); esta mezcla se llevó a una temperatura de 85°C con agitación constante y una vez desnaturada la proteína se incorporó homogéneamente en la cuajada para obtener el queso **C-1** (paso **C-1**, **Figura 05**), y en la leche para obtener el queso **C-2** (paso **C-2**, **Figura 05**).

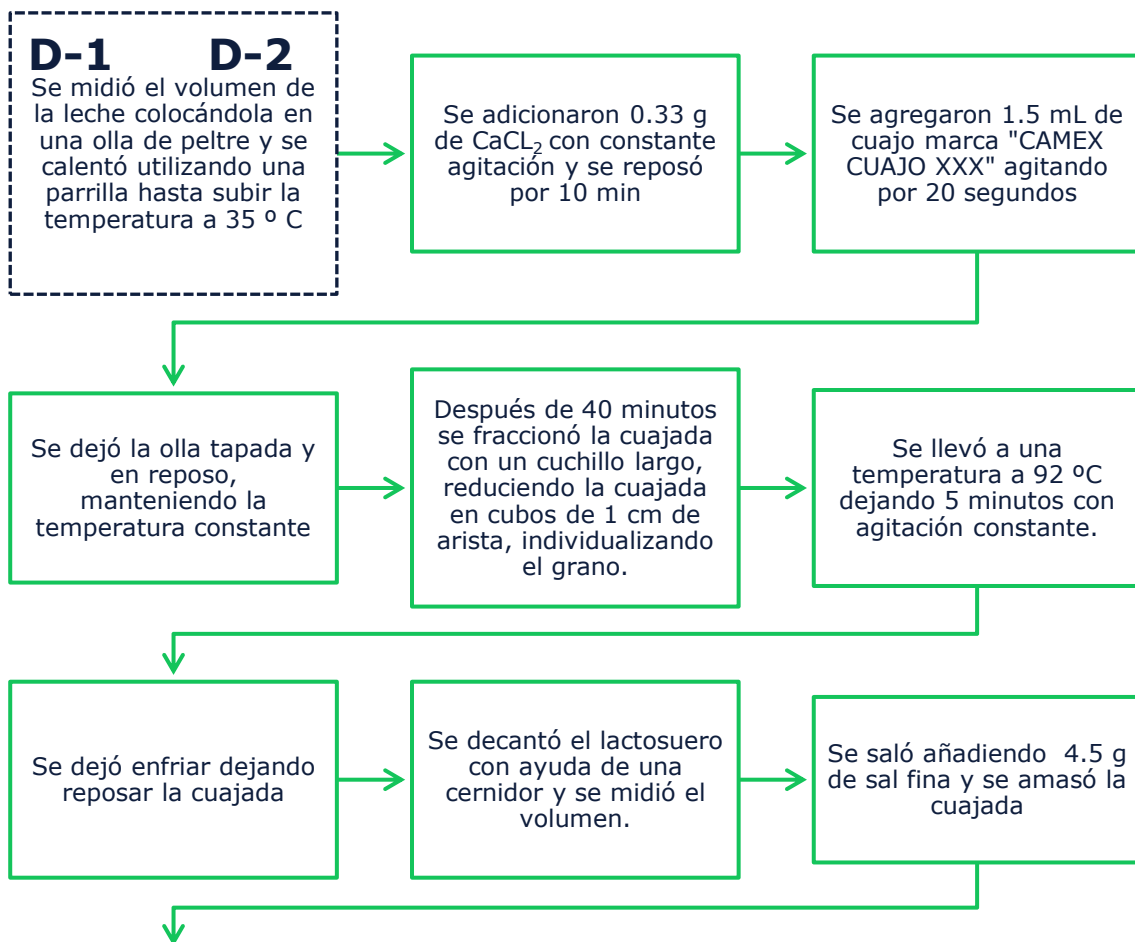


**Figura 04.** Diagrama de las modificaciones en el proceso de producción de quesos frescos para la incorporación de proteínas del lactosuero

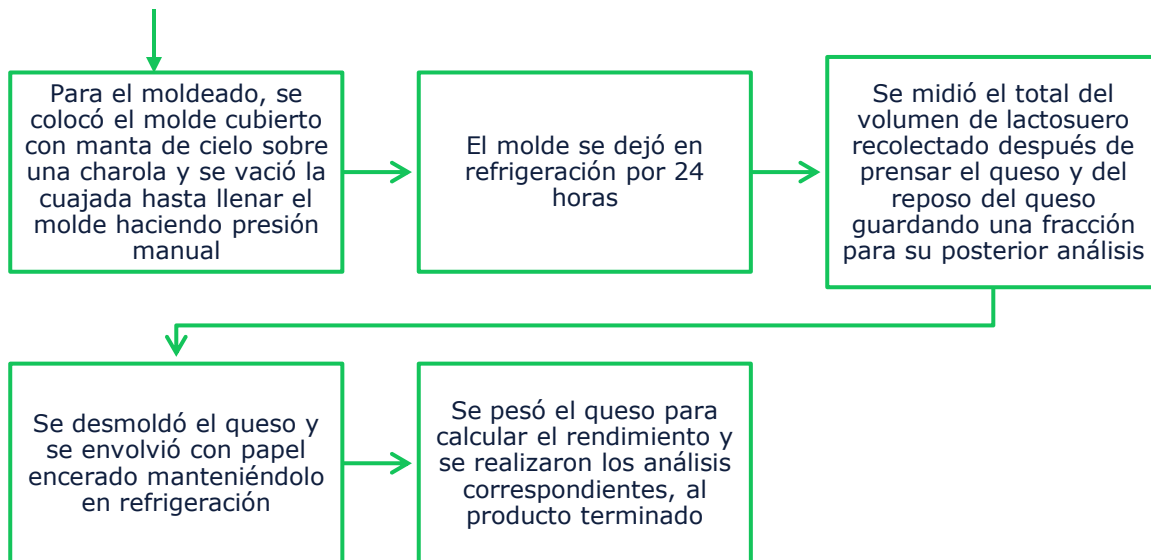


**Figura 05.** Diagrama del proceso para la incorporación de 20% del concentrado de proteína de lactosuero (WPC) desnaturalizado en leche (C-2) y en cuajada (C-1).

Para desnaturalizar a las proteínas del lactosuero dentro del gel (producto de la coagulación enzimática de la leche), se elaboraron los quesos **D-1** y **D-2** en los que se modificó el proceso al calentar la cuajada por 5 minutos, se siguió el diagrama propuesto en la **Figura 06**; para el caso del queso **D-1** se adicionaron 12 g de WPC 80 % (+20 % de proteína correspondiente a 1.5 litros de leche (**Anexo A.1**)) a la leche en el paso 1 de la **Figura 06** y se homogenizó hasta no encontrar grumos en la leche.



**Figura 06.** Diagrama del proceso de la elaboración del queso con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos



**Continuación de la figura 06.** Continuación del diagrama del proceso de la elaboración del queso con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos

### **II.I.III Desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero**

Se establecieron la cantidad de aditivos para llegar a la formulación inicial y se retomó un estudio previamente hecho en la estancia estudiantil seleccionando al concentrado de proteína de lactosuero (WPC 80 %) como única fuente de proteína, estableciendo el diagrama del proceso para la producción del queso análogo (**Figura 30 Anexo A.II.I**).

Se utilizaron como ingredientes para la elaboración de los quesos análogos: concentrado de proteína de lactosuero (Hilmar™ 8200 WPC 78 % proteína total en base húmeda), grasa butírica (80 % grasa); citrato y pirofosfato de sodio como reguladores de pH y promotores de hidratación de la fuente de proteína, carragenina (FlanJelly®, mezcla de tipos) como agente gelificante, ácido láctico como acidulante, dióxido de titanio como colorante y cloruro de sodio como aportador del gusto salado; todos los aditivos de grado alimenticio y con proveedor de

Droguería Cosmopolita (Fichas técnicas ubicadas en **Anexo A.II.II**). También se utilizó inulina marca BIO-AGAVE (proveedor Ingredion), como prebiótico, agente estabilizante y sustituto de grasa.

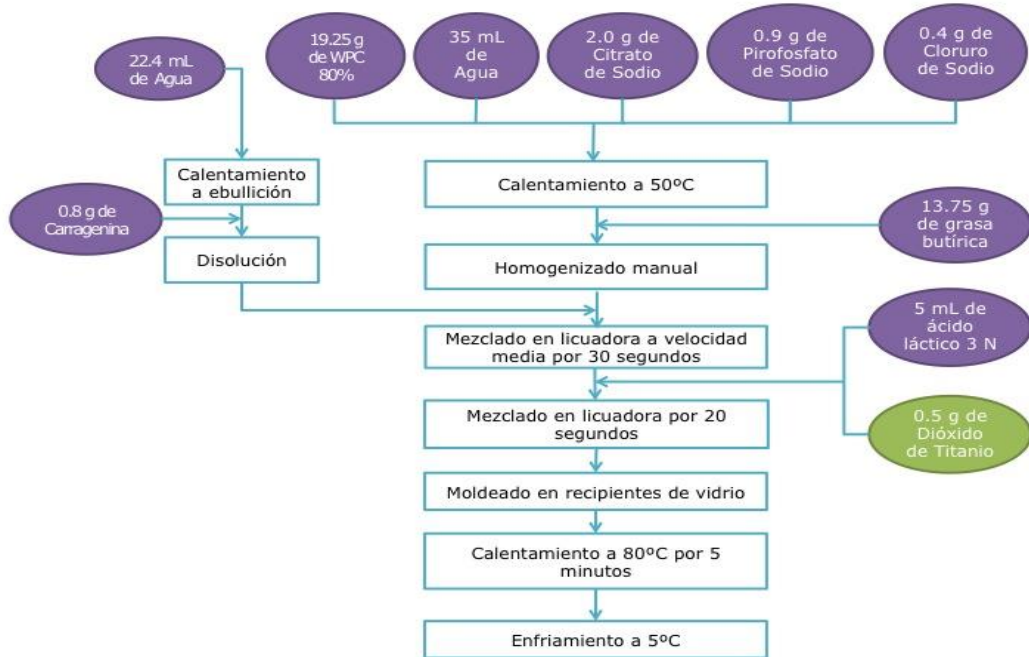
Se planificó el diseño estructurado en la **Tabla 4**, manteniendo como variables fijas la cantidad de proteína de lactosuero, carragenina y citrato y pirofosfato de sodio. Se modificó primeramente el pH del queso análogo (siguiendo el diagrama de la **Figura 31, Anexo A.II.I** para obtener el *queso análogo 2*), después se modificó el sabor del producto (siguiendo el diagrama de la **Figura 32, Anexo A.II.I** para obtener el *queso análogo 3*), el color del queso análogo (siguiendo el diagrama de la **Figura 07**, para obtener el queso análogo 4) y por último, la sustitución de la grasa con inulina (siguiendo el diagrama de la **Figura 07**, para obtener el queso análogo 5). Para la elaboración en cada caso, se obtuvieron 100 g de queso análogo.

**Tabla 4.** Formulaciones del queso análogo expresadas en porcentajes.

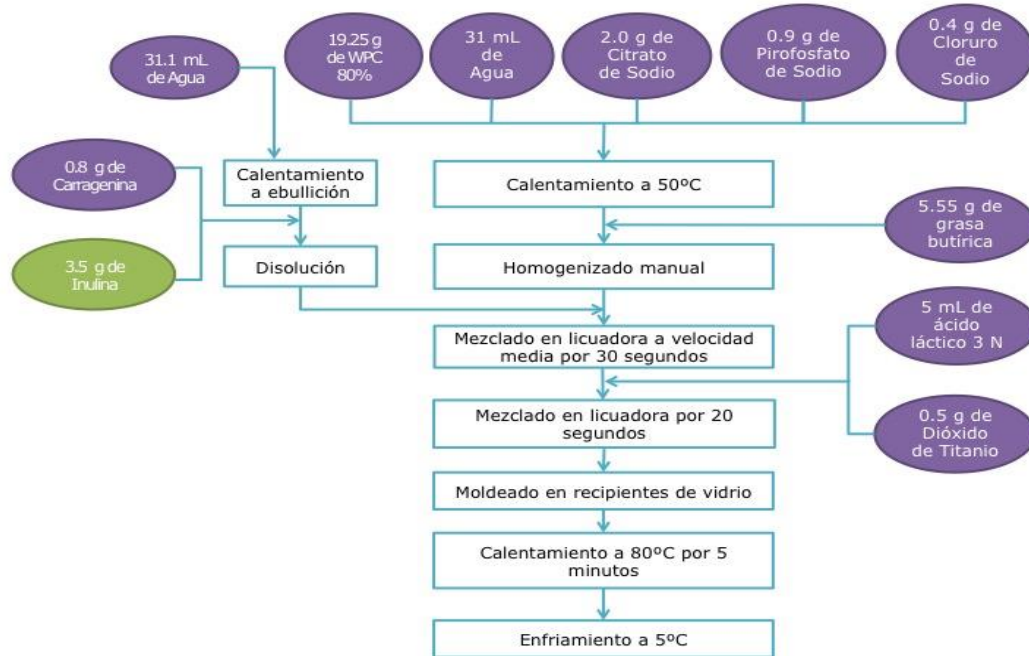
Formulación					
Ingredientes y aditivos	1	2	3	4*	5**
Citrato de Sodio	2	2	2	2	2
Pirofosfato de Sodio	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
WPC (78 % proteína total)	19	19	19	19	19
Grasa butírica	13	13	13	13	6.6
Carragenina	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Ácido Láctico ***		1.35	1.35	1.35	1.35
Cloruro de Sodio			0.4	0.4	0.4
Dióxido de Titanio				0.5	0.5
Inulina					3.5

Para llevar a 100 % se adicionó agua potable. \* Queso análogo llamado "Ana-Or" para futuras referencias.

\*\*Queso análogo llamado "Ana-Inu" para futuras referencias. \*\*\* Expresado en porcentaje de ácido láctico (88% pureza), pero adicionado en forma de disolución [3 N].



**Figura 07.** Diagrama del proceso de elaboración del queso análogo original "Ana-Or", modificando el color con dióxido de titanio.



**Figura 08.** Diagrama del proceso de elaboración del queso análogo con inulina "Ana-In", formulación final.

Una vez obtenidos los quesos análogos original (**Ana-Or**) y con inulina (**Ana-Inu**), se prosiguió a realizar lotes de 400 gramos cada uno de ellos para realizar el análisis químico proximal (por triplicado para cada determinación), la cuantificación de los macrominerales, la medición del color, las microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM) y los análisis de perfil de textura. Además, al queso análogo 3 se le midió color para poder cuantificar la diferencia del color entre ambos quesos.

## II.II Composición química de los quesos y lactosueros

Se realizaron los análisis químicos proximales primeramente del queso testigo y los 6 quesos elaborados en la parte del efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en quesos frescos (**A: 10, 20, 30 % y B: 10, 20, 30 %**) y después de los 4 quesos obtenidos de la modificación del proceso de producción (**C-1, C-2, D-1 y D-2**), así como los quesos análogos seleccionados. Los métodos utilizados se ubican en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** Métodos utilizados para los análisis químicos proximales.

	Determinación	Método para su cuantificación
<b>Queso</b>	Humedad (sólidos totales)	ET ISO 5534:2012 (E) Determinación de sólidos totales <sup>1</sup>
	Proteína total	AOAC 920.105 Determinación de nitrógeno total por Kjeldahl (factor 6.38) <sup>2</sup>
	Grasa	ET ISO 1735:2012 (E) Método de Mojonnier <sup>3</sup>
	Cenizas	AOAC 945.46 <sup>2</sup>
	Carbohidratos reductores	Método DNS <sup>4</sup>
	Fibra dietética total <sup>1</sup>	Método enzimático AOAC 985.29 <sup>2,5</sup>
<b>Lactosuero</b>	Humedad (sólidos totales)	AOAC 925.23 <sup>2</sup>
	Proteína total	AOAC 920.105 (factor 6.38) <sup>2</sup>
	Grasa	Método de Gérber <sup>6</sup>
	Cenizas	AOAC 945.46 <sup>2</sup>
	Carbohidratos reductores	Método DNS <sup>3</sup>

<sup>1</sup>(ESA, 2012a) <sup>2</sup>(AOAC, 1990) <sup>3</sup>(ESA, 2012b) <sup>4</sup>(Facultad de Química, 2007)  
<sup>5</sup> Método utilizado únicamente para analizar los quesos análogos Original y con Inulina. <sup>6</sup>(Secretaría de Economía, 2004)



### II.III Contenido de macrominerales.

Para cuantificar los macrominerales calcio, sodio, magnesio, potasio y fósforo se partió de cada una de las cenizas obtenidas para su cuantificación (por triplicado para cada muestra) y se disolvieron con 5 mililitros de ácido clorhídrico 25 % v/v, se aforaron con agua desionizada hasta un volumen total de 50 mililitros. Las diluciones se filtraron utilizando papel Watman no. 2; en caso de requerirlo, las muestras se diluyeron con agua desionizada en una relación 1:100 ó 1:50 para ajustar a las curvas de calibración de cada uno de los minerales, se siguieron los métodos ubicados en la **Tabla 6** para cuantificar cada mineral.

**Tabla 6.** *Métodos utilizados para la cuantificación de los macrominerales.*

Mineral	Método para su cuantificación
Sodio	AOAC 973.53 Método por absorción atómica en agua.
Calcio	AOAC 965.09 Otros nutrientes (minoritarios) en fertilizantes
Magnesio	AOAC 974.27 Método por absorción atómica en agua.
Potasio	AOAC 973.53 Método por absorción atómica en agua.
Fósforo	AOAC 970.39 Método espectrofotométrico, reacción con Molibdovanadato

(AOAC, 1990)

Se utilizó el equipo de Absorción atómica (Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrometer 3110), utilizando lámparas de multielementos (Perkin Elmer Lumina™ Lamp) y estándares de cada elemento (marca Sigma Aldrich).

### II.IV Color CIE L\*a\*b\*

Una vez obtenidos los quesos se cortaron 3 rebanadas de cada queso y se midió el color de cada una, utilizando un medidor de Colorimetría CR-400 marca Konica Minolta (Minolta, 2002).

Se utilizó la escala de color especificada por la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE); las coordenadas evalúan L\* la luminosidad (0 para negro, 100 para blanco), a\* que indica la cromaticidad que va de (-) verde a (+) rojo, y b\* que indica la cromaticidad de (-) azul a (+); utilizando un blanco de (L\*= 98.25, a\*=-0.1y b\*=0.015).

Se calculó  $\Delta E^*_{ab}$  para indicar la magnitud del cambio total del color, utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E^*_{ab} = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

## **II.V Análisis del perfil de textura**

Una vez obtenidos cada uno de los quesos, se transportaron en una hielera para mantener una temperatura de 4°C, se cortaron en 4 cubos de 2.5 cm de arista y se llevaron a cabo los perfiles de análisis de textura en el Laboratorio 4-D Anexo, de Evaluación Sensorial ubicado en el Edificio A de la Facultad de Química, utilizando el Texturómetro TA-TX2, con una sonda de aluminio de 50 mm, una velocidad de ensayo de 1mm/seg y un porcentaje de compresión de 35% (Escobedo, 2010).

## **II.VI Microscopías Electrónicas de Barrido Ambiental (ESEM).**

Se seleccionaron los quesos: testigo, **A 20 %**, **B 20 %**, **C-1**, **C-2**, **D-1** y **D-2**, los quesos análogos original (**Ana-Or**) y con inulina (**Ana-In**) y se les realizó microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM por sus siglas en inglés: Environmental Scanning Electron Microscopy).

Para preparar la muestra una vez obtenidos cada uno de los quesos, se cortaron utilizando un bisturí sin relieve para obtener piezas de aproximadamente 0.5 centímetros de lado con 2 milímetros de alto; las piezas se congelaron y se liofilizaron utilizando un equipo marca Edwards

Freeze Dryer, Super Modulyo dejando las muestras bajo vacío por 96 horas.

Una vez obtenidas las muestras de los quesos liofilizados (para garantizar no modificarle la estructura debido al tiempo de espera para utilizar el equipo) se observó la microscopía utilizando el equipo JEOL Scanning Electron Microscope (laboratorio de microscopía de la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación USAI, de la Facultad de Química), modelo JSM-5900LV con una presión de 8Pa sin recubrir la muestra; realizando ampliaciones para cada una de las muestras de x50, x250, x700 y x1500 (El-Bakry y Sheehan, 2014). Las imágenes obtenidas se les ajustó el brillo y contraste utilizando el programa ImageJ Versión 1.51.

## **II.VII Evaluación Sensorial: Pruebas con consumidores.**

Para realizar la evaluación sensorial del queso análogo con Inulina, se prepararon 800 gramos de queso análogo y se dividió en fracciones de tamaño de un bocado, las cuales se ofrecieron a 100 consumidores al lado de un punto de venta de productos lácteos. Se les pidió que contestaran el cuestionario de la evaluación sensorial (**Figura 32, Anexo A.III**) y al finalizar su evaluación se les ofreció un chocolate como recompensa.

## **II.VIII Análisis Estadístico**

De todos los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza utilizando el programa Prism Versión 6 de GRAPHPAD SOFTWARE comparando con  $\alpha=0.5$  y se utilizó la prueba de desigualdad de Sidak. Para la evaluación sensorial, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el mismo programa; para cada atributo se utilizó la prueba de t de student para calcular si las medias son iguales a un valor anclado a 7 ("Me gusta"), de igual manera se utilizó la misma prueba estadística para comparar la escala de justo como me gusta en cuanto a la textura del queso análogo, anclando el valor de la media a 3.

## **Capítulo III. Resultados y discusión del efecto de la incorporación de proteínas de lactosuero en queso fresco.**

### **III.I Efecto de la incorporación de las proteínas de lactosuero en la leche**

#### **III.I.I Composición química**

Debido a que la composición de un queso depende de entre otros factores de la calidad de la leche, la relación proteína/grasa y condiciones del proceso, se decidió realizar un queso testigo para tener como referencia la composición del queso dependiendo de las condiciones experimentales del proceso.

En la **Tabla 7** se muestra la composición química de los quesos adicionados con proteína de lactosuero en leche. El queso A+30 % presentó una mayor humedad (+1.8 %) con respecto al queso testigo mientras que A+10 % y A+20 % no presentaron diferencia entre sí. En cuanto a la cantidad de proteína total de los quesos, los tres quesos presentaron un contenido de proteína total mayor que el queso testigo, siendo el queso A+20 % presentó una cantidad mayor de proteína total (+1.02 %) que el queso testigo. El contenido de grasa fue estadísticamente igual entre los quesos Testigo y A+10 % así como en A+20 % y A+30 %, mientras que, en el contenido de carbohidratos, hubo un aumento conforme incrementó el porcentaje de adición de la proteína de lactosuero.

Los resultados indicaron que al adicionar más proteína de lactosuero a la leche y en su posterior formación del gel, se alteró la red tridimensional formada variando los componentes finales en el queso.

**Tabla 7.** Composición química del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en porcentaje

	Testigo	A +10 %	A +20 %	A +30 %
<b>Humedad</b>	60.34 <sup>b</sup> ± 0.29	61.11 <sup>b</sup> ± 0.26	61.28 <sup>b</sup> ± 0.13	62.14 <sup>a</sup> ± 0.16
<b>Materia seca</b>	39.66 <sup>a</sup> ± 0.29	38.89 <sup>a</sup> ± 0.26	38.72 <sup>a</sup> ± 0.13	37.86 <sup>b</sup> ± 0.16
<b>Proteína total</b>	14.93 <sup>c</sup> ± 0.19	15.34 <sup>b</sup> ± 0.14	15.95 <sup>a</sup> ± 0.22	15.44 <sup>b</sup> ± 0.24
<b>Grasa</b>	18.37 <sup>a</sup> ± 0.23	17.06 <sup>a</sup> ± 0.34	15.79 <sup>b</sup> ± 0.10	15.29 <sup>b</sup> ± 0.10
<b>Carbohidratos</b>	4.16 <sup>d</sup> ± 0.06	4.43 <sup>c</sup> ± 0.08	5.08 <sup>b</sup> ± 0.04	5.15 <sup>a</sup> ± 0.03
<b>Ceniza</b>	2.19 <sup>a</sup> ± 0.02	2.06 <sup>a</sup> ± 0.04	1.90 <sup>b</sup> ± 0.10	1.98 <sup>a</sup> ± 0.03

a-d Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

En la **Tabla 8** se muestran los resultados de la composición de los lactosueros obtenidos de la elaboración de los quesos a los que se les adicionó la proteína de lactosuero en la leche, hubo un aumento de los sólidos encontrados en el lactosuero conforme al incremento en la adición de la proteína indicando que dichos sólidos se retuvieron en el lactosuero, dada su afinidad por la fase líquida.

Al comparar los resultados del análisis químico proximal del lactosuero testigo contra los valores típicos de concentración (Fox *et al.*, 2000f), hubo una cantidad mayor de sólidos totales (+1.03 %), una mayor cantidad de grasa (+0.18 %) y ceniza (+0.81 %) en el lactosuero testigo que, en los valores típicos; pero hubo una concentración menor de proteína total (-0.03 %) y del contenido de lactosa (-0.26 %). Estos valores son dependientes de la calidad de la leche con la que se obtuvo el queso, fue por ello que se realizó el análisis del lactosuero testigo, para comparar los resultados del lactosuero generado del queso y tomar éstos como futuras referencias.

**Tabla 8.** Composición química de los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en porcentaje

	Testigo	A +10 %	A +20 %	A +30 %
<b>Humedad</b>	92.37 <sup>a</sup> ± 0.13	91.33 <sup>b</sup> ± 0.16	90.88 <sup>c</sup> ± 0.04	89.13 <sup>d</sup> ± 0.05
<b>Materia seca</b>	7.63 <sup>d</sup> ± 0.13	8.67 <sup>c</sup> ± 0.16	9.12 <sup>b</sup> ± 0.04	10.87 <sup>a</sup> ± 0.05
<b>Proteína total</b>	0.63 <sup>d</sup> ± 0.07	0.84 <sup>c</sup> ± 0.11	1.19 <sup>b</sup> ± 0.09	1.64 <sup>a</sup> ± 0.04
<b>Grasa</b>	0.2 <sup>d</sup> ± 0.0	0.4 <sup>c</sup> ± 0.1	0.5 <sup>b</sup> ± 0.0	0.7 <sup>a</sup> ± 0.0
<b>Carbohidratos</b>	4.94 <sup>c</sup> ± 0.12	5.10 <sup>b</sup> ± 0.10	5.34 <sup>a</sup> ± 0.07	5.32 <sup>a</sup> ± 0.13
<b>Ceniza</b>	1.31 <sup>c</sup> ± 0.09	1.37 <sup>c</sup> ± 0.04	1.59 <sup>b</sup> ± 0.03	1.83 <sup>a</sup> ± 0.01

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

### III.I.II Macrominerales

Al comparar los valores de los macrominerales cuantificados en el queso testigo contra los valores de referencia para quesos frescos (Fox *et al.*, 2000c), se encontró que la concentración de sodio fue menor (-400 mg/100g) y también la concentración de fósforo fue menor (-100mg/100g); las concentraciones de calcio y magnesio están en las concentraciones dentro de los intervalos normales, mientras que la concentración de potasio fue mayor a la referencia (+70 mg/100g). Dadas las diferencias, se decidió comparar las muestras obtenidas con los valores de los minerales del queso testigo.

Los resultados de la **Tabla 7** sobre el contenido de ceniza, indicaron que hubo un incremento en la concentración de la ceniza en los quesos A+10, +20 y +30 %, por lo que en los resultados de la **Tabla 9** reflejaron la variación en la concentración de los minerales cuantificados de los quesos; la disminución en la cantidad de calcio conforme incrementó la adición de la proteína de lactosuero y el incremento en la concentración de sodio en los quesos, pudo deberse a que con la adición de la proteína

de lactosuero se generó una competencia de los solutos disueltos en el lactosuero residual en la matriz del queso.

**Tabla 9.** Contenido de macrominerales para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en mg/100 g de queso

Mineral	Testigo	A +10%	A +20%	A +30%
Calcio	526.2 <sup>a</sup> ± 8.7	426.4 <sup>c</sup> ± 6.8	460.8 <sup>b</sup> ± 10.1	389.9 <sup>d</sup> ± 4.3
Fósforo	304.3 <sup>a</sup> ± 2.6	272.4 <sup>c</sup> ± 7.7	283.8 <sup>b</sup> ± 5.8	261.9 <sup>d</sup> ± 3.4
Magnesio	54.9 <sup>a</sup> ± 0.3	69.7 <sup>a</sup> ± 3.2	65.3 <sup>a</sup> ± 4.8	51.1 <sup>b</sup> ± 3.6
Potasio	147.8 <sup>a</sup> ± 9.2	110.2 <sup>c</sup> ± 7.6	126.3 <sup>b</sup> ± 3.6	129.5 <sup>b</sup> ± 2.4
Sodio	240.9 <sup>d</sup> ± 3.6	282.6 <sup>c</sup> ± 8.6	304.0 <sup>b</sup> ± 2.3	327.9 <sup>a</sup> ± 8.7

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

La **Tabla 10** muestra los valores de los macrominerales cuantificados en el lactosuero testigo y en la comparación de los valores de referencia para lactosueros dulces (Fox *et al.*, 2000f), se encontró que la concentración de calcio fue menor (-12 mg/100mL) y la concentración de fósforo también fue menor a la referencia (-50 mg/100mL) mientras que la concentración de sodio fue mayor a la referencia (+260 mg/100mL); debido a estas diferencias, se decidió comparar las muestras obtenidas con los valores de los minerales del queso testigo.

Los resultados de la **Tabla 10** reflejaron la variación en la concentración de los minerales cuantificados de los lactosueros, conforme se adicionó la proteína de lactosuero, no existió una diferencia estadísticamente significativa del contenido de calcio, fósforo, magnesio y potasio entre los tratamientos, sin embargo su contenido fue mayor al del lactosuero testigo. Existió un aumento lineal de la cantidad de sodio en los lactosueros conforme se incrementó la incorporación de la proteína de

lactosuero, nuevamente se vio reflejada, la competencia de la solubilidad de los solutos presentes en el concentrado de proteínas de lactosuero contra los solutos propios de la leche, aumentando la cantidad de minerales presentes en los lactosueros.

**Tabla 10.** Contenido de macrominerales de los lactosueros obtenidos a partir de la producción de para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche, expresados en mg/100 mL de lactosuero

Mineral	Testigo	A +10%	A +20%	A +30%
Calcio	37.9 <sup>b</sup> ± 2.2	48.4 <sup>a</sup> ± 1.1	45.7 <sup>a</sup> ± 4.9	45.7 <sup>a</sup> ± 1.1
Fósforo	49.5 <sup>a</sup> ± 2.8	55.8 <sup>a</sup> ± 0.5	54.7 <sup>a</sup> ± 4.7	57.5 <sup>b</sup> ± 2.4
Magnesio	15.4 <sup>a</sup> ± 0.3	19.3 <sup>a</sup> ± 3.9	16.6 <sup>a</sup> ± 3.4	16.3 <sup>a</sup> ± 1.7
Potasio	149.1 <sup>b</sup> ± 5.4	172.1 <sup>a</sup> ± 0.8	169.9 <sup>a</sup> ± 5.8	170.8 <sup>a</sup> ± 6.8
Sodio	310.5 <sup>d</sup> ± 9.8	436.9 <sup>c</sup> ± 2.5	594.6 <sup>a</sup> ± 9.8	549.6 <sup>b</sup> ± 9.8

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

### III.I.III Rendimiento quesero

La tabla del balance de materia del queso testigo (**Tabla 39, Anexo A.IV**), se tomó como referencia para comparar la distribución de los sólidos de la leche al formarse el queso y se encontró que el 53.2 % de los sólidos totales permanecieron en el queso y 46.6 % en el lactosuero, mientras que la proteína total se distribuyó 85.5 % en queso y 16.3 % en lactosuero.

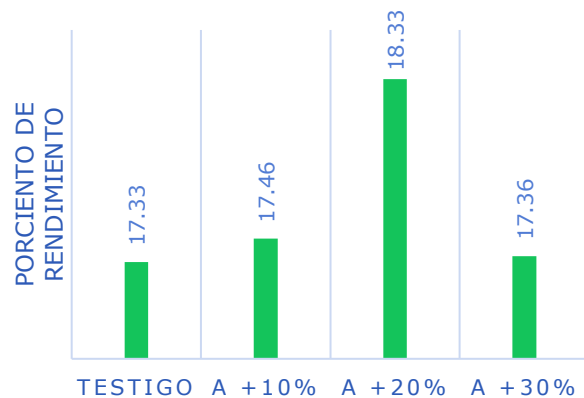
Comparando los balances de materia (**Tablas 39 y 40, Anexo A.IV**), los quesos A+10 % y A+20 % presentaron un comportamiento similar en cuanto a la distribución de los sólidos: en A+10 % 51.1 % de sólidos totales (80.4 % de proteína total) permanecieron en el queso y 49.5% de sólidos (19.1 % de proteína total) se distribuyeron en el lactosuero; en A+20% 51.8% de los sólidos totales (80.5 % de proteína total) se



retuvieron en el queso mientras que 47.4 % de los sólidos permanecieron en el lactosuero (23.3 % de proteína total).

En el caso del queso A+30 %, hubo una mayor proporción de los sólidos en el lactosuero (54.2 %) y en el queso 46.7 % de sólidos totales, mientras que en el balance de proteína total hubo una clara disminución ya que sólo se retuvieron 68.1 % mientras que en el lactosuero permanecieron 31.2 % de la proteína total. Se esperaba una mayor distribución de los sólidos en el queso, pero debido a su alta solubilidad (e hidrofilia de los componentes del WPC<sub>80%</sub>) éstos se retuvieron en la fase acuosa.

Con los balances, se encontró que la adición de 20 % de proteína de lactosuero fue la adición que aumentó el contenido de proteína total en el queso de una manera significativa, manteniendo el mismo contenido de humedad que el queso Testigo. En cuanto al rendimiento quesero, en la **Figura 09** se muestra el porcentaje de rendimiento obtenido al adicionarle 10, 20 y 30 % de proteína de lactosuero a los quesos frescos en leche, haciendo evidente el aumento del rendimiento en queso A+20 %.



**Figura 09.** Porcentaje de rendimiento obtenido expresado en (g de queso/g de leche utilizada)\*100, para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche.

Las diferencias encontradas en la composición y rendimiento quesero, pudieron deberse a que la incorporación de proteína de lactosuero (WPC<sub>80</sub> %) adiciona también grasa, lactosa y minerales, por lo que todos estos componentes al solubilizarse en la leche, alteraron las interacciones de las micelas de caseína (desestabilizadas por la acción de la quimosina, liberando al caseín-macropéptido) al momento de agregarse y formar un coágulo (Thompson, 2014).

### III.I.IV Color CIE L\*a\*b\*

Cuantificar el color, es otro indicio para conocer si estructuralmente hubo una diferencia entre los quesos a los que se les adicionó la proteína de lactosuero A+10 %, A+20 % y A+30 % comparándolos contra el queso testigo; la **Tabla 11** muestra los resultados obtenidos y se encontró que existieron diferencias entre el color de los quesos, en el queso A+10 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.324$ ), menos verde ( $\Delta a^* = 0.123$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.63$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 0.719; el queso A+20 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -1.397$ ), menos verde ( $\Delta a^* = 0.083$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 1.176$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.835; mientras que el queso A+30 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.897$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.013$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.806$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.237.

**Tabla 11.** Cuantificación de color: L\*, a\*, b\* y  $\Delta E$  del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche

	L*	a*	b*	$\Delta E$
<b>Testigo</b>	96.317 <sup>a</sup> ± 0.098	-0.130 <sup>b</sup> ± 0.010	8.462 <sup>c</sup> ± 0.067	
<b>A +10 %</b>	95.993 <sup>a</sup> ± 0.105	-0.007 <sup>a</sup> ± 0.006	9.092 <sup>b</sup> ± 0.254	0.719
<b>A+20 %</b>	94.920 <sup>b</sup> ± 0.156	-0.047 <sup>a</sup> ± 0.032	9.638 <sup>a</sup> ± 0.015	1.835
<b>A+30 %</b>	95.420 <sup>b</sup> ± 0.174	-0.143 <sup>c</sup> ± 0.055	9.268 <sup>b</sup> ± 0.188	1.237

a-c Entre filas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

Adicionar proteínas de lactosuero en la leche, disminuye el parámetro de luminosidad L\*, el color verde (-a\*) (excepto en el caso A+30 %), y aumentó el color amarillo (b\*) en los quesos; esta diferencia también fue impartida por la variación en la composición del queso (menor contenido en grasa y mayor contenido en proteína total que el testigo).

### III.I.V Análisis del perfil de textura

La **Tabla 12**, muestra los resultados obtenidos en el análisis del perfil de textura para los quesos Testigo, A+10 %, A+20 % y A+30 % y se encontró que los quesos a los que se les incorporó la proteína de lactosuero en la leche, presentaron una dureza estadísticamente menor ( $\alpha=0.05$ ) a la del queso testigo, siendo el queso A+30 % el que tiene una dureza menor (459.48 kgF); mientras que para el caso de la adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad (excepto el queso A+30 %) no existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ).

**Tabla 12.** Perfil de textura del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche

	Testigo	A +10 %	A +20 %	A +30 %
<b>Dureza (kgF)</b>	820.34 <sup>a</sup> ± 13.24	620.3 <sup>b</sup> ± 28.33	627.98 <sup>b</sup> ± 12.43	459.48 <sup>c</sup> ± 78.28
<b>Adhesividad</b>	-46.75 <sup>a</sup> ± 11.15	-50.00 <sup>a</sup> ± 21.84	-10.29 <sup>a</sup> ± 1.63	-23.84 <sup>a</sup> ± 2.11
<b>Elasticidad (mm)</b>	0.70 <sup>a</sup> ± 0.17	0.80 <sup>a</sup> ± 0.02	0.82 <sup>a</sup> ± 0.04	0.82 <sup>a</sup> ± 0.02
<b>Cohesividad</b>	0.73 <sup>a</sup> ± 0.05	0.71 <sup>a</sup> ± 0.01	0.78 <sup>a</sup> ± 0.06	0.72 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Masticabilidad (kgF*mm)</b>	415.16 <sup>a</sup> ± 60.50	352.92 <sup>a</sup> ± 16.85	357.11 <sup>a</sup> ± 9.03	270.18 <sup>b</sup> ± 49.5

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

Se ha encontrado que al incrementar el contenido de humedad en un queso, se disminuye la dureza y que además, el contenido de humedad funciona como un plastificante haciendo a las muestras más elásticas y menos propensas a la fractura (Marshall, 1990); los resultados

encontrados en este estudio, coincidieron con el efecto encontrado, ya que el queso A+30 % presentó una humedad mayor al queso testigo y además fue el queso que presentó una menor dureza.

### **III.II Efecto de la incorporación de las proteínas del lactosuero en cuajada**

#### **III.II.I Composición química**

En la **Tabla 13** se muestra la composición química de los quesos adicionados con proteína de lactosuero en la cuajada, el queso B+10 % presentó una humedad menor que el queso testigo (-0.81 %), mientras que los quesos B+20 % y B+30 % presentaron una humedad estadísticamente mayor (+1.32 % y +0.94 %) sin detectar diferencias entre ellos.

En cuanto a la cantidad de proteína total de los quesos, hubo diferencia significativa entre los quesos B+10 % (+0.35 %), B+20% (+0.55 %) y B+30 % (+0.30 %) tuvieron mayor contenido de proteína total que el queso testigo. El contenido de grasa fue estadísticamente igual entre los quesos Testigo y B+10 % así como entre los quesos B+20 % y B+30 %, mientras que, en cuanto al contenido de carbohidratos, todos los quesos presentaron un contenido estadísticamente igual entre sí y menor al queso testigo.

Los resultados indicaron que al adicionar más proteína de lactosuero una vez formado el gel y obtener la cuajada se alteró nuevamente la red tridimensional formada variando los componentes finales en el queso; además se encontró, que la adición de 20 % de proteína de lactosuero fue la concentración que aumentó el contenido de proteína total en el queso de una manera significativa.

**Tabla 13.** Composición química del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en porcentaje

	Testigo	B +10 %	B +20 %	B +30 %
<b>Humedad</b>	60.34 <sup>b</sup> ± 0.29	59.53 <sup>c</sup> ± 0.20	61.66 <sup>a</sup> ± 0.19	61.28 <sup>a</sup> ± 0.29
<b>Materia seca</b>	39.66 <sup>b</sup> ± 0.29	40.47 <sup>a</sup> ± 0.20	38.34 <sup>c</sup> ± 0.19	38.73 <sup>c</sup> ± 0.29
<b>Proteína total</b>	14.93 <sup>c</sup> ± 0.06	15.28 <sup>b</sup> ± 0.1	15.48 <sup>a</sup> ± 0.13	15.23 <sup>b</sup> ± 0.15
<b>Grasa</b>	18.37 <sup>a</sup> ± 0.25	18.97 <sup>a</sup> ± 0.16	16.61 <sup>b</sup> ± 0.29	16.92 <sup>b</sup> ± 0.20
<b>Carbohidratos</b>	4.16 <sup>a</sup> ± 0.01	4.01 <sup>b</sup> ± 0.02	4.06 <sup>b</sup> ± 0.09	4.05 <sup>b</sup> ± 0.05
<b>Ceniza</b>	2.19 <sup>b</sup> ± 0.02	2.22 <sup>b</sup> ± 0.03	2.19 <sup>b</sup> ± 0.02	2.52 <sup>a</sup> ± 0.04

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

En la **Tabla 14**, se muestran los resultados de la composición de los lactosueros obtenidos de la elaboración de los quesos a los que se les adicionó la proteína de lactosuero en la cuajada, hubo un aumento de los sólidos mayor en el caso de B+10 % (+0.95 %) y B+30 % (+1.10 %). El contenido de proteína total fue estadísticamente igual entre B+10 % (0.45) y B+20 % (0.32), el lactosuero B+30 % presentó un contenido mayor de proteína total (+0.89 %); esto no era lo que se esperaba, ya que en los tratamientos estudiados, la proteína total no se retuvo en el queso y permaneció en el lactosuero.

Los resultados indicaron que se incrementó el contenido de carbohidratos y minerales conforme aumentó la concentración de proteína agregada en la cuajada; por lo que hubo un aumento de los sólidos distribuidos en el lactosuero conforme al incremento en la adición de la proteína en la cuajada lo que indicó que hubo una pobre interacción entre los sólidos adicionados, con el gel obtenido debido su afinidad de éstos sólidos por la fase líquida.

**Tabla 14.** Composición química de los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en porcentaje

	Testigo	B +10%	B +20%	B +30%
<b>Humedad</b>	92.37 <sup>a</sup> ± 0.03	91.42 <sup>c</sup> ± 0.15	92.10 <sup>b</sup> ± 0.16	91.27 <sup>c</sup> ± 0.11
<b>Sólidos totales</b>	7.63 <sup>c</sup> ± 0.03	8.58 <sup>a</sup> ± 0.15	7.90 <sup>b</sup> ± 0.16	8.73 <sup>a</sup> ± 0.11
<b>Proteína total</b>	0.63 <sup>c</sup> ± 0.01	1.08 <sup>b</sup> ± 0.10	0.95 <sup>b</sup> ± 0.07	1.52 <sup>a</sup> ± 0.10
<b>Grasa</b>	0.2 <sup>a</sup> ± 0.0	0.2 <sup>a</sup> ± 0.0	0.2 <sup>a</sup> ± 0.0	0.3 <sup>a</sup> ± 0.1
<b>Carbohidratos</b>	4.94 <sup>c</sup> ± 0.02	5.08 <sup>b</sup> ± 0.03	5.16 <sup>a</sup> ± 0.03	5.20 <sup>a</sup> ± 0.02
<b>Ceniza</b>	1.31 <sup>c</sup> ± 0.02	1.43 <sup>b</sup> ± 0.04	1.49 <sup>b</sup> ± 0.02	1.67 <sup>a</sup> ± 0.03

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

### III.II.II Macrominerales

De acuerdo con la **Tabla 15** entre los quesos B+10%, B+20% y B+30% hubo un incremento en la concentración de la ceniza en los quesos, por lo que los resultados de la **Tabla 14** muestran la variación en la concentración de los minerales cuantificados de los quesos, hubo una disminución estadísticamente significativa en la cantidad de calcio conforme incrementó la adición de la proteína de lactosuero, mientras que hubo un aumento en la concentración de sodio en los quesos, este comportamiento, pudo ser debido a que con la adición de la proteína de lactosuero se genera una competencia de los solutos disueltos en el lactosuero residual en la matriz del queso. Era de esperarse un comportamiento lineal en la retención de los minerales en el queso ya que a medida que éstos se adicionan en proporciones mayores, se encuentran más iones que puedan interactuar con la matriz del queso (Fox *et al.*, 2000e).

**Tabla 15.** Contenido de macrominerales en el queso testigo y en los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en mg/100 g de queso

Mineral	Testigo	B +10%	B +20%	B +30%
<b>Calcio</b>	517.1 <sup>a</sup> ± 8.7	500.1 <sup>a</sup> ± 4.9	407.5 <sup>c</sup> ± 8.3	464.8 <sup>b</sup> ± 5.5
<b>Fósforo</b>	304.3 <sup>b</sup> ± 2.6	315.4 <sup>a</sup> ± 3.4	250.2 <sup>d</sup> ± 0.9	285.4 <sup>c</sup> ± 1.2
<b>Magnesio</b>	54.9 <sup>a</sup> ± 0.3	42.3 <sup>b</sup> ± 5.6	45.7 <sup>b</sup> ± 4.4	39.6 <sup>b</sup> ± 3.8
<b>Potasio</b>	147.8 <sup>a</sup> ± 9.2	127.7 <sup>b</sup> ± 3.5	132.7 <sup>b</sup> ± 10.3	156.8 <sup>a</sup> ± 1.7
<b>Sodio</b>	240.9 <sup>a</sup> ± 3.6	192.0 <sup>c</sup> ± 4.3	183.3 <sup>c</sup> ± 5.5	217.6 <sup>b</sup> ± 3.8

a-d Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

Al comparar los resultados de la cuantificación de los macrominerales de los lactosueros obtenidos en la **Tabla 16**, conforme se adiciona la proteína de lactosuero, se incrementó significativamente la concentración de todos los macrominerales cuantificados con respecto al del lactosuero testigo, éste comportamiento era de esperarse, dada la afinidad de los solutos por la fase líquida.

**Tabla 16.** Contenido de macrominerales en los lactosueros obtenidos a partir de la producción del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada, expresados en mg/100 mL de lactosuero

Mineral	Testigo	B +10%	B +20%	B +30%
<b>Calcio</b>	37.9 <sup>d</sup> ± 2.3	93.6 <sup>c</sup> ± 1.1	106.8 <sup>a</sup> ± 3.0	98.2 <sup>b</sup> ± 1.0
<b>Fósforo</b>	49.5 <sup>c</sup> ± 2.8	79.6 <sup>b</sup> ± 2.6	83.3 <sup>b</sup> ± 8.4	100.7 <sup>a</sup> ± 7.1
<b>Magnesio</b>	15.4 <sup>b</sup> ± 0.3	25.1 <sup>a</sup> ± 1.5	28.3 <sup>a</sup> ± 8.5	21.7 <sup>a</sup> ± 2.1
<b>Potasio</b>	149.1 <sup>b</sup> ± 5.4	440.8 <sup>a</sup> ± 9.4	434.1 <sup>a</sup> ± 13.3	454.1 <sup>a</sup> ± 9.4
<b>Sodio</b>	310.5 <sup>c</sup> ± 9.9	747.1 <sup>a</sup> ± 0.1	655.2 <sup>b</sup> ± 12.3	672.6 <sup>b</sup> ± 7.4

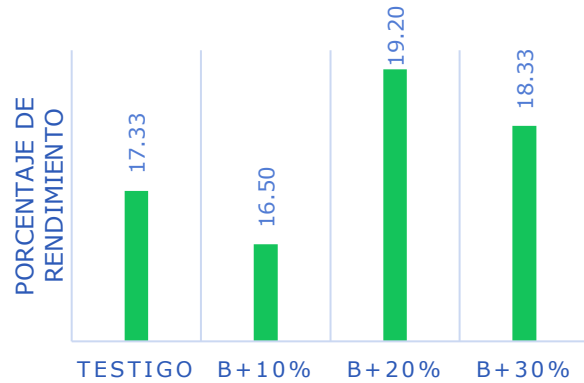
a-d Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

### **III.II.III Rendimiento quesero**

Comparando los balances de materia (**Tablas 39 y 41, Anexo A.IV**) de los quesos adicionados con proteína en la cuajada y el queso testigo se observó que para el caso del queso testigo 53.2 % de los sólidos permanecieron en el queso y 46.6 % en el lactosuero, mientras que la proteína total se distribuyó 85.5 % en queso y 16.3 % en lactosuero. Los quesos B+10 %, B+20 % y B+30%, presentaron un comportamiento similar: en el caso de B+10 %, el 50.1 % de sólidos totales (75.7 % de proteína total) permanecieron en el queso y 49.3 % de sólidos (24.8 % de proteína total) se distribuyeron en el lactosuero; en B+20 % el 53.7 % de los sólidos totales (81.8 % de proteína total) se retuvieron en el queso mientras que 43.1 % de los sólidos permanecieron en el lactosuero (19.6 % de proteína total); mientras que para el caso del queso B+30 %, en la distribución de los sólidos totales, en el lactosuero se retuvieron un 47.5 % (29.7 % de proteína total) y en el queso 46.7 % de sólidos totales se retuvieron (71.0% de proteína total).

En cuanto al rendimiento quesero, la **Figura 10** muestra el porcentaje de rendimiento obtenido al adicionarle 10, 20 y 30 % de proteína de lactosuero en la cuajada, fue evidente un aumento del rendimiento en queso B+20 % y B+30 %. Las diferencias encontradas en la composición y rendimiento quesero, pudieron deberse a que la adición de proteína de lactosuero (WPC<sub>80</sub> %) también se contribuye con un aporte de grasa, lactosa y minerales, por lo que todos estos componentes al solubilizarse en el mismo lactosuero, alteraron la estructura del gel formado en el molde teniendo interacciones principalmente iónicas con la matriz formada, las cuales no fueron lo suficientemente fuertes como para que retuvieran la mayoría de los componentes en los quesos.





**Figura 10.** Porcentaje de rendimiento obtenido expresado en (g de queso/g de leche utilizada)\*100, para el queso testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada.

### III.II.IV Color CIE L\*a\*b\*

La **Tabla 17** muestra los resultados obtenidos para la cuantificación del color y se encontró que existieron diferencias entre el color de los quesos. El queso B+10 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.854$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.020$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.75$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.136; el queso B+20 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.127$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.04$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.23$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 0.266; mientras que el queso B+30 % fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -1.09$ ), menos verde ( $\Delta a^* = 0.06$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.946$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.445.

Los resultados en la variación del color eran de esperarse, ya que al adicionar la proteína de lactosuero en la cuajada se generó una variación en la composición de los queso (menor contenido en grasa y mayor contenido en proteína total que el testigo) por lo que se disminuyó la luminosidad ( $L^*$ ), aumentando el color verde ( $-a^*$ ) y el color amarillo ( $b^*$ ) en los quesos.

**Tabla 17.** Cuantificación de color:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$  del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
<b>Testigo</b>	96.317 <sup>a</sup> ± 0.098	-0.130 <sup>a</sup> ± 0.010	8.462 <sup>b</sup> ± 0.067	
<b>B+10%</b>	95.463 <sup>b</sup> ± 0.067	-0.150 <sup>a</sup> ± 0.017	9.212 <sup>a</sup> ± 0.152	1.136
<b>B+20%</b>	96.190 <sup>a</sup> ± 0.036	-0.170 <sup>a</sup> ± 0.010	8.692 <sup>b</sup> ± 0.133	0.266
<b>B+30%</b>	95.227 <sup>b</sup> ± 0.119	-0.070 <sup>a</sup> ± 0.026	9.408 <sup>a</sup> ± 0.159	1.445

a-b Entre filas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

### III.II.V Análisis del perfil de textura

Los resultados obtenidos en el análisis del perfil de textura se encuentran en la **Tabla 18**, para los quesos testigo, B: +10, 20 y 30 % se encontró que al incorporar la proteína de lactosuero en la cuajada, los tratamientos B+10 % y B+30 % presentaron una dureza estadísticamente mayor ( $\alpha=0.05$ ) a la del queso testigo, siendo el queso B+10 % el que fue más duro (1523.68 kgF), mientras que el queso B+20 % presentó una dureza estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) a la del queso testigo.

En el caso de la adhesividad, elasticidad y cohesividad no existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ) entre los quesos B+10, +20, +30 % y el queso testigo; mientras que en la masticabilidad hubo un incremento estadísticamente significativo en los quesos B+10 % (siendo éste el que presentó la mayor masticabilidad) y B+30 % frente al queso testigo. El queso B+20 % presentó la misma masticabilidad que el queso testigo.

A pesar de que el queso testigo y el queso B+10 % presentaron la misma humedad difieren en cuanto a la relación proteína-grasa y en contenido de minerales, específicamente de sodio; por lo que el queso B+10 % presentó una dureza y masticabilidad superior al queso testigo,

posiblemente impartido por la adsorción de las proteínas en el gel formado y en la formación de una red tridimensional más estable.

Ya que la textura es considerado como un indicador de la calidad del queso (Fox *et al.*, 2000d), se escogió el queso B+20 % como el tratamiento en el que además de aumentar el rendimiento quesero (al adicionar 20 % de concentrado de lactosuero) y el rendimiento de proteína total en el queso, no se afectó significativamente el perfil de textura del queso.

**Tabla 18.** Perfil de textura del queso testigo y de los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la cuajada

	Testigo	B +10 %	B +20 %	B +30 %
<b>Dureza (kgF)</b>	820.34 <sup>c</sup> ± 13.236	1523.68 <sup>a</sup> ± 15.04	820.10 <sup>c</sup> ± 36.72	965.86 <sup>b</sup> ± 43.67
<b>Adhesividad</b>	-46.75 <sup>a</sup> ± 11.15	-57.53 <sup>a</sup> ± 11.39	-36.74 <sup>a</sup> ± 16.73	-32.08 <sup>a</sup> ± 19.62
<b>Elasticidad (mm)</b>	0.70 <sup>a</sup> ± 0.17	0.79 <sup>a</sup> ± 0.06	0.81 <sup>a</sup> ± 0.03	0.80 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Cohesividad</b>	0.73 <sup>a</sup> ± 0.05	0.72 <sup>a</sup> ± 0.03	0.71 <sup>a</sup> ± 0.01	0.69 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Masticabilidad (kgF*mm)</b>	415.16 <sup>c</sup> ± 60.50	845.66 <sup>a</sup> ± 54.98	471.65 <sup>c</sup> ± 29.14	566.54 <sup>b</sup> ± 70.13

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

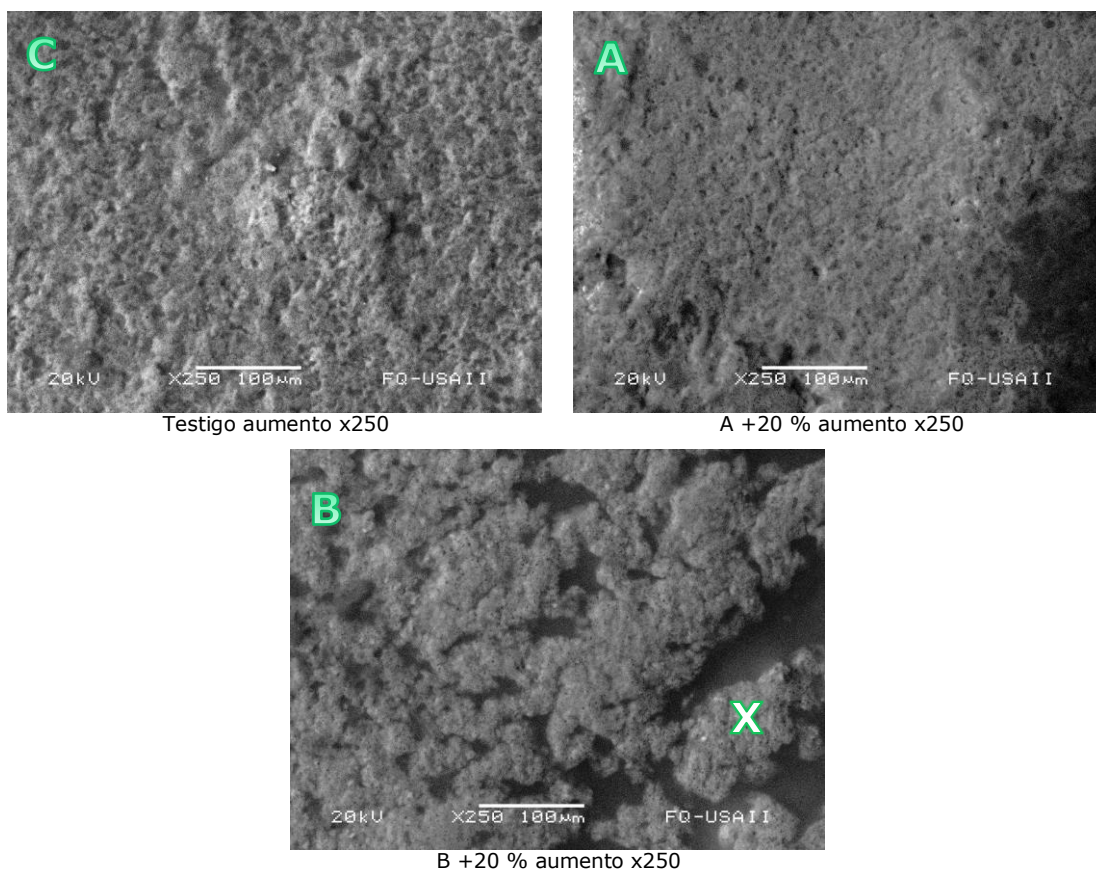
### III.III Microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM)

La diferencia en cuanto a la red establecida, pudo ser debida a que la coagulación enzimática de la leche, da como resultado un gel resultante entre la interacción entre las caseínas y los glóbulos de grasa junto con el líquido atrapado dentro de sí, otorgando una superficie homogénea, porosa y rugosa (**Figura 1, Capítulo I**), las microscopías ESEM para los quesos Testigo, A+20 %, B+20 % se encuentran en la **Figura 11**.

Microscópicamente existió una diferencia notoria entre el resultado de la adición de las proteínas del lactosuero en leche y en cuajada. Se observó

una similitud entre la superficie de un queso en el que no se alteró la formación de la cuajada A+20 % con el queso testigo.

En el caso de la adición de las proteínas del lactosuero en la cuajada debido a la aplicación de una fuerza externa para homogenizar la cuajada, se alteró la estructura haciéndola aparentemente más rugosa y con espacios más amplios entre la red formada (señal X en la **Figura 11, B**). Esto indicó que microscópicamente, la adición de las proteínas de lactosuero en la leche y en la cuajada tiene un efecto en la estructura y por ende en la calidad del producto obtenido (El-Bakry y Sheehan, 2014).



**Figura 11.** Microscopías ESEM obtenidas para el queso testigo (C) y los quesos elaborados con proteína de lactosuero incorporada en la leche (A: A+20 %) y en la cuajada (B: B+20 %).

## **Capítulo IV. Resultados y discusión del efecto de la modificación en el proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero.**

**IV.I Efecto de la desnaturalización a 85°C del 20 % de proteína de lactosuero (WPC<sub>80</sub> %) solubilizado en agua y su incorporación en el queso fresco: en cuajada (C-1) y en leche (C-2).**

### **IV.I.I Composición química**

La **Tabla 19** muestra las diferencias en la composición de los quesos al adicionarles la proteína de lactosuero desnaturalizada en la cuajada C-1 y en leche C-2; ambos presentaron una humedad estadísticamente mayor ( $\alpha=0.05$ ) a la del queso testigo el queso C-1 (+1.31 %) y C-2 (+1.35 %), pero iguales entre sí. En cuanto al porcentaje de proteína total, los dos quesos presentaron un contenido de proteína total estadísticamente mayor al queso testigo C-1 (+0.35 %) y C-2 (+0.42 %), con una disminución en el contenido de grasa C-1 (-1.49 %) y C-2 (-1.56 %) comparándolo contra el queso testigo. Para los carbohidratos y la ceniza, su porcentaje fue estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) al queso testigo.

Los resultados indicaron que principalmente se vio afectada la cantidad de proteína total, grasa y humedad debido a la incorporación de proteína desnaturalizada al adicionar agregados de proteína que interaccionaron de diferente manera ya sea antes de producir el queso (adicionando en leche) y posterior a la formación del gel por la precipitación enzimática de las caseínas.

**Tabla 19.** Composición química de los quesos y lactosueros: testigo y de los elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2), expresados en porcentaje

	Quesos			Lactosueros		
	Testigo	C-1	C-2	Testigo	C-1	C-2
<b>Humedad</b>	60.34 <sup>b</sup> ± 0.29	61.65 <sup>a</sup> ± 0.20	61.69 <sup>a</sup> ± 0.41	92.37 <sup>x</sup> ± 0.13	91.80 <sup>y</sup> ± 0.10	92.05 <sup>x</sup> ± 0.18
<b>Materia seca</b>	39.66 <sup>a</sup> ± 0.29	38.35 <sup>b</sup> ± 0.20	38.31 <sup>b</sup> ± 0.41	7.63 <sup>y</sup> ± 0.13	8.20 <sup>x</sup> ± 0.10	7.95 <sup>y</sup> ± 0.18
<b>Proteína total</b>	14.93 <sup>b</sup> ± 0.19	15.28 <sup>a</sup> ± 0.10	15.35 <sup>a</sup> ± 0.15	0.63 <sup>y</sup> ± 0.07	1.00 <sup>x</sup> ± 0.11	0.95 <sup>x</sup> ± 0.13
<b>Grasa</b>	18.37 <sup>a</sup> ± 0.23	16.88 <sup>b</sup> ± 0.08	16.81 <sup>b</sup> ± 0.03	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0
<b>Carbohidratos</b>	4.16 <sup>a</sup> ± 0.06	4.25 <sup>a</sup> ± 0.31	3.76 <sup>a</sup> ± 0.49	4.94 <sup>x</sup> ± 0.12	5.04 <sup>x</sup> ± 0.09	5.10 <sup>y</sup> ± 0.10
<b>Ceniza</b>	2.19 <sup>a</sup> ± 0.02	1.94 <sup>a</sup> ± 0.05	2.40 <sup>a</sup> ± 0.02	1.31 <sup>x</sup> ± 0.09	1.37 <sup>x</sup> ± 0.05	1.28 <sup>x</sup> ± 0.04

a-b, x-y Entre tratamientos, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

Al adicionar partículas de proteínas de lactosuero (WPP: Whey Protein particles), se insertaron dentro de los poros de la matriz de caseína como los glóbulos grasos. El tamaño del poro en la matriz es aproximado a 10  $\mu\text{m}$  por lo que el diámetro de los agregados es crítico para su incorporación en la matriz (Steffl 1999, citado en: Hinrichs, 2001). El aumento parcial del contenido de proteína total, pudo ser debido a la integración de los agregados generados por la desnaturalización de las proteínas, del tamaño adecuado para su retención en la matriz formada.

La composición química de los lactosueros se encuentran en la **Tabla 19**, al comparar los resultados se observó que los sólidos totales presentes en el lactosuero C-1 aumentan, mientras que los sólidos totales, el contenido de grasa, ceniza y carbohidratos del lactosuero C-1 y C-2 son estadísticamente iguales ( $\alpha=0.05$ ) a los del lactosuero testigo. Estos resultados no se esperaban, debido a que el objetivo de desnaturalizar la proteína previo a su incorporación al queso tanto en leche como en

cuajada, era para insolubilizar a las proteínas e incrementar su proporción en el queso en mayor medida; los resultados del contenido de proteína total en los lactosueros C-1 y C-2, sugieren una retención de los sólidos en el mismo.

#### **IV.I.II Macrominerales**

En cuanto a la distribución de los minerales en los quesos, los resultados se encuentran en la **Tabla 20**, al compararlos se encontró que no existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ) en la cantidad de calcio y potasio; mientras que en los minerales de fósforo y magnesio, el queso C-2 tiene una concentración menor a la del queso testigo y el queso C-1, posee una concentración igual.

En cuanto a la cantidad de sodio en los quesos, ambos tienen una concentración significativamente mayor al queso testigo siendo el queso C-2 el que contiene una mayor concentración de sodio (+124.4 mg/100 g de queso), esto pudo ser debido a que con la adición de la proteína de lactosuero desnaturalizada se genera una competencia de los solutos disueltos en el lactosuero residual en la matriz del queso. No era de esperarse un aumento en cuanto a la cantidad de sodio presente en el queso puesto que, su incremento repercute directamente en la textura y apariencia del queso obtenido (Fox *et al.*, 2000e).

En la **Tabla 20** se presentó también el contenido de macrominerales en los lactosueros obtenidos de los quesos y se observó que no hubo diferencia significativa ( $\alpha=0.05$ ) en cuanto al contenido de calcio, fósforo y magnesio entre los lactosueros. En cuanto a la cantidad de potasio, hubo un aumento significativo entre el testigo y los lactosueros C-1 y C-2; no hubo diferencia significativa en la cantidad de sodio entre los lactosueros C-2 y el testigo mientras que hubo una disminución significativa en el contenido de sodio para el lactosuero C-1.

**Tabla 20.** Contenido de los macrominerales en los quesos y lactosueros: testigo y en los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2); expresados en mg/100 g de queso

Macrominerales	Quesos			Lactosueros		
	Testigo	C-1	C-2	Testigo	C-1	C-2
<b>Calcio</b>	517.1 <sup>a</sup> ± 8.7	501.2 <sup>a</sup> ± 10.8	488.8 <sup>a</sup> ± 31.05	37.9 <sup>x</sup> ± 2.3	45.3 <sup>x</sup> ± 1.7	45.8 <sup>x</sup> ± 1.0
<b>Fósforo</b>	304.3 <sup>a</sup> ± 2.6	287.4 <sup>a</sup> ± 8.3	272.9 <sup>b</sup> ± 21.8	49.5 <sup>x</sup> ± 2.8	41.5 <sup>x</sup> ± 1.4	41.6 <sup>x</sup> ± 1.4
<b>Magnesio</b>	54.9 <sup>a</sup> ± 0.3	43.6 <sup>a</sup> ± 6.8	25.3 <sup>b</sup> ± 2.6	15.4 <sup>x</sup> ± 0.3	11.5 <sup>x</sup> ± 0.2	12.3 <sup>x</sup> ± 0.6
<b>Potasio</b>	147.8 <sup>a</sup> ± 9.2	124.5 <sup>a</sup> ± 6.7	124.6 <sup>a</sup> ± 15.7	149.1 <sup>x</sup> ± 5.4	227.3 <sup>y</sup> ± 3.3	207.2 <sup>y</sup> ± 5.8
<b>Sodio</b>	240.9 <sup>a</sup> ± 3.6	274.1 <sup>b</sup> ± 12.5	365.3 <sup>c</sup> ± 26.2	310.5 <sup>x</sup> ± 9.9	249.1 <sup>y</sup> ± 1.3	299.3 <sup>x</sup> ± 1.3

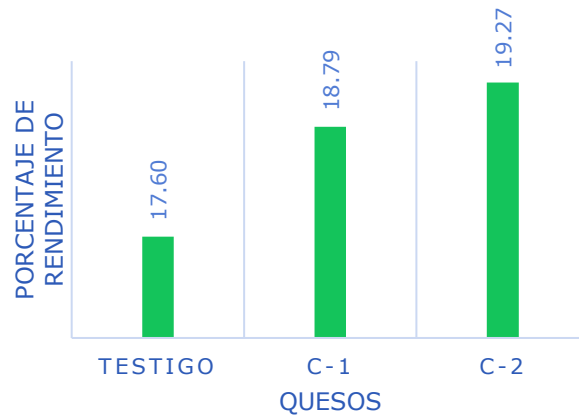
a-c, x-z Entre tratamientos, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

#### IV.I.III Rendimiento quesero

En este estudio, el rendimiento quesero se vio afectado por la interacción dada entre el gel de caseína formado con las proteínas de lactosuero desnaturalizadas; de acuerdo con los resultados de la composición de los quesos, en los dos casos la adición de la proteína tiene como consecuencia un aumento en la humedad del queso obtenido y de la proteína total, esto se vio reflejado en un aumento del rendimiento quesero mostrado en la **Figura 12**.

Comparando los balances de materia (**Anexo A.IV, Tablas 39 y 42**) entre los quesos adicionados con proteína desnaturalizada en leche y en la cuajada; en el queso testigo, el 53.2 % del total de los sólidos permanecieron en el queso y 46.6 % en el lactosuero, mientras que la distribución de la proteína total fue: 85.5 % en el queso y 16.3 % en el lactosuero.





**Figura 12.** Porcentaje de rendimiento obtenido para los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2), expresados en  $(g \text{ de queso}/g \text{ de leche utilizada}) * 100$

En C-1, el 52.9 % de los sólidos totales (79.37 % de la proteína total) permanecieron en el queso y 46.7 % de los sólidos totales (21.5 % de la proteína total) se distribuyeron en el lactosuero; mientras que en el caso de C-2 el 53.8 % de los sólidos totales (81.1 % de la proteína total) se retuvieron en el queso mientras que el 45.9 % de los sólidos restantes permanecieron en el lactosuero (20.6 % de proteína total).

La comparación de los balances de materia indica que, si bien hubo un incremento de la concentración de la proteína total de lactosuero en forma desnaturalizada, su interacción con el gel de la caseína, no fue más eficiente que el caso del queso testigo y por lo tanto no hubo una incorporación adecuada de las proteínas de lactosuero desnaturalizadas y estas posiblemente no se retuvieron en la matriz de queso fresco.

#### IV.I.IV Color CIE L\*a\*b\*

La **Tabla 21** muestra los resultados obtenidos para la cuantificación del color y se encontró que existieron diferencias entre el color de los quesos. El queso C-1 fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.72$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.023$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.663$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 0.979; mientras el queso C-2 fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -1.067$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.146$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.57$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.218. Los resultados del color eran de esperarse, ya que al adicionar la proteína de lactosuero desnaturalizada en la cuajada y en la leche genera una variación en la composición de los queso (menor contenido en grasa y mayor contenido en proteína total y humedad que el testigo) causando que se disminuya la luminosidad ( $L^*$ ), aumente el color verde ( $-a^*$ ) y el color amarillo ( $b^*$ ) en los quesos.

**Tabla 21.** Cuantificación de color:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$  de los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2)

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
<b>Testigo</b>	94.727 <sup>a</sup> ± 0.212	-0.037 <sup>a</sup> ± 0.025	9.120 <sup>a</sup> ± 0.361	
<b>C-1</b>	94.007 <sup>ab</sup> ± 0.345	-0.060 <sup>a</sup> ± 0.017	9.783 <sup>a</sup> ± 0.156	0.979
<b>C-2</b>	93.660 <sup>b</sup> ± 0.505	-0.183 <sup>a</sup> ± 0.040	9.690 <sup>a</sup> ± 0.203	1.218

a-b Entre filas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

#### IV.I.V Análisis del Perfil de Textura

Los resultados obtenidos en el análisis del perfil de textura se encuentran en la **Tabla 22** y se observó que la adición de la proteína de lactosuero desnaturaliza en la cuajada, disminuyó significativamente la dureza, cohesividad y masticabilidad del queso obtenido. Adicionar la proteína de lactosuero desnaturalizada en la leche, no implica un cambio

estadísticamente significativa en el perfil de análisis de textura para el queso C-2. Este cambio era de esperarse ya que si hubo una retención de las proteínas desnaturalizadas en el gel formado da como resultado una formación menos estable de la red tridimensional del queso.

**Tabla 22.** Perfil de textura de los quesos testigo y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2)

	Testigo	C-1	C-2
<b>Dureza (kgF)</b>	1960.74 <sup>a</sup> ± 160.22	1437.61 <sup>b</sup> ± 194.15	2044.60 <sup>a</sup> ± 67.00
<b>Adhesividad</b>	-32.29 <sup>a</sup> ± 12.57	-5.76 <sup>a</sup> ± 3.70	-7.60 <sup>a</sup> ± 4.70
<b>Elasticidad (mm)</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.00	0.79 <sup>a</sup> ± 0.01	0.81 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Cohesividad</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.01	0.64 <sup>b</sup> ± 0.02	0.70 <sup>a</sup> ± 0.02
<b>Masticabilidad (kgF*mm)</b>	1117.36 <sup>a</sup> ± 66.94	774.68 <sup>b</sup> ± 85.80	1160.97 <sup>a</sup> ± 55.80

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

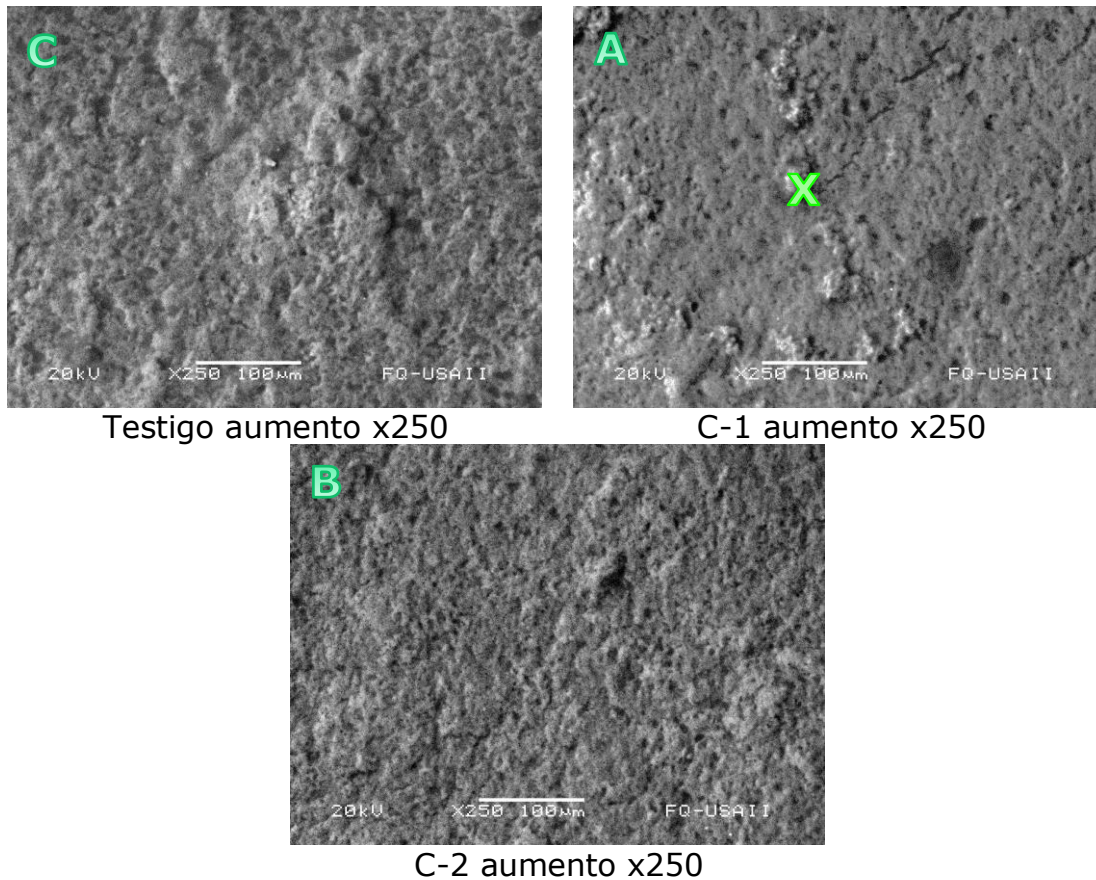
Los resultados obtenidos corroboran lo reportado por Hinrichs, J. (1998), quienes encontraron que la inclusión de partículas de lactosuero de un tamaño mayor a 10  $\mu\text{m}$  alteran la homogeneidad de la matriz dando como resultado, una reducción en la firmeza del queso obtenido (Hinrichs & Steffl 1998 citado en: Hinrichs 2001).

#### **IV.I.VI Microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM)**

Ya que existieron diferencias significativas tanto en la composición de los quesos como en el color y la textura (no siendo así con el queso C-2), se determinó que estructuralmente hubo diferencia debida a la incorporación de la proteína de lactosuero desnaturalizada en el queso C-1.

De acuerdo con la **Figura 13**, se observó que en la microscopía para el queso C-1 posee una superficie poco homogénea con una serie de agregados de un tamaño aproximado de 20  $\mu\text{m}$ , siendo éstos mayores

que el tamaño del poro de la matriz de caseína ( $10\mu\text{m}$ ), alterando la estructura del queso (Steffl 1999, citado en: Hinrichs, 2001) (señal **X** en la **Figura 13: A**) en comparación de la microscopía del queso testigo, y para el queso C-2, en las que no se observaron irregularidades en la superficie del queso.



**Figura 13.** Microscopías ESEM obtenidas para el queso testigo (**C**) y los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (**A**: C-1) y en leche (**B**: C-2).

La fortificación de la leche con proteína de lactosuero concentrada y desnaturalizada se asocia con un incremento en el rendimiento quesero debido a un incremento en la retención de agua. A temperaturas de desnaturalización, las proteínas de lactosuero forman enlaces disulfuro entre si generando grandes agregados de proteína de lactosuero desnaturalizada e hidratada. (Lucey, Munro y Singh, 1999). Estos agregados, al adicionarse en leche promueven la retención de agua en el

gel una vez que se lleve a cabo la cuajada, no siendo así, al incorporarse directamente en la leche.

Se ha encontrado que al microparticular los agregados de concentrados de proteína de lactosuero en un rango de 1 a 10  $\mu\text{m}$  de tamaño dando como resultado un aumento del rendimiento quesero además del valor nutritivo de los quesos obtenidos (Abrahamsen, 1979), por lo que reducir el tamaño de los agregados generados por la precipitación térmica de las proteínas de lactosuero podría ser una alternativa que aumente la eficiencia de la incorporación de las proteínas de lactosuero desnaturalizadas.

**IV.II Elaboración de queso con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1** (adicionando 20% de proteína de lactosuero WPC<sub>80%</sub>) **y D-2** (con las proteínas propias de la leche).

#### **IV.II.I Composición química**

La **Tabla 23** muestra las diferencias en la composición de los quesos al calentar la cuajada a 92°C por 5 minutos. El queso D-2 presentó una humedad estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) a la del queso testigo, mientras que el queso D-1 presentó una humedad mayor (+1.26 %). En cuanto a la proteína, D-2 presentó un contenido estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) que el queso testigo, mientras que D-2 presentó un contenido menor (-0.48 %). Ambos quesos presentaron un contenido de grasa significativamente menor que el queso testigo (-1.54 % para D-1 y -1.03 % para D-2).

Se ha reportado que calentar la leche a altas temperaturas para desnaturalizar las proteínas de lactosuero e inducir a una auto agregación e interacción con las caseínas, se llegan a integrar hasta un 70 % (dependiendo del grado de desnaturalización) de las proteínas de

lactosuero en el producto obtenido llamado thermoquarg (Hinrichs, 2001); dados los resultados de la **Tabla 23** al no haber un incremento de la proteína total en los quesos D-1 y D-2, se asoció a una recuperación ineficiente de los sólidos totales.

Al comparar los resultados del análisis composicional de lactosueros mostrados en la **Tabla 23**, el lactosuero D-2 presentó un porcentaje de sólidos totales estadísticamente igual ( $\alpha=0.05$ ) a los del lactosuero testigo, mientras que el lactosuero D-1 presentó porcentaje de sólidos totales estadísticamente mayores a los del lactosuero testigo (+1.17%). Existió un aumento en la cantidad de proteína total (+0.38%) en el lactosuero D-1 mientras que el lactosuero D-2 fue estadísticamente igual al testigo; no hubo alguna variación en el contenido de grasa de los lactosueros. En cuanto a los carbohidratos el lactosuero D-1 presentó un contenido mayor (+0.69%) que el lactosuero testigo, mientras que el lactosuero D-2 fue estadísticamente igual.

**Tabla 23.** Composición química de los quesos y lactosueros: testigo y con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en porcentaje

	Quesos			Lactosueros		
	Testigo	D-1	D-2	Testigo	D-1	D-2
<b>Humedad</b>	60.34 <sup>b</sup> ± 0.29	61.60 <sup>a</sup> ± 0.50	60.02 <sup>b</sup> ± 0.27	92.37 <sup>x</sup> ± 0.13	91.20 <sup>y</sup> ± 0.04	92.18 <sup>x</sup> ± 0.24
<b>Materia seca</b>	39.66 <sup>a</sup> ± 0.29	38.40 <sup>b</sup> ± 0.50	39.98 <sup>a</sup> ± 0.27	7.63 <sup>x</sup> ± 0.13	8.80 <sup>y</sup> ± 0.04	7.82 <sup>x</sup> ± 0.24
<b>Proteína total</b>	14.93 <sup>a</sup> ± 0.19	15.03 <sup>a</sup> ± 0.05	14.45 <sup>b</sup> ± 0.10	0.63 <sup>y</sup> ± 0.07	1.01 <sup>x</sup> ± 0.03	0.66 <sup>y</sup> ± 0.05
<b>Grasa</b>	18.37 <sup>a</sup> ± 0.23	16.83 <sup>b</sup> ± 0.05	17.34 <sup>b</sup> ± 0.07	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0	0.2 <sup>x</sup> ± 0.0
<b>Carbohidratos</b>	4.16 <sup>b</sup> ± 0.06	3.88 <sup>b</sup> ± 0.43	5.95 <sup>a</sup> ± 0.28	4.94 <sup>y</sup> ± 0.12	5.63 <sup>x</sup> ± 0.31	4.90 <sup>y</sup> ± 0.06
<b>Ceniza</b>	2.19 <sup>a</sup> ± 0.02	2.66 <sup>a</sup> ± 0.03	2.24 <sup>a</sup> ± 0.05	1.31 <sup>y</sup> ± 0.09	1.29 <sup>y</sup> ± 0.02	1.43 <sup>x</sup> ± 0.02

a-b, x-y Entre tratamientos, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

#### **IV.II.II Macrominerales**

En cuanto a la distribución de los minerales en los quesos, los resultados se encuentran en la **Tabla 24** y al compararlos se encontró que entre los quesos D-1 y D-2 no hubo diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ) en el contenido de calcio, fósforo y potasio entre ambos y el queso testigo; sin embargo, hubo un aumento en el contenido de magnesio en el queso D-1 y en cuanto al contenido de sodio hubo un aumento de la concentración tanto en el queso D-1 (+198.2 mg/100g) y D-2 (+59.4mg/100g).

No era de esperarse un aumento en cuanto a la cantidad de sodio presente en el queso puesto que la variación del sodio repercute directamente en la textura y apariencia del queso obtenido al modificar el  $a_w$  del queso (Fox *et al.*, 2000e).

Para el caso del contenido de los macrominerales presentes en los lactosueros, la **Tabla 24** muestra los resultados y se encontró que tampoco existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ), en cuanto al contenido de calcio, fósforo y magnesio, entre los lactosueros D-1, D-2 y el testigo. Para el caso del potasio hubo un aumento de la concentración tanto en los lactosueros D-1 y D-2 con respecto al testigo; mientras que para la concentración de sodio, hubo un incremento significativa de +211.3 mg/100 mL entre el lactosuero D-2 y testigo. Estos resultados indicaron que la aplicación de calor en la cuajada, modificó la interacciones iónicas entre los minerales y el gel obtenido.

**Tabla 24.** Contenido de los macrominerales en los quesos y lactosueros: testigo y en los con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en mg/100 g de queso

Macrominerales	Quesos			Lactosueros		
	Testigo	D-1	D-2	Testigo	D-1	D-2
<b>Calcio</b>	517.1 <sup>a</sup> ± 8.7	567.1 <sup>a</sup> ± 18.1	533.7 <sup>a</sup> ± 10.9	37.9 <sup>x</sup> ± 2.3	43.4 <sup>x</sup> ± 3.0	37.9 <sup>x</sup> ± 0.7
<b>Fósforo</b>	304.3 <sup>a</sup> ± 2.6	310.8 <sup>a</sup> ± 19.7	313.1 <sup>a</sup> ± 9.6	49.5 <sup>x</sup> ± 2.8	38.3 <sup>x</sup> ± 0.9	40.7 <sup>x</sup> ± 1.6
<b>Magnesio</b>	54.9 <sup>b</sup> ± 0.3	73.7 <sup>a</sup> ± 12.3	42.2 <sup>b</sup> ± 9.6	15.4 <sup>x</sup> ± 0.3	14.5 <sup>x</sup> ± 0.9	10.2 <sup>x</sup> ± 0.9
<b>Potasio</b>	147.8 <sup>a</sup> ± 9.2	160.4 <sup>a</sup> ± 11.3	127.3 <sup>a</sup> ± 3.2	149.1 <sup>y</sup> ± 5.4	229.6 <sup>x</sup> ± 22.8	208.7 <sup>x</sup> ± 16.4
<b>Sodio</b>	240.9 <sup>c</sup> ± 3.6	439.1 <sup>a</sup> ± 12.5	300.3 <sup>b</sup> ± 12.7	310.5 <sup>y</sup> ± 9.9	271.1 <sup>y</sup> ± 7.5	521.8 <sup>x</sup> ± 10.5

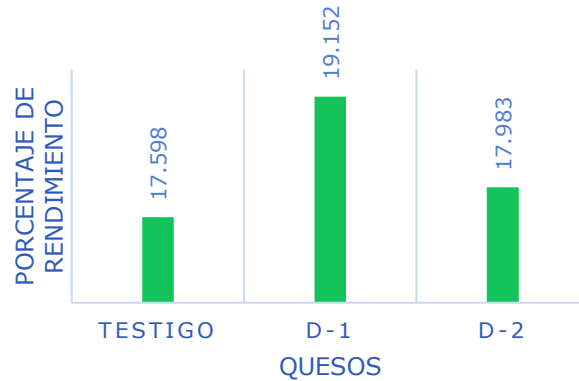
a-c, x-y Entre tratamientos, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

#### IV.II.III Rendimiento quesero

En la **Figura 14** se muestran los resultados del porcentaje de rendimiento quesero y se observó que hubo un incremento del rendimiento mayor (+1.6 %), al adicionarle 20 % de proteínas de lactosuero a la leche con un calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos (D-1); mientras que el calentamiento de la cuajada sin la adición de proteínas (D-2) incrementó en un 0.39 % más el rendimiento quesero.

Al comparar los resultados del rendimiento quesero contra los análisis químicos proximales realizados a los quesos, el aumento del rendimiento fue debido al incremento en la humedad del queso obtenido a la adición de 20% de proteína de lactosuero a la leche previo al calentamiento de la cuajada (D-1). Este resultado no era el esperado, demostrando que la modificación al proceso, no fue eficiente al no recuperar en mayor medida a la proteína de la leche y aumentar el porcentaje de humedad de los quesos obtenidos.





**Figura 14.** Porcentaje de rendimiento obtenido para los quesos testigo y los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche); expresados en (g de queso/g de leche utilizada)\*100

Comparando los balances de materia (**Anexo A.IV, Tablas 39 y 43**) entre los quesos adicionados con proteína desnaturalizada en leche y en la cuajada; se encontró que en el queso testigo, el 53.2 % del total de los sólidos permanecieron en el queso (85.5 % de proteína total) y 46.6 % en el lactosuero (16.3 % de proteína total). En el caso del queso al que se le adicionó 20 % de proteína de lactosuero con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos D-1, el 54.2 % de los sólidos totales (79.8% de la proteína total) permanecieron en el queso y 45.8% de los sólidos totales (19.7% de la proteína total) se distribuyeron en el lactosuero; mientras que en el caso del queso con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos D-2 el 55.7% de los sólidos totales (85.7% de la proteína total) se retuvieron en el queso mientras que el 43.9% de los sólidos restantes permanecieron en el lactosuero (15.9% de proteína total).

La modificación en el proceso y la adición de 20% proteína de lactosuero, modificaron el balance entre la distribución de los sólidos totales aumentando este porcentaje en el queso; sin embargo, la adición del 20% de proteína de lactosuero, no aumentó significativamente el porcentaje de proteína total en el queso.

Se ha reportado también, que someter a la leche a un tratamiento térmico alto (72°Cx15s a 95°Cx120-300 s) se induce la reducción de la porosidad del gel formado (por acción enzimática), lo cual incrementó la capacidad de retención de agua y grasa del gel (Fox *et al.*, 2000a) explicando así la disminución de los sólidos totales presentes al calentar la cuajada.

#### IV.II.IV Color CIE L\*a\*b\*

La **Tabla 25** muestra los resultados obtenidos para la cuantificación del color y se encontró que existieron diferencias entre el color de los quesos. El queso D-1 fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -1.74$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.12$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 2.09$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 2.353; el queso D-2 fue menos luminoso ( $\Delta L^* = -0.704$ ), más verde ( $\Delta a^* = -0.216$ ) y más amarillo ( $\Delta b^* = 0.74$ ) que el queso testigo con una diferencia total de color de 1.044.

**Tabla 25.** Cuantificación de color:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$  del queso testigo y de los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche)

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
<b>Testigo</b>	94.727 <sup>a</sup> ± 0.212	-0.037 <sup>a</sup> ± 0.025	9.120 <sup>c</sup> ± 0.361	
<b>D-1</b>	93.653 <sup>b</sup> ± 0.101	-0.157 <sup>a</sup> ± 0.015	11.210 <sup>a</sup> ± 0.044	2.353
<b>D-2</b>	94.023 <sup>a</sup> ± 0.210	-0.253 <sup>a</sup> ± 0.093	9.860 <sup>b</sup> ± 0.380	1.044

a-c Entre filas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado

Al agregar proteína de lactosuero en la leche (D-1) y calentar la cuajada (D-2 sin la agregación de la proteína), se disminuyó la luminosidad ( $L^*$ ), aumentó el color verde ( $-a^*$ ) y aumentó el color amarillo ( $b^*$ ) en los quesos.

#### IV.II.V Análisis del Perfil de Textura

Los resultados obtenidos en el análisis del perfil de textura se encuentran en la **Tabla 26** y se observó que debido al cambio en el proceso D-1, se encontró que no existió diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ) en cuanto a la elasticidad y adhesividad, pero hubo una disminución en la dureza, cohesividad y masticabilidad del queso en comparación con el queso testigo.

En el queso D-2, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa ( $\alpha=0.05$ ) en cuanto al cambio de textura en la dureza, adhesividad, elasticidad y masticabilidad del queso frente al testigo, pero existió una disminución de la cohesividad del queso (-0.22). El calentamiento de la cuajada a una temperatura de 92°C disminuyó la interacción entre las moléculas de la paracaseína, disminuyendo así la cohesividad de la matriz del queso.

**Tabla 26.** Perfil de textura de los quesos, testigo y en los con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche)

	Testigo	D-1	D-2
<b>Dureza (kgF)</b>	1960.74 <sup>a</sup> ± 160.22	1014.16 <sup>b</sup> ± 171.88	2258.81 <sup>a</sup> ± 133.80
<b>Adhesividad</b>	-32.29 <sup>a</sup> ± 12.57	-24.89 <sup>a</sup> ± 3.98	-15.03 <sup>a</sup> ± 4.22
<b>Elasticidad (mm)</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.00	0.73 <sup>a</sup> ± 0.02	0.76 <sup>a</sup> ± 0.01
<b>Cohesividad</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.01	0.46 <sup>c</sup> ± 0.03	0.57 <sup>b</sup> ± 0.03
<b>Masticabilidad (kgF*mm)</b>	1117.36 <sup>a</sup> ± 66.94	419.70 <sup>b</sup> ± 72.97	977.49 <sup>a</sup> ± 48.77

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

#### **IV.II.VI Microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM)**

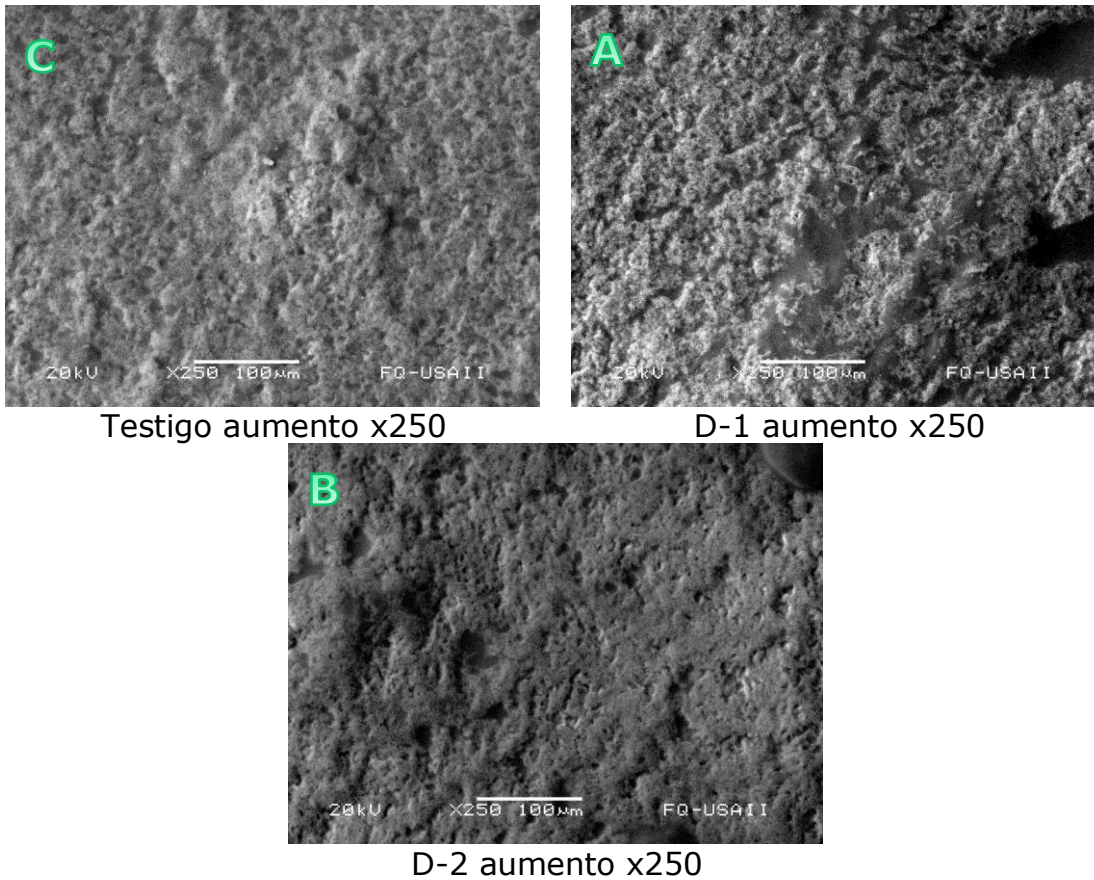
Al calentar la cuajada a 92°C por 5 minutos, existieron diferencias significativas en la composición de los quesos como en el color y la textura, tanto al adicionarle 20% de proteína de lactosuero así como sin la adición de las proteínas (con las proteínas propias de la leche utilizada), por lo que estructuralmente se fueron promovidos una serie de cambios debido a la modificación de las proteínas por el calor aplicado al gel, generando así una diferencia en la superficie del queso.

De acuerdo con la **Figura 15**, se observó que en la microscopía para el queso D-1 (**Figura 15, A**) posee una superficie más rugosa y más porosa a comparación de la microscopía del queso testigo (**Figura 15, C**); mientras que para el queso D-2 (**Figura 15, B**) se pudo apreciar en la microscopía, irregularidades en cuanto a la superficie del queso.

Durante el tratamiento térmico, las proteínas interactúan formando complejos químicos (entre  $\alpha$ -La y  $\beta$ -Lg,  $\alpha$ -La y  $\kappa$ -CN y también  $\beta$ -Lg y  $\kappa$ -CN), a estos complejos se les conocen como coagregados de las proteínas de la leche. (Jovanović, Bara y Ma, 2005). Para explicar esta formación, (Mottar, J. Bassier, A. Joniau, M. Baert, 1998) sugieren que a temperaturas altas,  $\beta$ -Lg se desnaturaliza primero y después interacciona con la  $\kappa$ -caseína, al desnaturalizarse la  $\alpha$ -La se une a los filamentos de  $\beta$ -Lg; la presencia de  $\alpha$ -La brinda propiedades hidrófilas al complejo formado (pH 4.5).

En la producción de los quesos D-1 y D-2, debido a que primero se realiza la hidrólisis enzimática de la  $\kappa$ -CN y después se favorecen la formación de los coagregados entre las proteínas de la leche (y con la adición del 20% de proteína de lactosuero en su caso) se desestabiliza térmicamente el

gel formado, se aumentó su porosidad (**Figura 15, A y B**) y no se logra aumentar el rendimiento de proteína total en el queso final.



**Figura 15.** Microscopías ESEM obtenidas para el testigo (C) y los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: A:D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y B:D-2 (con las proteínas propias de la leche con un aumento x250)

## Capítulo V. Resultados y discusión del desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero

Para obtener la formulación del queso Original y Con Inulina se modificaron los diagramas señalados en el *Capítulo II. Metodología* con el objetivo de cambiar los parámetros para que éstos se ajustaran con las especificaciones para los quesos análogos y procesados (NMX-F-092-1970 Calidad de quesos procesados).

De la **Tabla 3 Formulaciones del queso análogo y su optimización (Capítulo II. Metodología)**; entre la formulación 1 y 2, se redujo el pH de 7.4 a un pH final de  $\approx 5.5$  utilizando ácido láctico; previos ensayos con ácido cítrico impartían un resabio poco agradable en el queso análogo obtenido. Entre la formulación 2 y 3 se aumentó la cantidad de cloruro de sodio con el objetivo de mejorar su sabor salado. Para la formulación 4 se modificó el color utilizando dióxido de titanio (los resultados se encuentran en la **Tabla 29** y se discuten en la sección de color CIE  $L^*a^*b^*$ ). Por último, para la formulación final fue reducida la cantidad de grasa del queso análogo en un 60 % utilizando inulina de agave.

### V.I Composición química

Para cubrir con los objetivos planeados se llevó a cabo el análisis químico proximal tanto para el queso análogo original (**Ana-Or**) y el queso análogo con inulina (**Ana-In**), los resultados se encuentran en la **Tabla 27**. La diferencia en cuanto a la humedad entre los quesos original y con inulina fueron asociados a las diferencias en el proceso, ya que debido a que no se cuenta con un equipo para el proceso (una cocedora de doble tornillo o un extrusor), el modo en el que se calienta la mezcla fue a baño

maría dificultando la cantidad de vapor liberado de modo que la humedad del queso fue dependiente de la fuerza de interacción entre la matriz formada con el agua. En el proceso de producción a pequeña escala, el calentamiento fue un punto a controlar, pues generó cambios importantes en la composición del queso dada la variación en la humedad del producto.

**Tabla 27.** Composición química de los quesos análogos original y con inulina, expresados en porcentaje

	Análogo original	Análogo con inulina
<b>Humedad</b>	61.42 <sup>b</sup> ± 0.16	64.27 <sup>a</sup> ± 0.17
<b>Materia seca</b>	38.58 <sup>a</sup> ± 0.16	35.73 <sup>b</sup> ± 0.17
<b>Proteína total</b>	15.73 <sup>b</sup> ± 0.19	16.75 <sup>a</sup> ± 0.30
<b>Grasa</b>	11.66 <sup>a</sup> ± 0.36	5.08 <sup>b</sup> ± 0.33
<b>Carbohidratos reductores</b>	3.59 <sup>b</sup> ± 0.06	4.09 <sup>a</sup> ± 0.08
<b>Fibra Dietética Total</b>	0.40 <sup>b</sup> ± 0.1	3.59 <sup>a</sup> ± 0.1
<b>Ceniza</b>	7.20 <sup>a</sup> ± 0.34	6.22 <sup>b</sup> ± 0.44
<b>pH</b>	5.47 <sup>a</sup> ± 0.10	5.53 <sup>a</sup> ± 0.09
<b>Aporte energético (kcal/100g de queso)</b>	183.8	143.5

a-b Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

Tomando en cuenta que para lograr un nivel de incorporación de inulina al que se le pueda atribuir aspectos nutricionales (actividad bifidogénica y efectos como fibra dietética) los niveles típicos de adición deben ser de 1-6% y deben proveer cerca de 3-8g por porción típica (Hennelly *et al.*, 2006); se tendría que proponer el consumo diario de 100 gramos del producto para atribuirle esos aspectos nutricionales al queso análogo.

Ya que el queso **Ana-In** fue reducido en grasa y tomando en cuenta el aporte energético reportado en la **Tabla 27**, la reducción de la grasa con su sustitución con inulina representó un 22 % menos de las kilocalorías consumidas por 100 gramos del queso análogo (183.8 kcal en 100g del

queso análogo original contra 143.5 kcal en 100g de queso análogo con inulina); por lo que se corroboró uno de los efectos benéficos a la salud impartido por la inulina, al reducir el aporte calórico del producto.

## V.II Macrominerales

Los resultados de la cuantificación de los macrominerales se muestran en la **Tabla 28**, la cantidad de sodio fue mayor en el queso análogo Original mientras que se redujo en el queso análogo con inulina debido a la reducción del aporte ejercido por la cantidad de grasa disminuida.

Se incrementó el contenido de los minerales calcio, fósforo, magnesio y potasio, asociados con la incorporación de los minerales por parte de la inulina; estos minerales (incluyendo al sodio) se encontraron en una concentración por arriba de las concentraciones reportadas para quesos procesados (Fox *et al.*, 2000c), excepto en el caso del aporte de fósforo.

**Tabla 28.** Contenido de los macrominerales en los quesos análogos original y con inulina expresados en mg/100 g de queso análogo

Mineral	Original	Inulina	Quesos procesados*
Calcio	426.5 <sup>b</sup> ± 15.3	681.0 <sup>a</sup> ± 29.8	600
Fósforo	171.6 <sup>b</sup> ± 2.5	182.7 <sup>a</sup> ± 9.0	800
Magnesio	29.2 <sup>b</sup> ± 5.1	42.9 <sup>a</sup> ± 9.1	22
Potasio	207.5 <sup>b</sup> ± 11.1	217.4 <sup>a</sup> ± 26.5	130
Sodio	1880.2 <sup>a</sup> ± 35.1	1719.0 <sup>b</sup> ± 24.0	1320

a-b Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado. \*(Fox *et al.*, 2000c)

Fue preocupante el aporte de sodio de los quesos **Ana-Or** y **Ana-In** ya que de acuerdo con la OMS la ingesta recomendada de sodio al día para adultos es de 2 gramos y recomienda bajar el consumo de sodio a fin de reducir la tensión arterial y el riesgo de enfermedades cardiovasculares, ACV (Accidente Cerebrovascular) y cardiopatías coronarias, entre los



adultos. Con esto en mente el aporte de Sodio del queso **Ana-Or** fue de 94% del consumo diario recomendado, mientras que el queso **Ana-In**, aporta el 86%; por lo que se tendría que buscar una nueva formulación para disminuir dichos aportes de sodio.

Una opción sería la sustitución de cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl), manteniendo el gusto salado permitiendo la reducción del contenido de sodio hasta un 25% sin la pérdida de palatabilidad (Gomes *et al.*, 2011), también se podrían reemplazar las sales emulsificantes por aquellas que contienen potasio, sin embargo se podrían ver comprometidas las propiedades reológicas del queso dando como resultado problemas multifactoriales en la manufactura de los quesos procesados, resultando en cambios fisicoquímicos, funcionales y sensoriales del producto (Ferrão *et al.*, 2016).

### **V.III Color CIE L\*a\*b\***

Para ajustar el color del queso obtenido se utilizó Dióxido de titanio adicionando en un 0.5 %; los resultados se reportan en la **Tabla 29** y se encontró que con la adición de dióxido de titanio a la formulación del queso análogo Original, se aumentó la luminosidad ( $\Delta L^* = 3.110$ ), se disminuyó el color rojo ( $\Delta a^* = -0.72$ ) y el color amarillo ( $\Delta b^* = -5.218$ ) con una diferencia total de color de 6.117, por lo que la concentración utilizada de dióxido de titanio, fue la adecuada para impartir un cambio de color significativo.

Se ha reportado que al utilizar inulina como sustituto de grasa en quesos procesados a base de caseína ácida adicionados con polímeros de proteínas de lactosuero, se reducen los valores de  $b^*$  y  $a^*$  comparando contra las muestras control correspondientes (Solowiej *et al.*, 2014), además los quesos que contienen menos grasa se caracterizan por tener

menores valores de L\*.

**Tabla 29.** Cuantificación de color: L\*, a\*, b\* y ΔE de los quesos análogo 3 (sin ajuste de color), análogo original, análogo con inulina

	L*	a*	b*	ΔE**
<b>Análogo Original</b>	91.320 <sup>a</sup> ± 0.096	2.240 <sup>b</sup> ± 0.010	14.200 <sup>b</sup> ± 0.157	
<b>Queso análogo sin dióxido de titanio</b>	88.210 <sup>b</sup> ± 0.751	2.960 <sup>a</sup> ± 0.130	19.418 <sup>a</sup> ± 0.301	6.117
<b>Análogo Inulina</b>	91.388 <sup>a</sup> ± 0.366	1.888 <sup>c</sup> ± 0.168	13.328 <sup>c</sup> ± 0.309	0.943

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio ± la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado. \*\* Cálculo utilizando como referencia el queso Análogo Original.

Los resultados obtenidos de color en este estudio arrojaron que no existió diferencia entre el valor de L\* por lo que ambas muestras de queso análogo tuvieron la misma luminosidad. Sin embargo, se disminuyeron tanto el color rojo ( $\Delta a^* = -0.353$ ) como el color amarillo ( $\Delta b^* = -0.872$ ) en el queso Ana-In, por lo que existió el mismo comportamiento a la disminución de los parámetros a\* y b\* con la sustitución de la grasa por la inulina; además hubo una diferencia total de color de 0.943 entre el queso análogo original y el de inulina.

#### V.IV Análisis del Perfil de Textura

La composición de un queso análogo determina en gran medida su textura, así al incrementar el contenido de humedad, disminuyó la dureza del queso análogo, además la humedad en el queso funciona como un plastificante haciendo a las muestras más elásticas y menos propensas a la fractura (Marshall, 1990).

Los resultados del análisis del perfil de textura se ubican en la **Tabla 30** para los quesos testigo, análogo original y con inulina, se encontró que los quesos análogos desarrollados presentaron una dureza estadísticamente igual a la de un queso fresco, sin embargo, son

estadísticamente diferentes en cuanto a la adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad.

**Tabla 30.** Análisis de perfil de textura para los quesos testigo, análogo original y análogo con inulina

	Testigo	Análogo Original	Análogo con Inulina
<b>Dureza (kgF)</b>	1960.74 <sup>ab</sup> ± 160.22	2280.77 <sup>a</sup> ± 292.52	1814.64 <sup>b</sup> ± 136.76
<b>Adhesividad</b>	-32.29 <sup>a</sup> ± 12.57	-234.00 <sup>c</sup> ± 64.86	-108.36 <sup>b</sup> ± 32.58
<b>Elasticidad (mm)</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.00	0.65 <sup>b</sup> ± 0.05	0.67 <sup>b</sup> ± 0.12
<b>Cohesividad</b>	0.79 <sup>a</sup> ± 0.01	0.51 <sup>b</sup> ± 0.03	0.47 <sup>b</sup> ± 0.02
<b>Masticabilidad (kgF*mm)</b>	1117.36 <sup>a</sup> ± 66.94	743.48 <sup>b</sup> ± 103.17	607.47 <sup>b</sup> ± 169.24

a-c Entre columnas, los números que presentan la misma letra superíndice no son estadísticamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ). Los datos representan el promedio  $\pm$  la desviación estándar de un análisis realizado por triplicado.

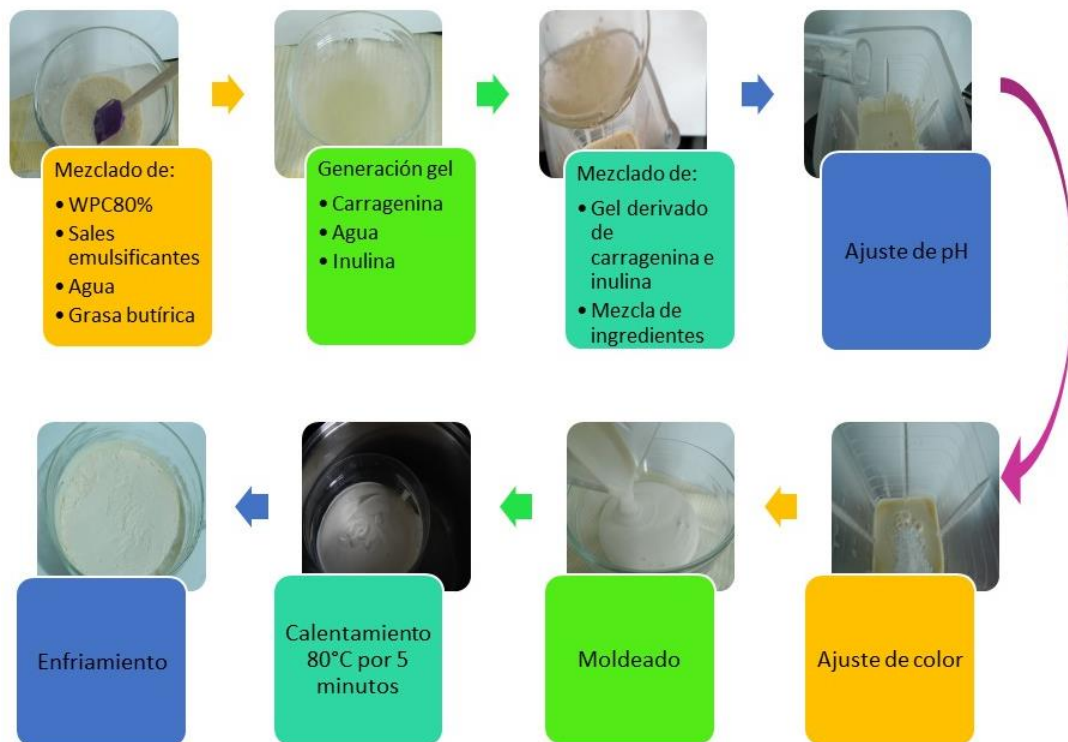
Se ha encontrado que a un mismo nivel de humedad, los quesos que contienen inulina tienen una dureza mayor al valor obtenido para los quesos control, pero al incrementar el contenido de humedad en los quesos con inulina de un 54% a un 56% disminuyen los valores de dureza comparados contra el control (Hennelly *et al.*, 2006); en este estudio se encontró que el queso análogo con inulina tuvo 4.4% más de humedad que el queso análogo original (**Tabla 27**) y presentó una dureza menor y adhesividad menor a la del queso análogo original. Esto coincide con lo reportado por (Hennelly *et al.*, 2006).

Entre el queso análogo original y el queso análogo con inulina no se encontró diferencia en cuanto a la elasticidad, cohesividad y masticabilidad; al incluir inulina en la formulación, se reduce la adhesividad del queso análogo y como esta propiedad es la tendencia a resistir la separación al contacto con otro material y la adhesión es la atracción entre moléculas distintas (Chang, 2007), se podría pensar que la inulina forma un gel con una estructura tridimensional débil con

interacciones entre proteína/grasa/inulina/carragenina menores a comparación de la estructura tridimensional del queso análogo original que fue del tipo de interacciones proteína/grasa/carragenina afectando la dureza de la estructura obtenida.

## V.V Estructura de los quesos análogos

La **Figura 16**, muestra la ilustración paso a paso del diagrama correspondiente al proceso de producción para el queso análogo Original (**II.I.III, Figura 07**) y el queso análogo con Inulina (**II.I.III, Figura 08**) para poder discutir los cambios que ocurrieron en la matriz formada.



**Figura 16.** Paso a paso del diagrama de producción del queso análogo con inulina.

Primero se favoreció la hidratación del concentrado de lactosuero al incrementar la temperatura a 50°C; con ayuda de las sales de citato y pirofosfato de sodio, se incrementó el pH de la mezcla lo cual favoreció que la  $\beta$ -Lg existiera como monómero, aumentando la fuerza iónica de la

disolución incrementando el efecto "salting in" (para aumentar la solubilidad de las proteínas). Al agregar la grasa butírica a la disolución, ésta interaccionó con las proteínas, las cuales funcionaron como agentes emulsionantes.

La carragenina (en el caso del queso Ana-In, se disolvió la inulina junto con la carragenina) se debió hidratar por separado ya que la carragenina requiere de calor para pasar a una estructura desordenada a una en forma de hélices que fue capaz de formar geles; una vez obtenido el gel se incorporó a la mezcla la cual fue licuada para homogenizar los ingredientes. En esta etapa hubo un aumento de la viscosidad de la mezcla y se permitió que existiera un mayor contacto entre las proteínas, la grasa y los hidrocoloides; siendo un punto crítico para el control del tamaño de las micelas de grasa (importante en la textura final, palatabilidad y aspecto general).

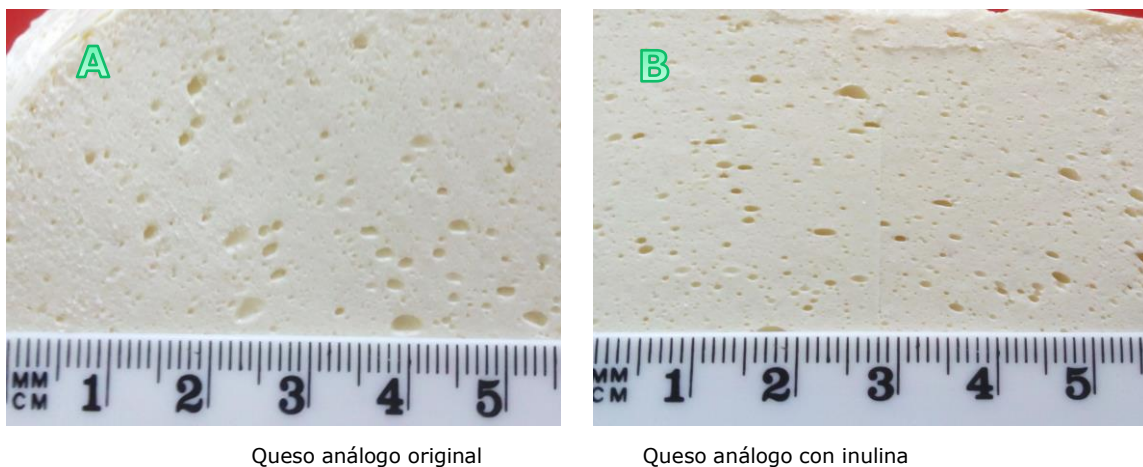
Fue necesario el ajuste del pH con ácido láctico a una concentración de 3 N para disminuir el pH, (eliminando el resabio amargo a un pH alcalino) y permitir una estabilización de la matriz formada; además se corrigió el color de la mezcla con dióxido de titanio, mineral que imparte color blanco. Para garantizar una incorporación uniforme, estos aditivos se licuaron nuevamente con la mezcla previa.

Se utilizaron moldes de vidrio templado, para calentar la mezcla hasta mantener la temperatura interna a 80° C por cinco minutos. En este punto, se promovió una gelificación inducida por calor de las proteínas del lactosuero, siendo éste un comportamiento típico de las proteínas globulares (como en la albúmina de huevo y en las proteínas de soya).

Para formar un gel inducido por calor se llevaron a cabo una serie de transformaciones en la matriz del alimento: la desnaturalización (desdoblamiento) de las proteínas nativas del lactosuero, agregación de las proteínas desnaturalizadas, formación de cadenas por los agregados y asociación de las cadenas formando una red; las fuerzas que estabilizan el gel pueden ser: enlaces disulfuro, interacciones hidrofóbicas e interacciones iónicas (Aguilera, 1995).

La estructura final se observó en la **Figura 17**, donde se apreció una apariencia homogénea de ambos quesos con burbujas de aire retenidas en la matriz estabilizada por calor; sin embargo, el queso análogo con inulina (**Figura 17, B**) al tener una estabilidad menor entre sus componentes, se pudo apreciar como dicha estructura no soporta y se compacta originando así burbujas ovaladas diferentes a las burbujas en el queso análogo original (**Figura 17, A**).

Ambos quesos no presentaron sinéresis, sin embargo son susceptibles a deshidratarse fácilmente debido a la característica de los geles de emulsión (Aguilera y Rademacher, 2004).



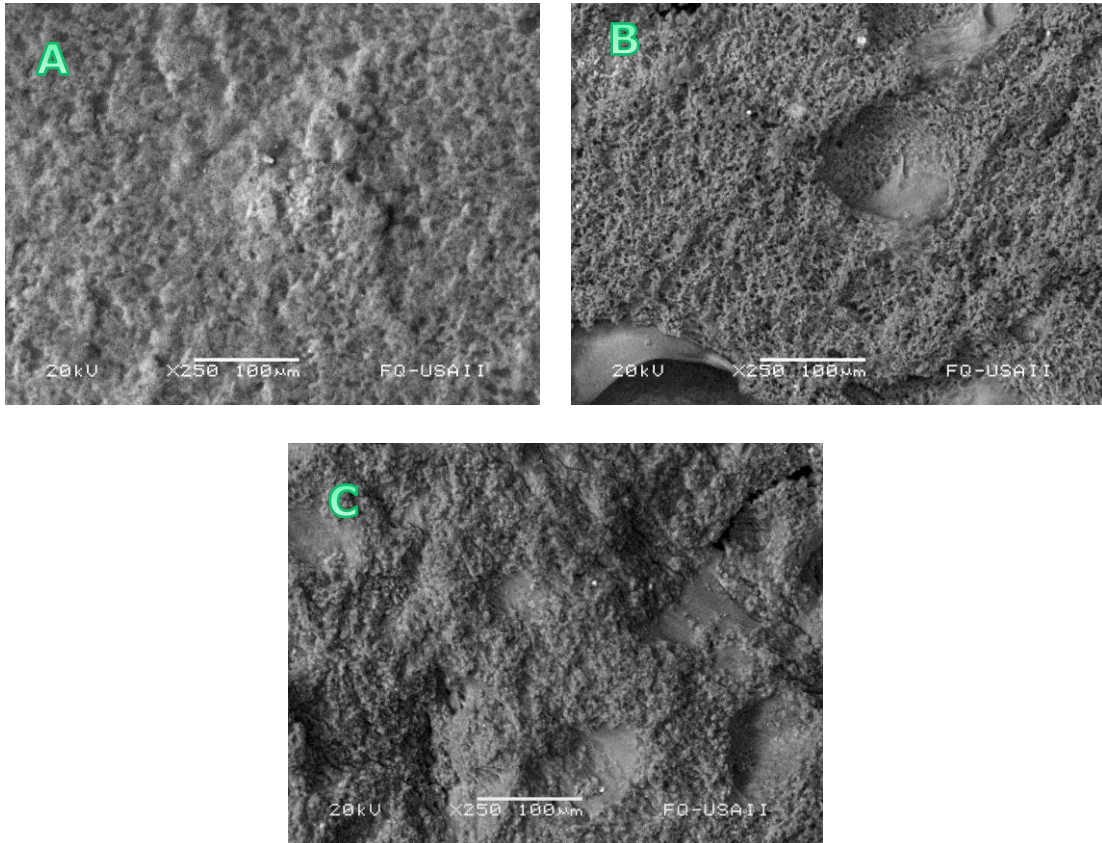
**Figura 17.** Quesos análogos original (A) y con inulina (B)

En el caso del queso análogo desarrollado, ya que fue un sistema de multicomponentes se propuso, que finalmente se obtuvo un gel de emulsión (gel de copolímeros), ya que primero se favoreció la formación de una emulsión del tipo lípido en agua con las proteínas de lactosuero funcionando como agentes emulsionantes, esta fase a su vez se hizo interaccionar con el gel derivado de la carragenina (con inulina en su caso) en agua; esta estructura se estabilizó con el calor aplicado a la mezcla.

### **V.V.I Microscopías electrónicas de barrido ambiental (ESEM)**

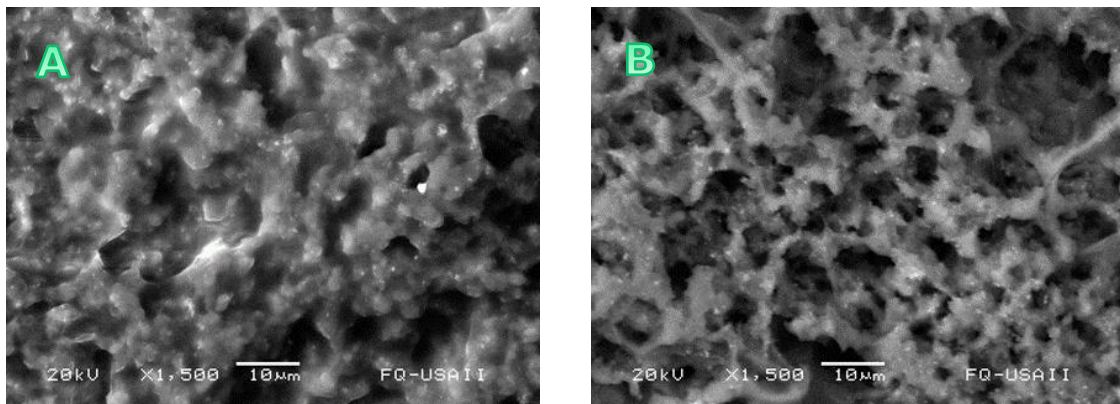
Al comparar la superficie de los quesos obtenidos, se aprecia una diferencia entre la estructura obtenida a partir de la gelificación de las caseínas (**Figura 18, A**) y las estructuras obtenidas a partir del procesamiento de la mezcla de los ingredientes para la obtención de los quesos análogos (**Figura 18, B y C**).

La diferencia en cuanto a la red establecida, se debió a que como previamente se discutió (**Capítulos III y IV**) la coagulación enzimática de la leche, da como resultado un gel conformado por la estructura formada por la interacción entre las caseínas y los glóbulos de grasa, además del líquido atrapado dentro de sí, otorgando una superficie homogénea y rugosa (**Figura 18, A**); mientras que en los quesos análogos, debido a que el proceso consiste en mezclar los ingredientes y después de someterlos al calentamiento, producen una estructura tridimensional dependiente de las interacciones entre la proteína, grasa e hidrocoloides. (O’Riordan *et al.*, 2011).



**Figura 18.** Microscopías ESEM obtenidas para los quesos Testigo **A**, quesos análogos: Original **B** y con inulina **C**; a aumento x250.

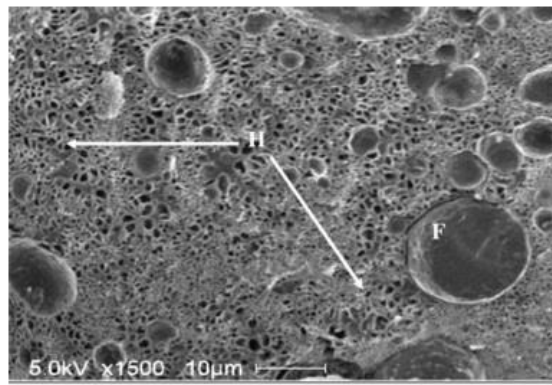
En la **Figura 19** se muestran las microscopías ESEM con un aumento x1500, en las que se pudo apreciar en los quesos análogos, la red formada parecida a la de un panal de abejas.



**Figura 19.** Microscopías ESEM de los quesos análogos original **A** y con inulina **B** con un aumento x1500.



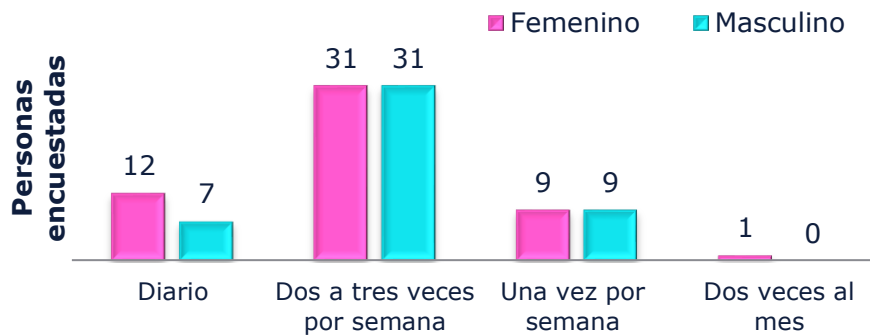
En la producción de quesos análogos con caseína y aceite de palma hidrogenado (54 g de humedad/100g, 21.7 g de grasa/100g) (Hennelly *et al.*, 2006), se ha reportado que la estructura de panal de abeja (**Figura 20**) se puede deber a que las lagunas microscópicas de agua libre dentro de la muestra se generan debido al exceso de la capacidad de hidratación de la caseína (Hennelly *et al.*, 2005); por lo que en los casos de los quesos análogos con proteína exclusiva de lactosuero, el agua quedó atrapada entre las redes formando la estructura tipo panal de abeja.



**Figura 20.** Microscopía SEM del queso análogo control a base de caseína y aceite de palma hidrogenado tomado de Hennelly *et al.* (2006) Microscopía SEM del queso análogo control (caseína y aceite de palma hidrogenado, 54 g humedad/100 g y 21.7 g grasa/100g) a un aumento x1500 (H: apariencia panal de abeja (honeycombed); F: glóbulo de grasa).

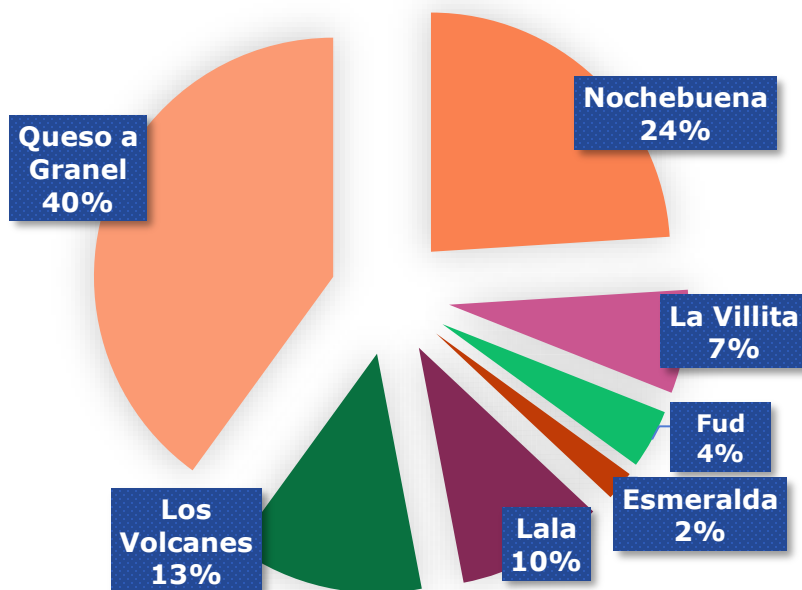
## V.VI Evaluación Sensorial

El consumo de queso en México durante el periodo del 2006-2010 creció a una tasa media anual de 7.8 %, al pasar de 229 mil a 319 mil toneladas; lo anterior representó un consumo per cápita de 2.83 Kg. al año (Almanza Gaviña, 2011); esto se vio reflejado en el alto consumo por parte de los consumidores encuestados ya que, 19 % consume queso diariamente mientras que el 62 % consume de dos a tres veces por semana, datos obtenidos de la frecuencia de consumo en la **Figura 21**.



**Figura 21.** Distribución de la frecuencia de consumo de queso de los encuestados (n=100).

De los consumidores encuestados (**Figura 22**), 40 % consumen queso a granel sin considerar la marca englobando quesos de tipo blanco, Oaxaca, Manchego, rallado, doble crema, por ejemplo; 24 % consume queso Nochebuena, 13 % consume Los Volcanes y 10% Lala.

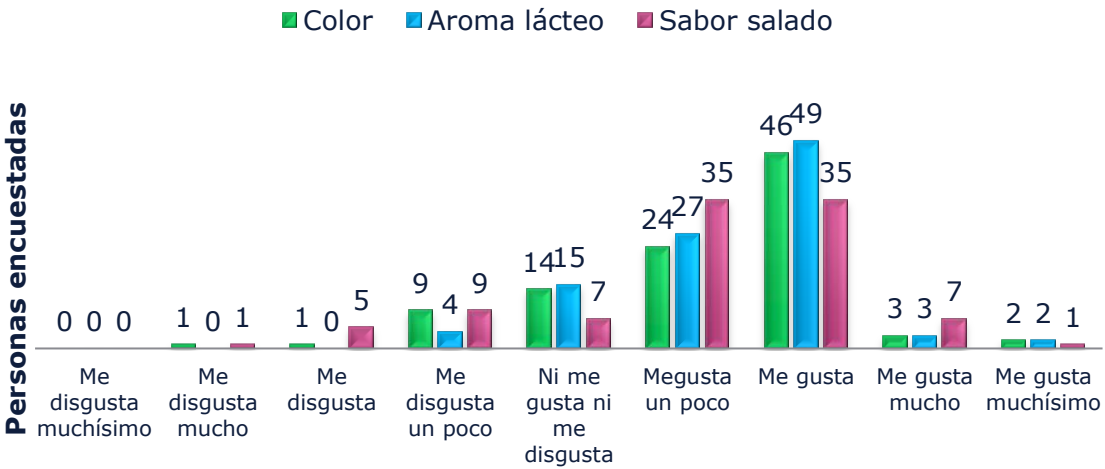


**Figura 22.** Costumbre de consumo de marcas comerciales de quesos (n=100).

Los resultados de la **Figura 23** indicaron que existió un agrado al queso análogo con inulina por parte de los consumidores; para el atributo de

color la mediana se encontró con un valor de 7 (me gusta) pero el promedio de las evaluaciones fue de 6.19, al realizar la prueba de t-student con un promedio teórico de 6.00 y una  $\alpha=0.05$  se encontró que no existió diferencia significativa entre las medias por lo que el estudio arrojó que, en cuanto al color, a los consumidores les gustó un poco el atributo.

Para el atributo de aroma lácteo la mediana se encontró con un valor de 7 (me gusta) y el promedio fue de 6.19, al realizar la prueba de t-student con un promedio teórico de 6.00 y una  $\alpha=0.05$ , se encontró una diferencia significativa entre las medias; al hacer la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, se encontró que no existió diferencia significativa con  $\alpha=0.05$  entre las medianas (valor teórico y actual = 7) por lo que el estudio arrojó que, en cuanto al aroma lácteo, a los consumidores les gustó el atributo.

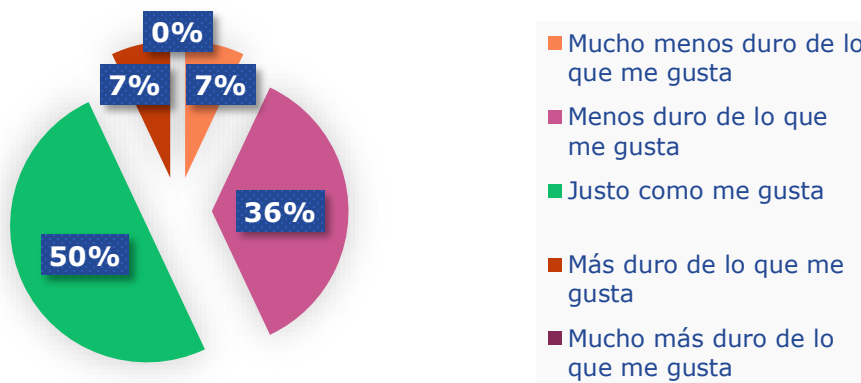


**Figura 23.** Distribución del agrado con una escala hedónica de 9 puntos, de los atributos de color, aroma lácteo y sabor salado hacia el queso análogo con inulina evaluado (n=100).

Para el atributo de sabor salado, la mediana se encontró con un valor de 6 (me gusta un poco) con un promedio de 6.08, al realizar la prueba de t-student comparando contra un promedio teórico de 6.00, por lo que no existió diferencia significativa entre las medias ( $\alpha=0.05$ ), por lo que el

estudio arrojó que, en cuanto al sabor salado, a los consumidores les gustó un poco el atributo.

La **Figura 24** muestra la distribución del agrado en cuanto a la textura, la mediana presentó un valor de 3 (justo como me gusta) con un promedio de 2.57, al realizar la prueba de t-student comparando contra un promedio teórico de 3.00, existió diferencia significativa entre las medias ( $\alpha=0.05$ ), de igual manera que al realizar la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, por lo que el estudio arrojó que, en cuanto a la textura, el producto se encontró entre menos duro de lo que les gusta y justo como les gusta.



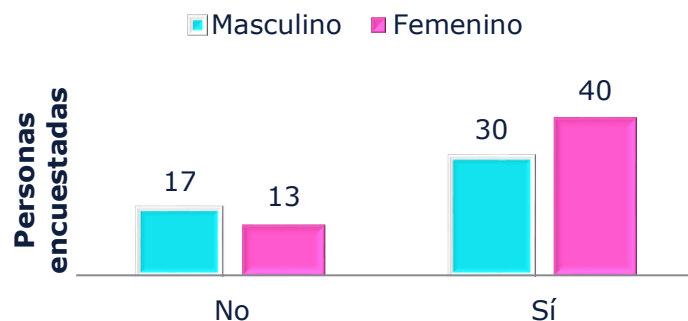
**Figura 24.** Distribución del agrado de la textura, del queso análogo con inulina evaluado en una escala justo como me gusta ( $n=100$ ).

Para el nivel de agrado general se muestran los resultados obtenidos de la encuesta en la **Figura 25**, la mediana tiene un valor de 7 (me gusta) y un promedio de 6.77, al realizar la prueba de t-student comparando contra un promedio teórico de 7.00, se encontró que no existió diferencia significativa entre las medias ( $\alpha=0.05$ ), por lo que la evaluación sensorial indica que el producto obtuvo una calificación general de 7 (me gusta).

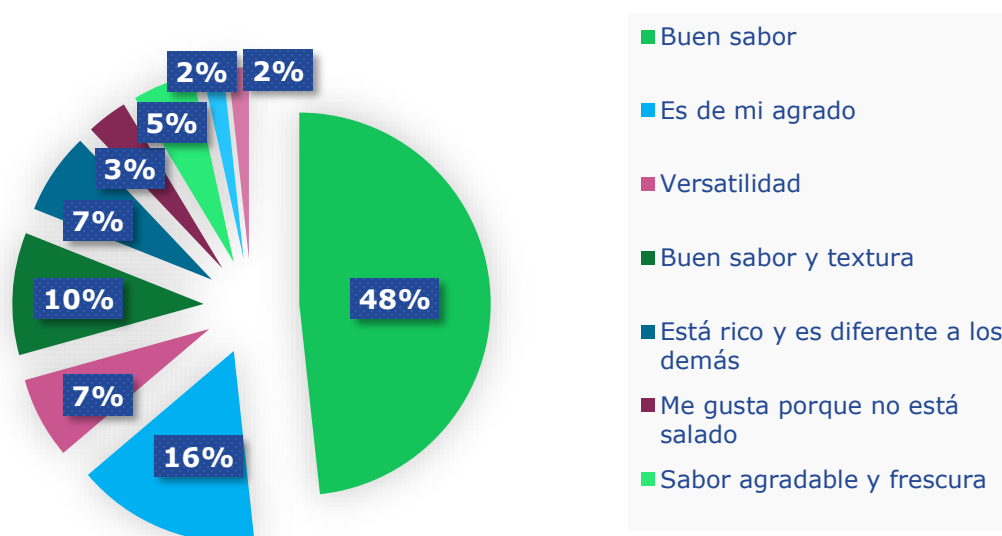


**Figura 25.** Agrado en general del consumidos hacia el queso análogo con inulina, utilizando una escala hedónica de 9 puntos (n=100).

Existió una buena aceptación por parte de los consumidores, reflejado en la **Figura 26**, ya que un 70% compraría el producto (de éstos un 57% son mujeres y 43 % hombres), las principales razones por las que los consumidores comprarían el producto se encuentran en la **Figura 27** donde el 48 % consideraron que tiene un buen sabor, a 16 % les fue de su agrado, 10 % consideraron que tiene un buen sabor y textura, mientras que 7 % consideraron el producto posee una gran versatilidad de uso y otro 7 % considera que está rico y fue diferente a los demás; 77 % de estos consumidores estarían dispuestos a pagar de 25 a 35 pesos por una presentación de 250 gramos (ubicado en la **Figura 28**) y 22 % pagarían de 35 a 45 pesos.

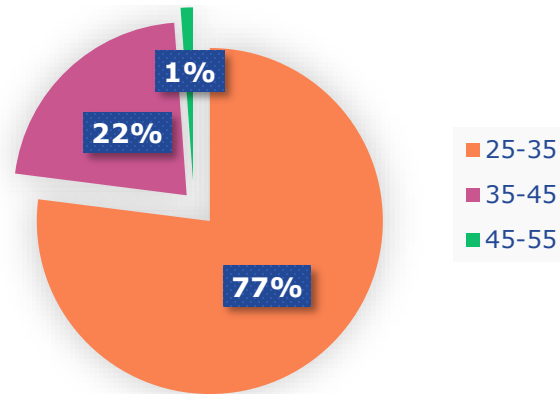


**Figura 26.** Distribución de la aceptación para la compra del queso análogo con inulina (n=100).

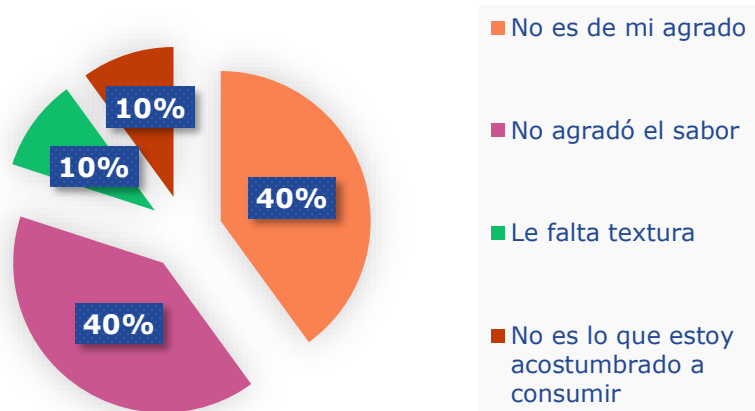


**Figura 27.** Distribución de las razones por las cuales los consumidores comprarían el producto (n=70).

Por otra parte de los resultados ubicados la **Figura 26**, de los consumidores encuestados un 30 % no comprarían el producto siendo un 57 % hombres y un 43 % mujeres. Las razones por las que no comprarían el producto se encuentran en la **Figura 29** y principalmente no comprarían el producto debido a que el queso análogo con inulina no fue de su agrado (40 %), no les agradó el sabor (40 %), consideran que le faltó textura (10 %) y a que no era algo a lo que estén acostumbrados a consumir (10 %).



**Figura 28.** Precio que estarían dispuestos a pagar los consumidores que comprarían el producto, por una presentación de 250 gramos del queso análogo con inulina (n=70).



**Figura 29.** Distribución de las razones por las cuales los consumidores no comprarían el producto (n=30).

Dados los resultados obtenidos, para obtener una mejor aceptación por parte de los consumidores, se recomienda en futuras investigaciones, analizar la formulación del queso análogo para mejorar el sabor del producto.

## **Conclusiones**

Se evaluó el efecto de la incorporación de las proteínas de lactosuero sobre las características de quesos frescos obtenidos, encontrando que el mayor resultado fue el impacto sobre la textura de los mismos. Además se desarrolló satisfactoriamente un queso análogo que aprovechara y se beneficiara de la funcionalidad de las proteínas de lactosuero.

### **Efecto de la incorporación de proteína de lactosuero en la producción de quesos frescos**

- Al adicionar 20 % de proteína de lactosuero en la leche se aumentó el contenido de proteína total en el queso de una manera significativa, manteniendo el mismo contenido de humedad que el queso testigo sin afectar notoriamente su microscopía, disminuyendo principalmente la dureza y luminosidad del queso obtenido.
- Adicionar la proteína de lactosuero en la cuajada en 20 % aumentó significativamente la cantidad de proteína total incrementando el rendimiento quesero sin afectar significativamente el perfil de textura sin embargo, se modifica su microestructura haciéndola notoriamente más porosa.

### **Efecto en la modificación del proceso de producción de quesos frescos para incorporar proteínas de lactosuero desnaturalizadas**

- Adicionar 20% de la proteína desnaturalizada de lactosuero tanto en cuajada como en leche, aumentó la humedad, el contenido de proteína total, el rendimiento quesero, pero se disminuyó el contenido en grasa en los quesos. La adición en leche no modifica la textura y no modifica la microscopía, mientras que su adición en la cuajada disminuyó la dureza



y genera irregularidades en la estructura interna causados por la retención de microagregados de la proteína de lactosuero desnaturalizada.

- Adicionar 20% de proteína de lactosuero con el posterior calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos aumentó la humedad del queso pero no incrementó significativamente el contenido de proteína total, además de que disminuyó la dureza, cohesividad y masticabilidad del queso. El calentamiento sin la adición de la proteína no altera la dureza, adhesividad elasticidad y masticabilidad.
- Modificar el proceso de producción de los quesos no mejora la eficiencia más allá de los resultados obtenidos para el queso testigo puesto que en mayor medida se incrementó la humedad de los quesos en los casos en los que aumentó la cantidad de proteína total además de modificar su textura, color y microscopía.

### **Desarrollo del queso análogo con proteínas exclusivas de lactosuero**

- Se desarrolló un queso análogo al queso fresco utilizando la funcionalidad de las proteínas de lactosuero, así como un queso análogo al que se le incluyó inulina para sustituir un 60 % de la cantidad de grasa propuesta en la formulación base. Esta modificación tuvo un impacto desfavorable en la textura del producto ya que se aumentó 4.4 % la humedad del queso, disminuyendo la dureza y adhesividad del mismo; sin embargo se disminuyó un 22 % del aporte calórico por 100 gramos del queso análogo.

- Utilizando las microscopías de los queso análogo desarrollado se propuso que la estructura final obtenida fue un gel de emulsión (gel de copolímeros), ya que primero se favoreció la formación de una emulsión del tipo lípido en agua con las proteínas de lactosuero funcionando como agentes emulsionantes y formadores de la red, con una posterior interacción con el gel derivado de la carragenina (con inulina en su caso) en agua; finalmente la estructura se estabilizó con la aplicación externa de calor; este proceso permitió la obtención de un queso análogo que aprovechara las características fisicoquímicas y bioquímicas de las proteínas de lactosuero.
- El queso análogo con inulina tuvo una calificación general de me gusta (7 en la escala hedónica de 9 puntos) y un 70 % de los encuestados comprarían el producto; por lo que se logró una buena aceptación por parte de los consumidores.

## Perspectivas

Se recomienda:

- Investigar la aplicación del calentamiento de la leche con la acidificación (para precipitar las proteínas) con el objetivo de aumentar el rendimiento quesero y la retención de las proteínas de lactosuero en quesos frescos para comparar con los resultados obtenidos en este estudio, así como su análisis costo-beneficio.
- Llevar a cabo una reformulación en el producto con el objetivo de disminuir el alto aporte del mineral sodio en el queso análogo original y con inulina; así como para mejorar el sabor del producto.
- Utilizar técnicas de microscopía óptica (de campo claro, de luz polarizada o microscopía de fluorescencia) para diferenciar en la estructura obtenida del queso análogo, las interacciones entre la proteína, grasa e hidrocoloides.
- Realizar una prueba de ordenamiento entre el queso análogo original, con inulina y un queso fresco, para conocer la preferencia entre estos tres productos y asociarlo con las diferencias encontradas entre su textura y composición.
- Realizar una evaluación sobre el costo del producto para conocer si es rentable el llevar el queso análogo con inulina a un escalamiento en una planta piloto.

## Bibliografía

- Abrahamsen, R. K. (1979) "Cheesemaking from milk fortified with ultrafiltrated whey protein concentrate.", *Milchwissenschaft*, (34), pp. 65–68.
- Aguilera, J. M. (1995) "Gelation of whey proteins", *Food Technology*, 49(10), pp. 83–83, 88–89.
- Aguilera, J. M. y Rademacher, B. (2004) "Proteins gels", en Yada, R. Y. (ed.) *Proteins in Food Processing*. CRC Press, pp. 468–482.
- Almanza Gaviña, C. J. (2011) *El Negocio del Queso, El Economista: Opinión y Análisis*. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2011/01/20/negocio-queso> (Consultado: el 19 de marzo de 2016).
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis of AOAC International, Association of Official Analysis Chemists International*. doi: 10.3109/15563657608988149.
- Bachmann, H. P. (2001) "Cheese analogues: A review", *International Dairy Journal*, 11(4–7), pp. 505–515. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00073-5.
- Cerníková, M., Bunka, F., Pavlínek, V., Brezina, P., Hrabe, J. y Valásek, P. (2008) "Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese", *Food Hydrocolloids*, 22(6), pp. 1054–1061. doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.05.020.
- Chang, R. (2007) "Fuerzas intermoleculares y líquidos y sólidos", en *Química*. 9a ed. McGraw-Hill.
- CODEX (1987) *CODEX General Standar for process(ed) cheese and spreadable process(ed) cheese, CODEX STAN A-8(b)-1978*. Disponible en: [http://www.dairyconsultant.co.uk/pdf/codex\\_specification\\_spreadable\\_processed\\_cheese.pdf](http://www.dairyconsultant.co.uk/pdf/codex_specification_spreadable_processed_cheese.pdf) (Consultado: el 21 de septiembre de 2016).
- Cosmotienda.com (2008a) *Ácido Láctico*. Disponible en: <http://www.cosmotienda.com/tienda/acido-lactico-puro-1000-p-3156.html> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- Cosmotienda.com (2008b) *CARRAGENINA FLAN JELLY*. Disponible en: <http://www.cosmotienda.com/tienda/carragenina-flan-jelly-p-3242.html?fmsid=2o6ildec8fhn6ehvdkaf6ki594> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).
- Cosmotienda.com (2008c) *Citrato de sodio*. Disponible en: <http://www.cosmotienda.com/tienda/citrato-sodio-puro-p-3248.html> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).
- Cosmotienda.com (2008d) *Cloruro de calcio*. Disponible en: <http://www.cosmotienda.com/tienda/cloruro-calcio-tecnico-1000-p-3250.html?fmsid=6rqr90bv91bt5ldn90tqk2k6s1> (Consultado: el 26 de septiembre de 2016).
- Cosmotienda.com (2008e) *Dióxido de Titanio Comestible*. Disponible en: <http://www.cosmotienda.com/tienda/bioxido-titanio-comestible-p-3224.html> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).
- El-Bakry, M. y Sheehan, J. (2014) "Analysing cheese microstructure: A review of recent developments", *Journal of Food Engineering*, 125(1), pp. 84–96. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.030.
- ESA (2012a) *Cheese and processed cheese - Determination of the total solids content (Reference method)*, ICS: 60.100.20. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/et/ibr/et.iso.5534.2012.pdf>.
- ESA (2012b) *Cheese and processed cheese products. Determination of fat content-Gravimetric Method*, ICS: 60.100.20. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/et/ibr/et.iso.1735.2012.pdf> (Consultado: el 5 de noviembre de 2015).
- Escobedo, I. (2010) *Percepción gustativa salina provocada por cloruro de sodio y otras sales en bebidas no alcohólicas y queso panela*. Tesis Licenciatura. Facultad de Química, UNAM.
- Facultad de Química, U. (2007) "Metodologías analíticas", en

*Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos*. Ciudad de México, p. 52.

- FAO/WHO y INCHEM (1969) *Carrageenan and Furcellaran*, FAO Nutrition Meetings Report Series No. 46A WHO/FOOD ADD/70.36. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v46aje42.htm> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- FAO/WHO y INCHEM (sin fecha) *Titanium Dioxide*. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/icsc/icsc/eics0338.htm> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- FAO/WHO y JECFA (sin fecha a) *Calcium Chloride*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-076.pdf> (Consultado: el 26 de septiembre de 2016).

- FAO/WHO y JECFA (sin fecha b) *Lactic acid*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-247.pdf> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- FAO/WHO y JECFA (sin fecha c) *Tetrasodium pyrophosphate*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-461.pdf> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- FAO/WHO y JECFA (sin fecha d) *Trisodium citrate*. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-481.pdf> (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- Ferrão, L. L., Silva, E. B., Silva, H. L. A., Silva, R., Mollakhalili, N., Granato, D., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Padilha, M. C., Zacarchenco, P. B., Barbosa, M. I. M. J., Mortazavian, A. M. y Cruz, A. G. (2016) "Strategies to develop healthier processed cheeses: Reduction of sodium and fat contents and use of prebiotics", *Accepted manuscript in Food Research International*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.foodres.2016.04.034.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000a) "Cheese Yield", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg,

Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000b) "Enzymatic Coagulation of Milk", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000c) "Nutritional Aspects of Cheese", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000d) "Postcoagulation Treatment of Renneted Milk Gel", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000e) "Salting of Cheese Curd", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Fox, P., Guinee, T. P., Cogan, T. M. y McSweeney, P. L. H. (2000f) "Whey", en *Fundamentals of cheese science*. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

- Gomes, A. P., Cruz, A. G., Cadena, R. S., Celeghini, R. M. S., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A., Pollonio, M. A. R. y Granato, D. (2011) "Manufacture of low-sodium Minas fresh cheese: effect of the partial replacement of sodium chloride with potassium chloride", *Journal of Dairy Science*, (94), pp. 2701–2706.

- González-Guerrero, L. V., Morales-García, E. del C., Díaz-Aguilar, A. R., Hernández-Zamora, G. y Salgado-Hernández, M. E. (1997) *Español. Primer Grado. Lecturas*. Editado por P. N. para el F. de la L. y E. en la E. Básica. México.

- Hennesly, P. J., Dunne, P. G., O'Sullivan, M. y O'Riordan, E. D. (2005) "Increasing the moisture content of imitation cheese: effects on texture, rheology and microstructure.", *European Food Research and Technology*, pp. 415–420.

- Hennessey, P. J., Dunne, P. G., O'Sullivan, M. y O'Riordan, E. D. (2006) "Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin", *Journal of Food Engineering*, 75(3), pp. 388–395. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.023.
- Hickey, C. D., Auty, M. A. E., Wilkinson, M. G. y Sheehan, J. J. (2015) "The influence of cheese manufacture parameters on cheese microstructure, microbial localisation and their interactions during ripening: A review", *Trends in Food Science and Technology*, 41(2), pp. 135–148. doi: 10.1016/j.tifs.2014.10.006.
- Hilmaringredients (2011) *Hilmar™ 8200 Whey Protein Concentrate Product Bulletin*. Disponible en: [http://www.hilmaringredients.com/wp-content/uploads/2016/01/Hilmar8200\\_8232016.pdf](http://www.hilmaringredients.com/wp-content/uploads/2016/01/Hilmar8200_8232016.pdf) (Consultado: el 20 de septiembre de 2016).
- Hinrichs, J. (2001) "Incorporation of whey proteins in cheese", *International Dairy Journal*, 11(4–7), pp. 495–503. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00071-1.
- Hinrichs, J. y Steffl, A. (1998) "Untersuchungen zum Einbau partikulierter Molkenprotein/Lactose-Komplexe bei der Käseherstellung. AiFSchlußbericht", *Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik, Freising*.
- Jovanović, S., Bara, M. y Ma, O. (2005) "Whey proteins-Properties and Possibility of Application", *Mljekarstvo*, 55(3), pp. 215–233.
- Karimi, R., Azizi, M. H., Ghasemlou, M. y Vaziri, M. (2015) "Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review", *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 119, pp. 85–100. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.11.029.
- Kilara, A. y Vanhela, M. N. (2004) "Whey Proteins", en Yada, R. Y. (ed.) *Proteins in Food Processing*. CRC Press, pp. 72–99.
- Lucey, J. A., Munro, P. A. y Singh, H. (1999) "Effects of heat treatment and whey protein addition on the rheological properties and structure of



acid skim milk gels", *International Dairy Journal*, 9(3–6), pp. 275–279. doi: 10.1016/S0958-6946(99)00074-6.

- Mangino, M. E. (1992) "Properties of Whey Protein Concentrates", en Zadow, J. G. (ed.) *Whey and lactose processing*. Springer Netherlands, pp. 231–270.

- Marshall, R. J. (1990) "Composition, structure, rheological properties and sensory texture of processed cheese analogues", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50, pp. 237–252.

- Meyer, D., Bayarri, S., T?rrega, A. y Costell, E. (2011) "Inulin as texture modifier in dairy products", *Food Hydrocolloids*, 25(8), pp. 1881–1890. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.04.012.

- Minolta, K. (2002) *Chroma Meter CR 400 Instruction Manual*. Disponible en:

[http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction\\_manual/color/pdf/cr-400-410\\_instruction\\_spa.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/color/pdf/cr-400-410_instruction_spa.pdf) (Consultado: el 15 de septiembre de 2016).

- Mleko, S. y Foegeding, E. A. (2000) "Physical properties of rennet casein gels and processed cheese analogs containing whey proteins.", *Milchwissenschaft*, 55, pp. 513–516.

- Mottar, J. Bassier, A. Joniau, M. Baert, J. (1998) "Effect of heat-induced association of whey proteins and casein micelles on yogurt texture", *Journal of Dairy Science*, 72(9), pp. 2247–2256.

- O'Riordan, E. D., Duggan, E., O'Sullivan, M. y Noronha, N. (2011) "Production of Analogue Cheese", en Tamime, A. Y. (ed.) *Processed Cheese and Analogues*. Wiley-Blackwell.

- Pearce, K. y Zadow, J. G. (1992) "Whey protein recovery and whey protein fractionation", en *Whey and lactose processing*. Elsevier Applied Science.

- Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K. y Solanki, H. K. (2014)

“Carrageenan: A natural seaweed polysaccharide and its applications”, *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 105(1), pp. 97–112. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.067.

- Secretaria de Economía, D. (2004) *PROY-NOM-190-SCFI-2012, Mezcla de leche con grasa vegetal- Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, Diario Oficial*.

- Secretaria de Salud, D. (2010) *Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010. Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. México: DOF.

- Solowiej, B., Glibowski, P., Muszynski, S., Wydrych, J., Gawron, A. y Jelinski, T. (2014) “The effect of fat replacement by inulin on the physicochemical properties and microstructure of acid casein processed cheese analogues with added whey protein polymers”, *Food Hydrocolloids*, 44, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.foodhyd.2014.08.022.

- Steffl, A. (1999) “Integration von denaturierten Molkenproteinen in die Matrix von Weichk”, *Dissertation, Technische Universit, Munchen, G*.

- Thompson, B. & S. & (2014) *Milk Proteins, 2nd Edition From Expression to Food*. Disponible en: <http://store.elsevier.com/Milk-Proteins/isbn-9780124051751/>.

## Anexos

### A.I Cálculo de porcentajes de proteína adicionada

De acuerdo con la cantidad de proteína total de la leche determinada:

$$31.2g \text{ proteína total}/1000 \text{ mL leche}$$

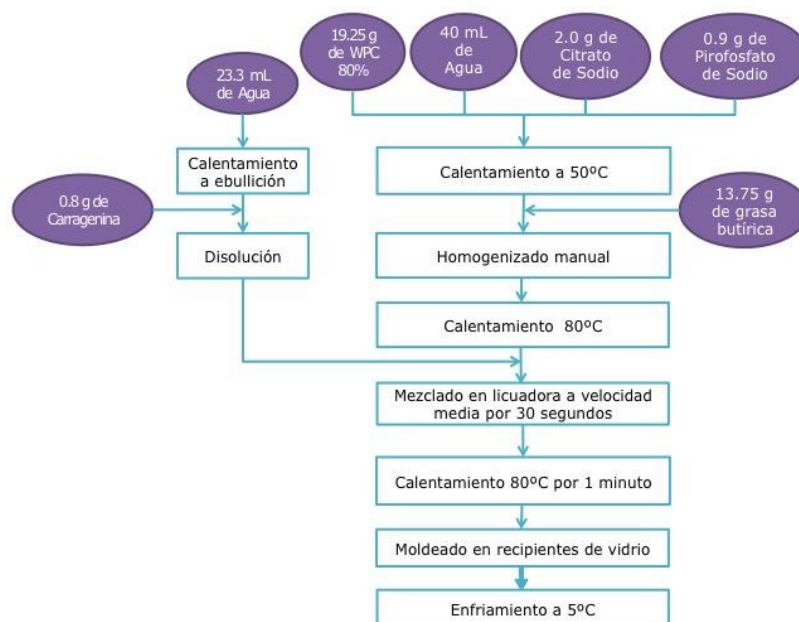
$$10\% \left( \frac{31.2g \text{ proteína total}}{100\%} \right) \left( \frac{100g \text{ WPC}_{80\%}}{78g \text{ proteína total}} \right) = 4g \text{ proteína WPC}_{80\%}$$

**Tabla 31.** Porcentajes de proteína adicionada

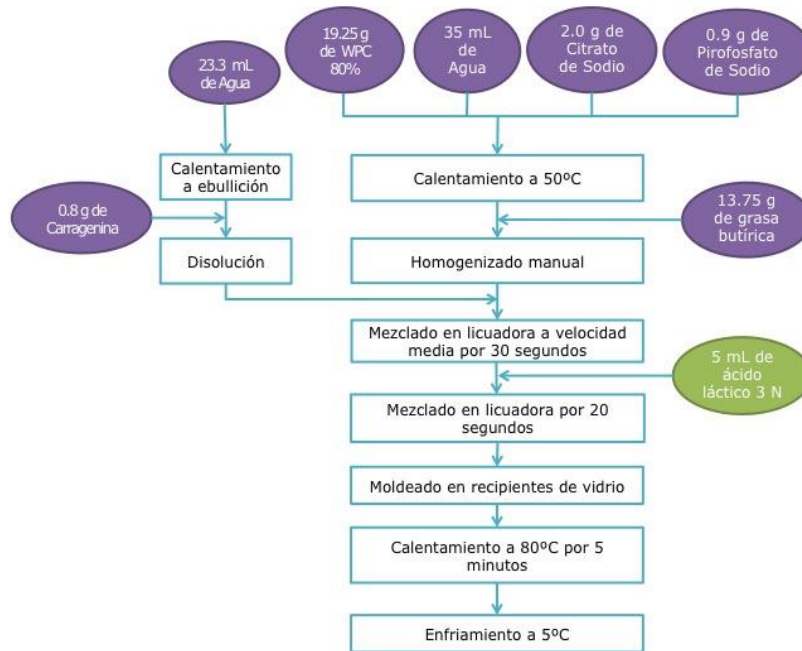
	1000 mL leche utilizada			1500 mL leche utilizada		
	10% proteína	20% proteína	30% proteína	10% proteína	20% proteína	30% proteína
WPC <sub>80%</sub>	4 g	8g	12g	6g	12 g	18g

### A.II Queso análogo

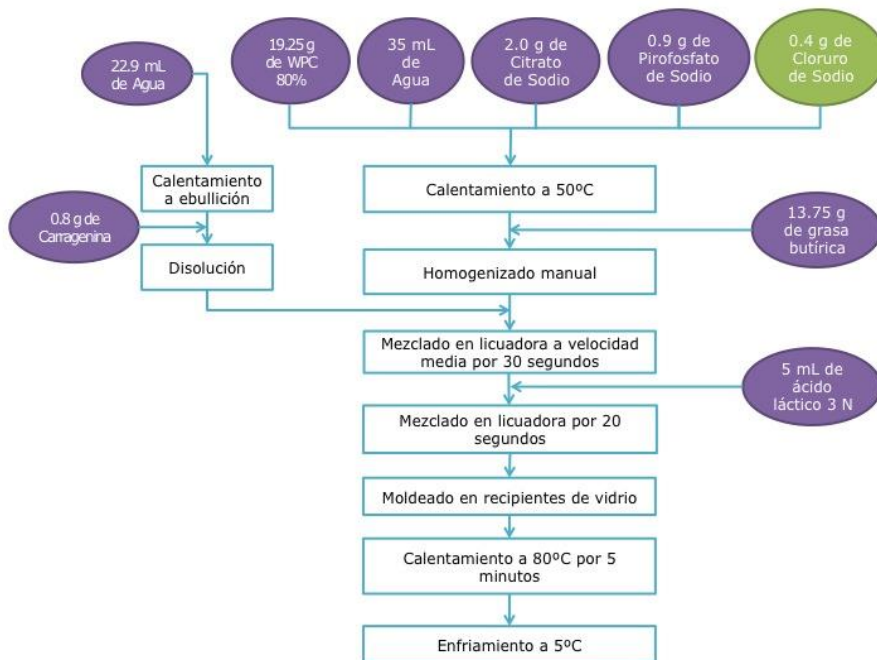
#### A.II.I Diagramas de producción del queso análogo



**Figura 30.** Propuesta de proceso de producción del queso análogo 1.



**Figura 31.** Proceso de producción del queso análogo 2, modificando el pH del producto final a 5.5.



**Figura 32.** Proceso de producción de queso análogo 3

## A.II.II Fichas técnicas de los aditivos e ingredientes

**Tabla 32.** Especificaciones técnicas de la Carragenina FlanGelly™

<b>Carragenina FlanGelly™</b>	
<b>Identity of carrageenan</b>	<p><u>Native</u> carrageenan is a mixture of highly sulfated polygalactosides and is extracted from seaweeds. The detailed structure varies slightly between samples depending on the source but all samples have a sulfate/galactoside ratio of approximately one and a molecular weight of 800 000 to one million. Native carrageenan is used by the food and toiletry industries.</p>
<b>Specifications</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color: White to cream</li> <li>• Smell: Characteristic</li> <li>• Humidity: Maximum 12%</li> <li>• pH (1% milk): 6.0 - 8.0</li> <li>• Particle size: Minimum 80% through US 100 mesh.</li> </ul>
<b>Uses and restrictions</b>	Replaces gelling agents such as albumin and gelatin in puddings, it forms strong and flexible gels and syneresis decreases in the finished product
<b>Estatus regulatorio</b>	Its components are approved by Ministry of Health, European Community and are considered GRAS by FDA (CFR Title 21)
<b>Comments</b>	<p>These closely related polysaccharides are very little absorbed when ingested by several animal species. The available short- and long-term studies support the safety of these materials despite the small numbers of animals employed. Carrageenan has a long history of human use without known ill-effect.</p> <p style="text-align: center;"><u>Estimate of acceptable daily intake for man</u> 0-75 mg/kg bw</p>
<b>Storage:</b>	Dry and ventilated room. Keep container tightly closed to prevent product absorb moisture container

(FAO/WHO y INCHEM, 1969; Cosmotienda.com, 2008b)

**Tabla 33.** Especificaciones técnicas del cloruro de calcio

<b>Calcium Chloride</b>	<b>Anhydrous: CaCl<sub>2</sub></b>
<b>Identity</b>	Anhydrous: White, deliquescent lumps or porous masses
<b>Specifications</b>	Anhydrous: Freely soluble in water and etanol Free alkali: not more tan 0.015 % as Ca(OH) <sub>2</sub> Magnesium and alkali salts: not more tan 5 % Fluoride: not more tan 40 mg/kg Lead: not more tan 2 mg/kg
<b>Uses and restrictions</b>	Firming agent Contact with skin and eyes is irritating.
<b>Storage</b>	In tightly closed containers. In dry area.

(FAO/WHO y JECFA, sin fecha a; Cosmotienda.com, 2008d)

**Tabla 34.** Especificaciones técnicas de la Inulina

<b>Inulin</b>	
<b>Identity</b>	Inulin is a soluble dietary fiber extracted from chicory roots by a natural process. Belongs to the class of fructans, indigestible oligosaccharides consisting of fructose units linked together by beta (2-1)-glucosidic bonds, and typically with a terminal glucose unit.
	Granular and amorphous powder white, odorless or almost odorless, hygroscopic.
<b>Specifications</b>	Slightly soluble in cold water and easily soluble in hot water organic solvents. Melting point: aprox.158-165°C Moisture max. 4.0 % pH min. 5.5 max 7 Ash: max. 0.3 % Total bacteria count max. 1000 CFU/g Chromatographic profile: fructose max. 6.00 %, glucose max. 2.00 %, sucrose max. 2.00 %, fructanes (Inulin) min. 92 %
<b>Uses and restrictions</b>	It has a caloric value of 2.1 kcal / g (pure inulin). The caloric intake is indirect and comes from the fermentation product in the colon. Prebiotic fibers are indigestible linear oligosaccharides that promote growth of beneficial bacteria in the colon (such as bifidobacterium). It can help protect against colon cancer and other intestinal diseases.
<b>Storage</b>	Tightly closed under 25°C

(Meyer *et al.*, 2011)

**Tabla 35. Especificaciones técnicas del ácido láctico**

<b>Lactic acid</b>	<b>DL-2-hydroxy propionic acid</b> <b>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Identity</b>	Commercial products contain lactic acid and water and may contain lactic anhydride in the more concentrated solutions. The total acid content, calculated as C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> is not less than 95 per cent. and not more than 105 per cent. of the amount specified.
	A colourless or yellowish, nearly odourless liquid with an acid taste
<b>Specifications</b>	Liquid: Soluble in water and in ethanol <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfated ash: not more than 0.1%</li> <li>• Chloride Not more than 0.2%</li> <li>• Sulfate: not more than 0.25%</li> <li>• Iron: not more than 10 mg/kg</li> <li>• Lead: not more than 2 mg/kg</li> </ul>
<b>Uses and restrictions</b>	Acidulant and preservative in food products.
<b>Exemption from certification</b>	It is an important intermediate in carbohydrate metabolism, However, human studies determining the maximum load of lactate are not available.
<b>Storage</b>	Tightly closed under 25°C

(FAO/WHO y JECFA, sin fecha b; Cosmotienda.com, 2008a)

**Tabla 36. Especificaciones técnicas del citrato de sodio**

<b>Sodium citrate</b>	
<b>Identity</b>	Trisodium citrate, trisodium salt of 2-hydroxy-1,2,3-propanetricarboxylic acid
	Colourless, odourless crystals, or white, crystalline powder; hydrated forms available include the dihydrate and the pentahemihydrate
<b>Specifications</b>	Soluble in 1.3 parts water, 0.6 parts of boiling water; insoluble alcohol. pH: The aqueous solution is slightly alkaline to litmus, pH about 8. Drying loss: Dihydrate no more than 13% (180 ° at constant weight) Lead: not more than 2 mg / kg
<b>Uses and restrictions</b>	Buffer, sequestrant, emulsion stabilizer
<b>Comments</b>	There is no reason to believe that the use of these citrates as food additives constitutes a significant toxicological hazard to man.
<b>Storage</b>	In tightly closed containers

(FAO/WHO y JECFA, sin fecha d; Cosmotienda.com, 2008c)

**Tabla 37.** Ficha de especificaciones técnicas del pirofosfato de sodio

<b>Tetrasodium Pyrophosphate</b>	<b>Na<sub>4</sub>O<sub>7</sub>P<sub>2</sub></b>
<b>Identity</b>	Tetrasodium diphosphate, tetrasodium pyrophosphate
	Colourless or white crystals, or a white crystalline or granular powder; the decahydrate effloresces slightly in dry air
<b>Specifications</b>	Soluble in water; insoluble in ethanol pH 9.9 - 10.8 (1 in 100 solution) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsenic: Not more than 3 mg / kg</li> <li>• Lead: not more than 4 mg / kg</li> <li>• Fluoride: not more than 10 mg / kg</li> </ul>
<b>Uses and restrictions</b>	Emulsifier, buffering agent, emulsifying agent, sequestrant
<b>Storage:</b>	Dry and ventilated room. Keep container tightly closed to prevent product absorb moisture container.

(FAO/WHO y JECFA, sin fecha c)



**Tabla 38. Especificaciones técnicas del dióxido de titanio**

<b>Titanium Dioxide</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>
<b>Identity</b>	The color additive titanium dioxide is synthetically prepared TiO <sub>2</sub> , free from admixture with other substances.
	Color additive mixtures for food use made with titanium dioxide may contain only those diluents that are suitable and that are listed in this subpart as safe in color additive mixtures for coloring foods, and the following: Silicon dioxide, SiO <sub>2</sub> and/or aluminum oxide, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , as dispersing aids—not more than 2 percent total.
<b>Specifications</b>	<p>Titanium dioxide shall conform to the following specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lead (as Pb), not more than 10 ppm.</li> <li>• Arsenic (as As), not more than 1 ppm.</li> <li>• Antimony (as Sb), not more than 2 ppm.</li> <li>• Mercury (as Hg), not more than 1 ppm.</li> <li>• Loss on ignition at 800 °C. (after drying for 3 hours at 105 °C.), not more than 0.5 percent.</li> <li>• Water soluble substances, not more than 0.3 percent.</li> <li>• Acid soluble substances, not more than 0.5 percent.</li> <li>• TiO<sub>2</sub>, not less than 99.0 percent after drying for 3 hours at 105 °C.</li> </ul>
<b>Uses and restrictions</b>	<p>The color additive titanium dioxide may be safely used for coloring foods generally, subject to the following restrictions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• The quantity of titanium dioxide does not exceed 1 percent by weight of the food.</li> <li>• It may not be used to color foods for which standards of identity have been promulgated under section 401 of the act unless added color is authorized by such standards.</li> </ul>
<b>Exemption from certification</b>	Certification of this color additive is not necessary for the protection of the public health and therefore batches are exempt from the certification requirements of section 721(c) of the act.
<b>Comments</b>	Titanium dioxide is a very insoluble compound. The studies in several species, including man, show neither significant absorption nor tissue storage following ingestion of titanium dioxide. Studies on soluble titanium compound have therefore not been reviewed. It is useful to note that following absorption of small amounts of Ti ions no toxic effects were observed. Establishment of an acceptable daily intake for man is considered unnecessary.
<b>Storage</b>	Tightly closed containers

(FAO/WHO y INCHEM, sin fecha; Cosmotienda.com, 2008e)

## Hilmar™ 8200 Whey Protein Concentrate Heat Stable/Gelling

Hilmar™ 8200 is a specially designed 80% whey protein concentrate that exhibits strong, heat-induced gelling characteristics. It is derived from fresh, sweet dairy whey processed by a special cross-flow filtration and further modified to provide good heat stability in applications such as bakery and beverages.


### FEATURES / BENEFITS

- High Heat Stability
- Strong Gelling Characteristics
- Outstanding Emulsification
- Highly Soluble
- Egg Replacement
- Minimal Carbohydrate Levels
- Low Glycemic Index
- Acid Soluble and Stable
- Bland Flavor Profile
- High Digestibility
- Superior Protein Source
- Excellent Amino Acid Profile
- Non GMO (our products are not manufactured with genetically engineered components)

### APPLICATIONS

- RTD Beverages
- Protein Bars
- Nutritional Fortification
- Bakery
- Dairy and Frozen Desserts
- Savory, Soups, Sauces
- Salad Dressing
- Confectionery
- Medical Nutrition

### FOOD SAFETY & CERTIFICATION

- Produced in a GFSI-Certified Facility
- Kosher  and Halal Certified
- EU Compliant

### NUTRITIONAL VALUES

Composition	Typical	Specification	Test Method
Protein (% dry basis)	82.3	80.0 min	Calculation
Protein (% as is)	78.5	77.5 min	AOAC
Lactose (%)	5.0		AOAC
Fat (%)	5.0	7.0 max	AOAC
Moisture (%)	4.5	5.5 max	AOAC
Ash (%)	4.5	6.0 max	AOAC
pH		7.0 – 7.4	10% Sol. at 20°C
Scorched Particles (mg/25g)	7.5	7.5	SMEDP

	Specification	Test Method
<b>Microbiology</b>		
APC (CFU/g)	10,000 max	AOAC
Coliforms (CFU/g)	<10	AOAC
E. Coli (CFU/g)	<10	AOAC
Salmonella (750g)	Negative	AOAC
Yeast (CFU/g)	50 max	AOAC
Mold (CFU/g)	50 max	AOAC
Coagulase Positive Staph (CFU/g)	<10	AOAC
Listeria (25g)	Negative	AOAC

Other Nutritional Information	Typical
Cholesterol (mg/100g)	220
Total Calories (Kcal/100g)	385
Biological Value (BV)	104
PDI/AAS	1
Protein Efficiency Ratio (PER)	3.2
Net Protein Utilization (NPU)	92
Protein Digestibility	95

MINERALS	Typical
Sodium (mg/100g)	1,250
Calcium (mg/100g)	325
Potassium (mg/100g)	530
Phosphorus (mg/100g)	475
Magnesium (mg/100g)	45
Chloride (mg/100g)	750
Iron (mg/100g)	0.8

**Figura 33.** Especificaciones técnicas del concentrado de proteína de lactosuero, WPC Hilmar™ 8200 (Hilmaringredients, 2011)

## A.III Cuestionario de la evaluación sensorial del queso análogo con inulina

Edad: \_\_\_\_\_ años                      Género: M    F

1. ¿Qué tan frecuente consume quesos?

Diario	Dos a tres veces por semana	Una vez por semana	Dos veces al mes
--------	-----------------------------	--------------------	------------------

2. ¿Cuál de las siguientes marcas acostumbra consumir?

<input type="checkbox"/> Nochebuena	<input type="checkbox"/> Lala
<input type="checkbox"/> La Villita	<input type="checkbox"/> Los Volcanes
<input type="checkbox"/> Fud	<input type="checkbox"/> Queso a granel
<input type="checkbox"/> Esmeralda	<input type="checkbox"/> Otro: _____

Instrucciones: Frente a usted se encuentra una muestra de queso bajo en grasa, pruébela e indique qué tanto le gusta marcando con una X sobre la escala.

3. ¿Qué tanto le agrada el COLOR?

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
-----------------------	-------------------	-------------	---------------------	----------------------------	------------------	----------	----------------	--------------------

4. ¿Qué tanto le agrada el AROMA LÁCTEO?

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
-----------------------	-------------------	-------------	---------------------	----------------------------	------------------	----------	----------------	--------------------

5. ¿Qué tanto le gusta el SABOR SALADO?

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
-----------------------	-------------------	-------------	---------------------	----------------------------	------------------	----------	----------------	--------------------

6. En cuanto a la TEXTURA, señale en la casilla cuál de las siguientes opciones considera que es la más adecuada para el queso.

Mucho menos duro de lo que me gusta	Menos duro de lo que me gusta	Justo como me gusta	Más duro de lo que me gusta	Mucho más duro de lo que me gusta
-------------------------------------	-------------------------------	---------------------	-----------------------------	-----------------------------------

7. En general, ¿qué tanto le gusta el queso?

Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta	Me disgusta un poco	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo
-----------------------	-------------------	-------------	---------------------	----------------------------	------------------	----------	----------------	--------------------

8. ¿Compraría el producto?  
SI: \_\_\_\_\_ NO: \_\_\_\_\_ ¿Por qué? \_\_\_\_\_

9. ¿Qué precio pagaría por una presentación de 250g?

25-35	35-45	45-55
-------	-------	-------

**¡MUCHAS GRACIAS!**

**Figura 34.** Cuestionario para la evaluación sensorial del queso análogo.

## A.IV Balances de Materia

**Tabla 39.** Balances de materia para el queso Testigo.

Testigo			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1500 mL	268 g	1220 mL	-	-
Sólidos totales (g)	199.63	106.29	93.13	199.41	0.22	
Proteína total (g)	46.8	40.01	7.65	47.66	-0.86	
Grasa (g)	51	49.24	2.44	51.68	-0.68	
Carbohidratos (g)	72	11.16	60.23	71.39	0.61	
Ceniza (g)	22.33	5.87	15.98	21.85	0.48	

**Tabla 40.** Balances de materia de la incorporación de proteína de lactosuero en leche A+10 %, A+20 % y A+30 %

A +10%			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	180 g	782 mL	-	-
Sólidos totales (g)	136.93	70.00	67.80	137.80	-0.87	
Proteína total (g)	34.32	27.61	6.55	34.15	0.17	
Grasa (g)	34.18	30.70	2.87	33.57	0.61	
Carbohidratos (g)	48.25	7.98	39.88	47.86	0.39	
Ceniza (g)	14.97	3.71	10.69	14.40	0.57	
A +20%			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	189 g	735 mL	-	-
Sólidos totales (g)	141.33	73.19	67.02	140.20	1.13	
Proteína total (g)	37.44	30.15	8.71	38.86	-1.42	
Grasa (g)	34.36	29.84	3.68	33.51	0.85	
Carbohidratos (g)	48.5	9.60	39.27	48.87	-0.37	
Ceniza (g)	15.11	3.60	11.69	15.28	-0.17	
A +30%			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	179 g	774 mL	-	-
Sólidos totales (g)	145.23	67.77	78.74	146.51	-1.28	
Proteína total (g)	40.56	27.64	12.66	40.30	0.26	
Grasa (g)	34.54	27.37	5.42	32.79	1.75	
Carbohidratos (g)	48.75	9.22	41.20	50.43	-1.68	
Ceniza (g)	17.25	3.54	14.19	17.73	-0.48	

**Tabla 41.** Balance de materia de la incorporación de la proteína en cuajada B+10 %, B+20 %, B+30 %

B + 10 %			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	170.1 g	790 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	137.43	68.85	67.76	136.60	0.83
	Proteína total (g)	34.32	25.98	8.50	34.48	-0.16
	Grasa (g)	34.18	32.27	1.58	33.85	0.33
	Carbohidratos (g)	48.25	6.82	40.11	46.92	1.33
	Ceniza (g)	14.97	3.78	11.27	15.05	-0.08
B + 20 %			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	198 g	771 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	141.33	75.90	60.91	136.81	4.52
	Proteína total (g)	37.44	30.64	7.32	37.97	-0.53
	Grasa (g)	34.36	32.88	1.54	34.42	-0.06
	Carbohidratos (g)	48.5	8.04	40.55	48.59	-0.09
	Ceniza (g)	15.11	4.34	11.49	15.83	-0.72
B + 30 %			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1000 mL	189 g	790 mL		
	Sólidos totales (g)	145.23	73.19	68.97	142.16	3.07
	Proteína total (g)	40.56	28.79	12.03	40.82	-0.26
	Grasa (g)	34.54	31.99	2.63	34.62	-0.08
	Carbohidratos (g)	48.75	7.65	41.08	48.73	0.02
	Ceniza (g)	17.25	4.76	13.22	17.98	-0.73

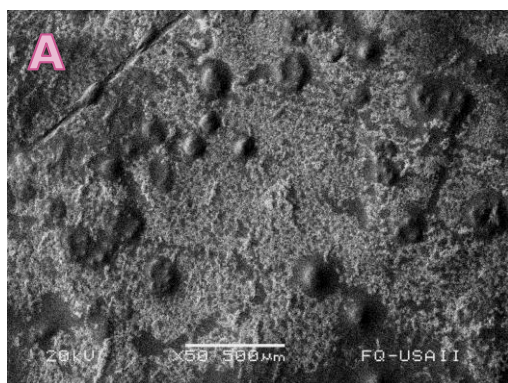
**Tabla 42.** Balances de materia de los quesos elaborados con proteína de lactosuero desnaturalizada adicionada en cuajada (C-1) y en leche (C-2)

C-1			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1500 mL	292 g	1203 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	211.33	111.98	98.61	210.59	0.74
	Proteína total (g)	56.2	44.61	12.07	56.67	-0.47
	Grasa (g)	51.54	49.28	2.41	51.69	-0.15
	Carbohidratos (g)	73.5	12.42	60.63	73.05	0.45
	Ceniza (g)	22.75	5.67	16.48	22.16	0.59
C-2			Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia
	Inicial	1500 mL	297 g	1219 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	211.33	113.78	96.91	210.69	0.64
	Proteína total (g)	56.2	45.59	11.60	57.19	-0.99
	Grasa (g)	51.54	49.91	2.44	52.35	-0.81
	Carbohidratos (g)	73.5	11.15	62.21	73.36	0.14
	Ceniza (g)	22.75	7.13	15.60	22.73	0.02

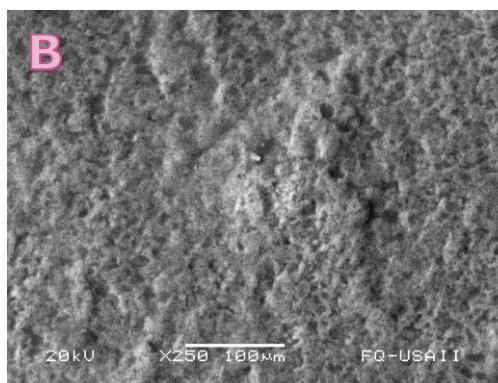
**Tabla 43.** Balance de materia de los quesos con calentamiento de la cuajada a 92°C por 5 minutos: D-1 (adicionando 20% de proteína de lactosuero) y D-2 (con las proteínas propias de la leche)

		Queso	Lactosuero	Suma	Diferencia	
D-1	Inicial	1500 mL	298.2 g	1100 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	211.33	114.50	96.76	211.26	0.07
	Proteína total (g)	56.2	44.82	11.06	55.88	0.32
	Grasa (g)	51.54	50.19	2.20	52.39	-0.85
	Carbohidratos (g)	73.5	11.57	61.96	73.53	-0.03
	Ceniza (g)	22.75	7.92	14.19	22.11	0.64
D-2	Inicial	1500 mL	278 g	1120 mL	-	-
	Sólidos totales (g)	199.63	111.14	87.62	198.77	0.86
	Proteína total (g)	46.8	40.16	7.43	47.59	-0.79
	Grasa (g)	51	48.21	2.24	50.45	0.55
	Carbohidratos (g)	72	16.55	54.85	71.40	0.60
	Ceniza (g)	22.33	6.23	16.02	22.24	0.09

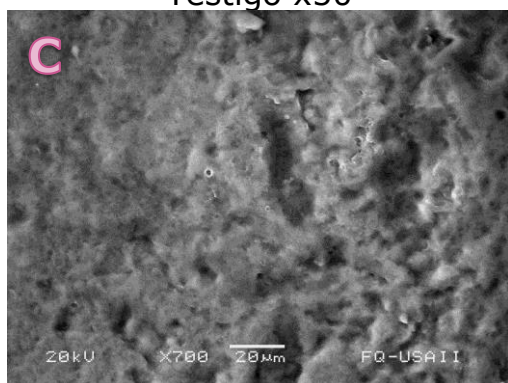
## A.V Microscopías ESEM



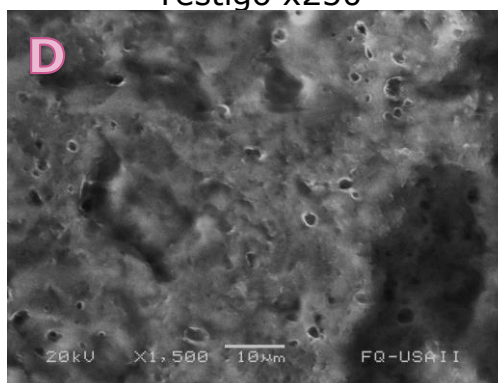
Testigo x50



Testigo x250

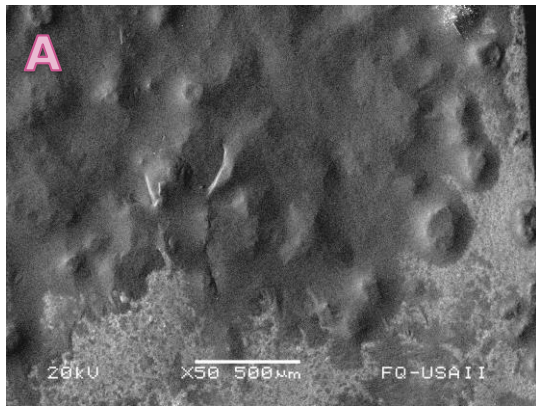


Testigo x700

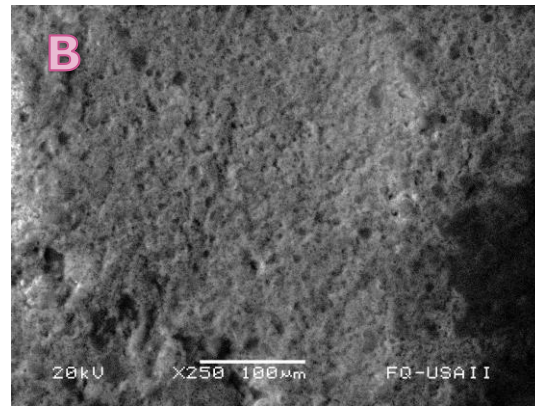


Testigo x1500

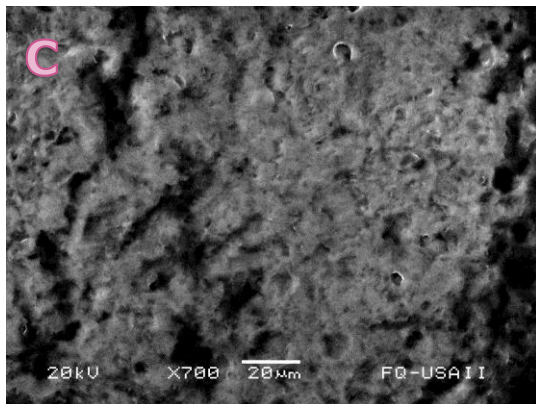
**Figura 35.** Microscopías ESEM para el queso testigo. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500



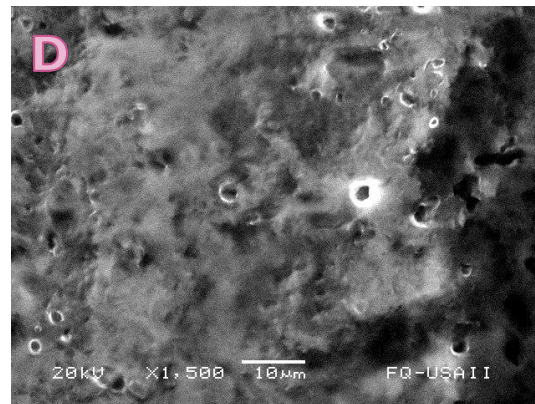
x50



x250

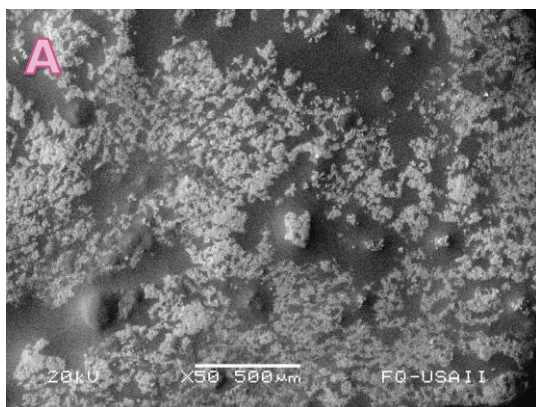


x700

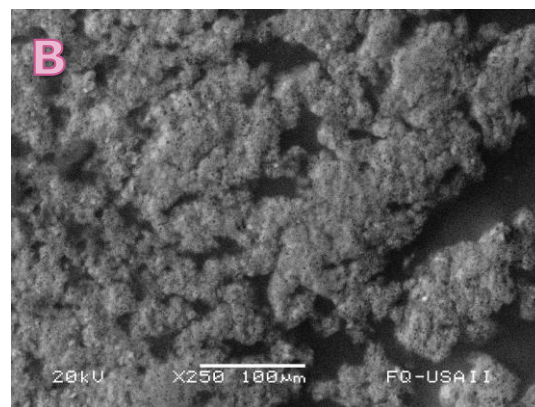


x1500

**Figura 36.** Microscopías ESEM para el queso A+20 %. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500

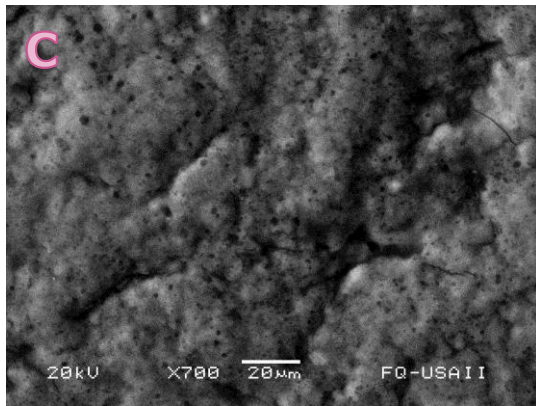


x50

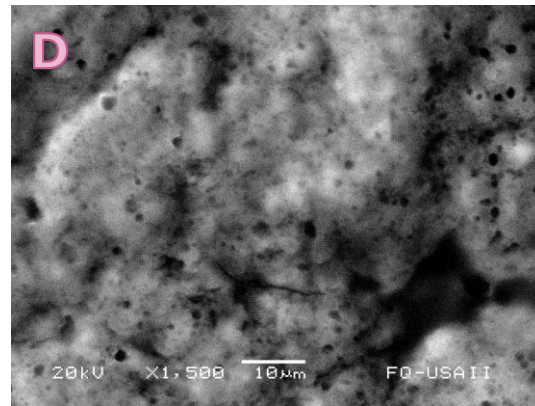


x250

**Figura 37.** Microscopías ESEM para el queso B+20 %. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500

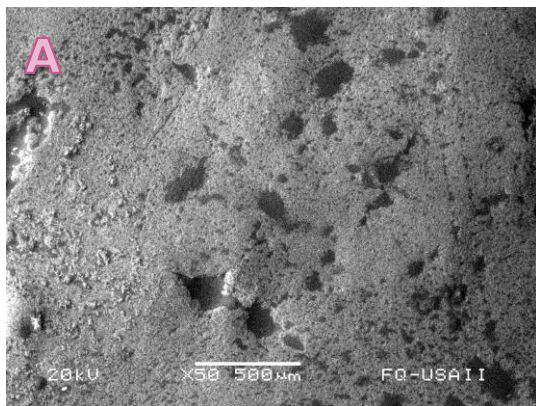


x700

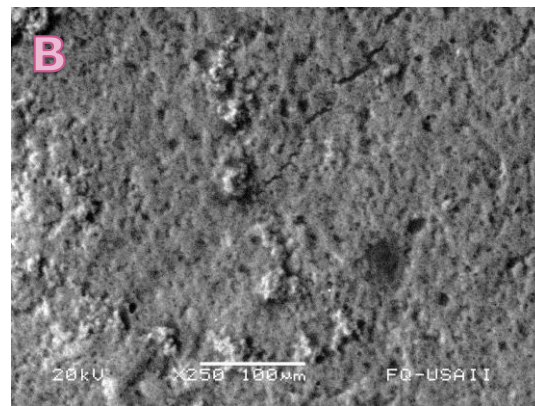


x1500

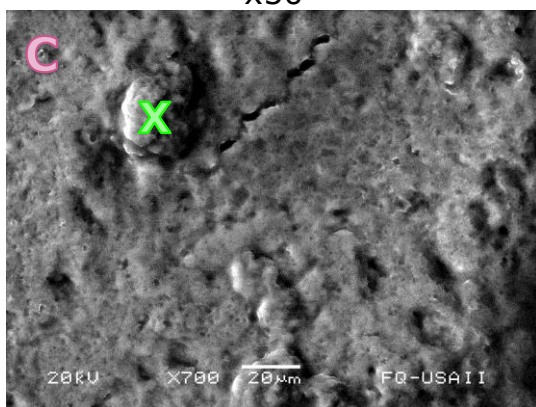
**Cont. Figura 37.** Microscopías ESEM para el queso B20% . Aumentos de: **A**: x50, **B**: x250, **C**: x700 y **D**: x1500



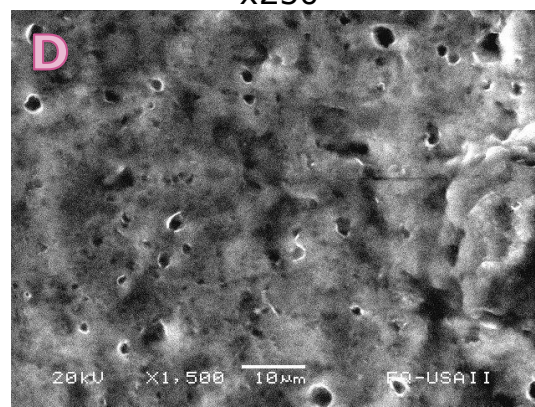
x50



x250



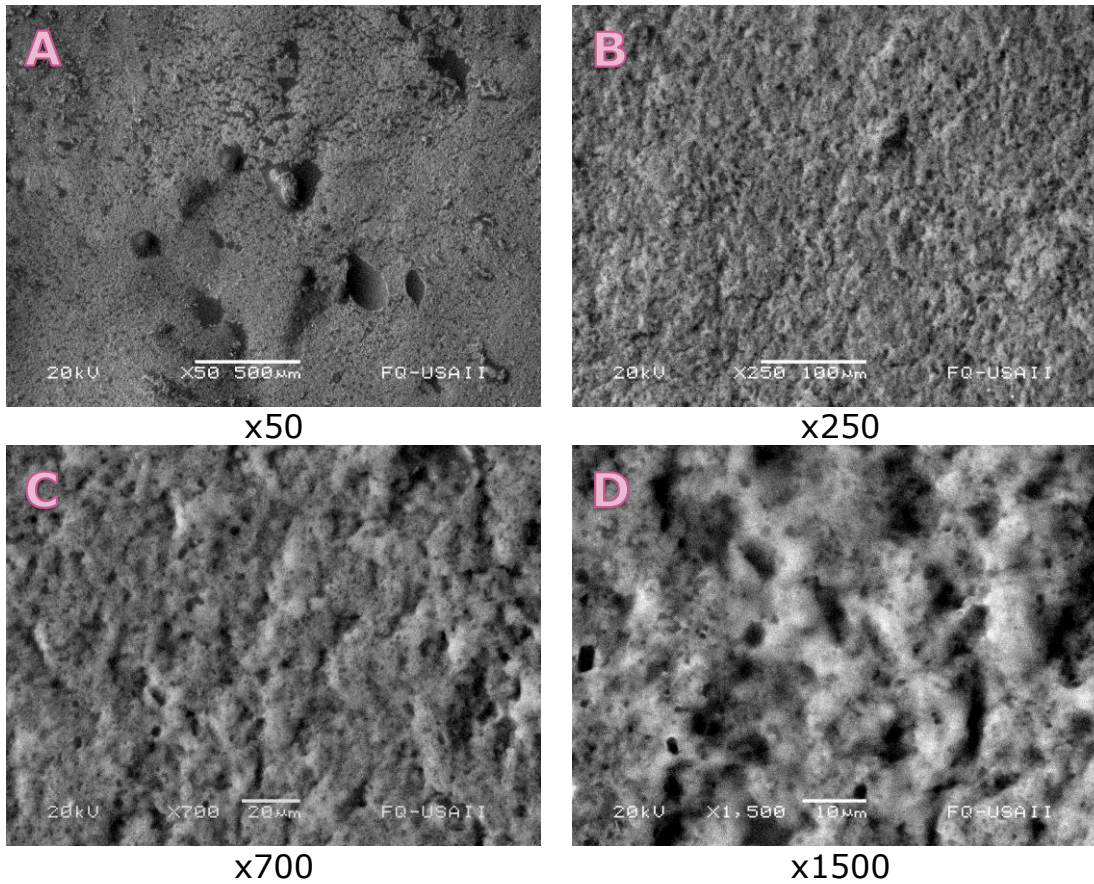
x700



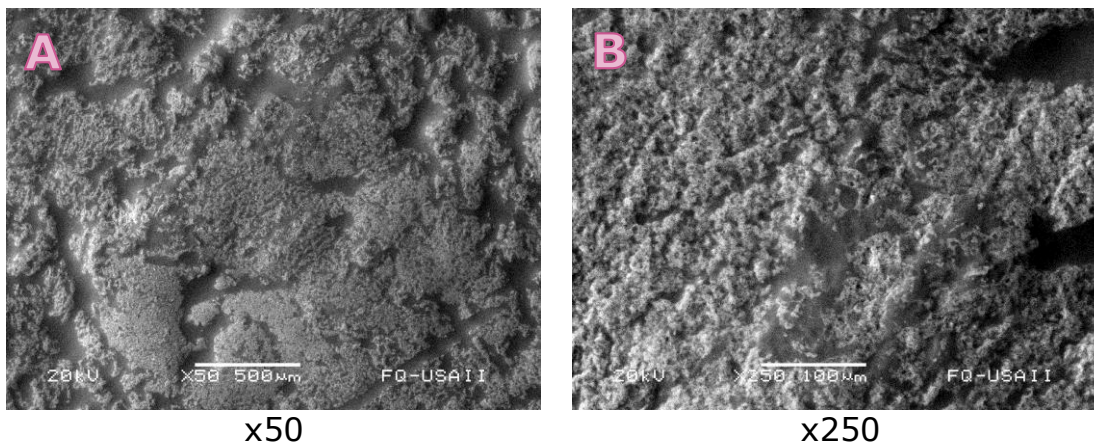
x1500

**Figura 38.** Microscopías ESEM para el queso C-1. Aumentos de: **A**: x50, **B**: x250, **C**: x700 y **D**: x1500

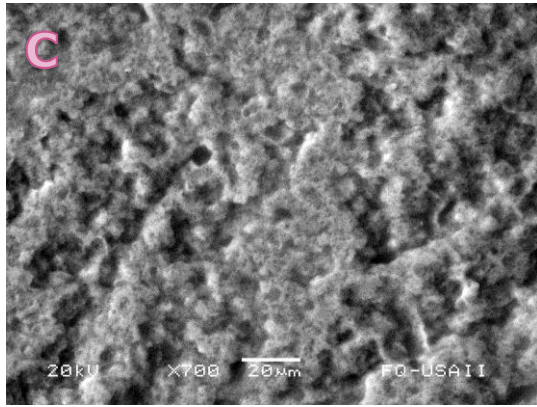




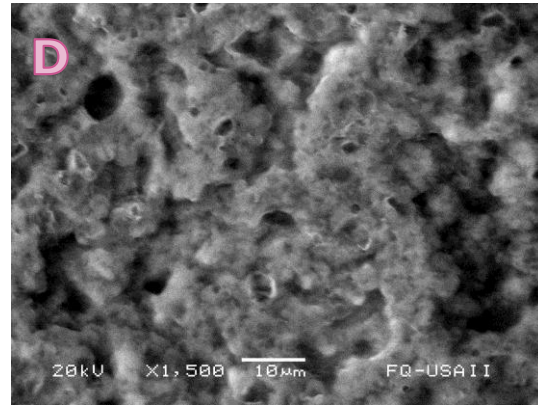
**Figura 39.** Microscopías ESEM para el queso C-2. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500



**Figura 40.** Microscopías ESEM para el queso D-1. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500

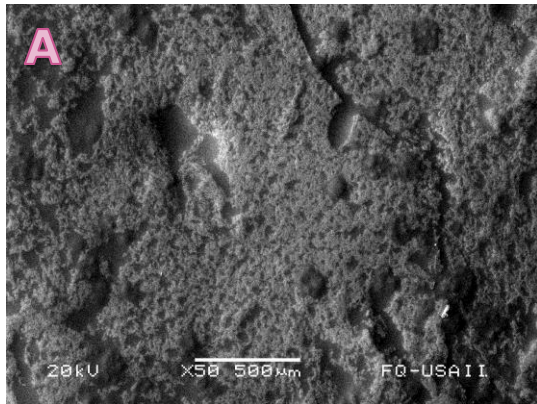


x700

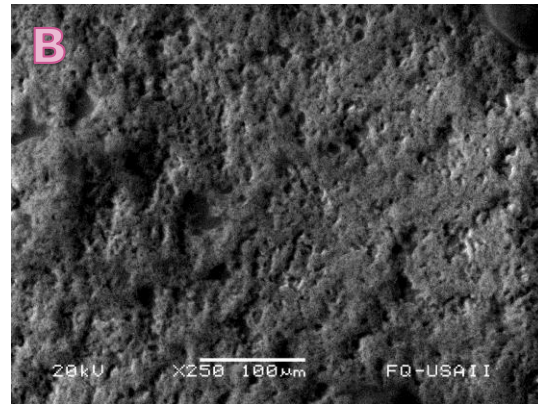


x1500

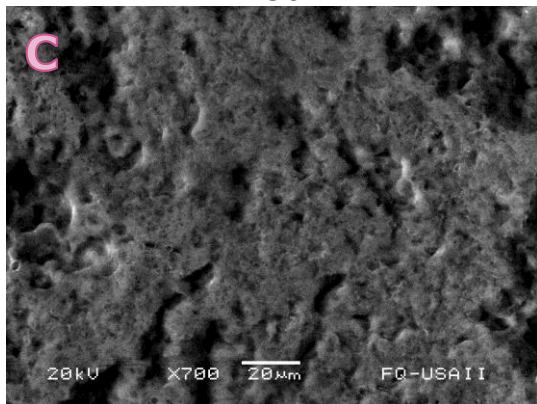
**Cont. Figura 40.** Microscopías ESEM para el queso D-1. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500



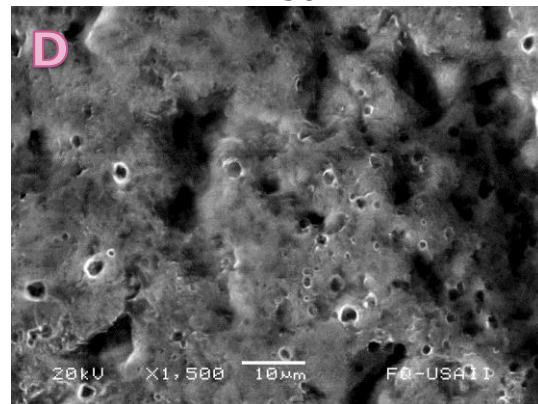
x50



x250

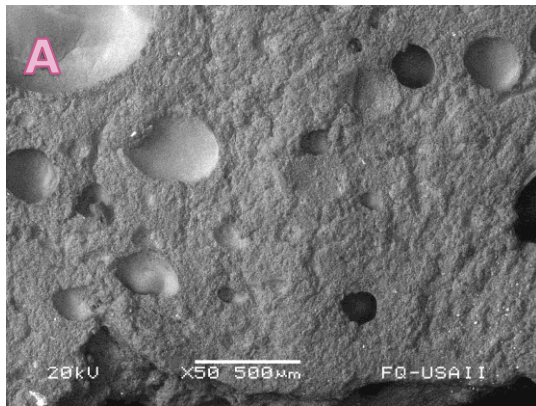


x700

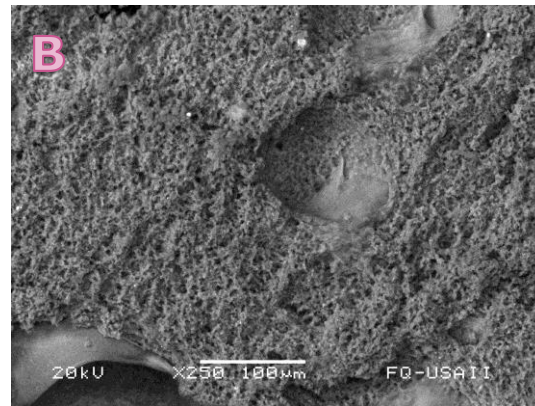


x1500

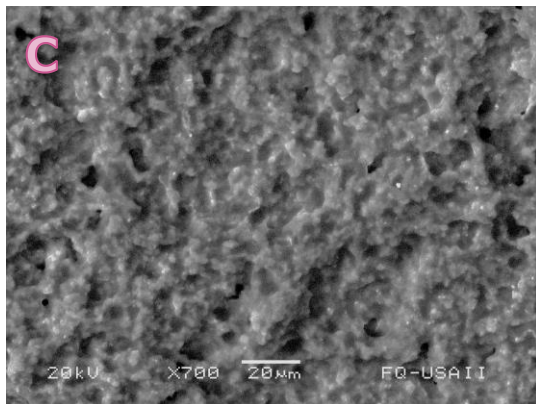
**Figura 41.** Microscopías ESEM para el queso D-2. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500



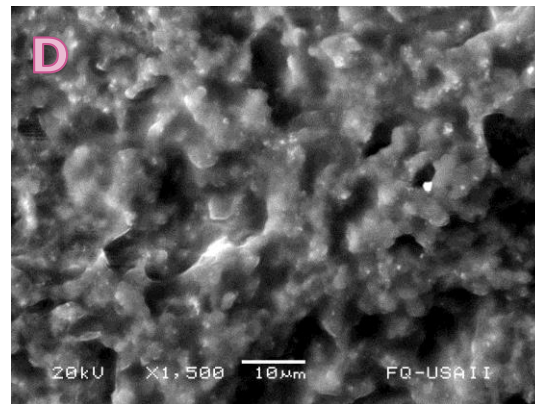
x50



x250



x700

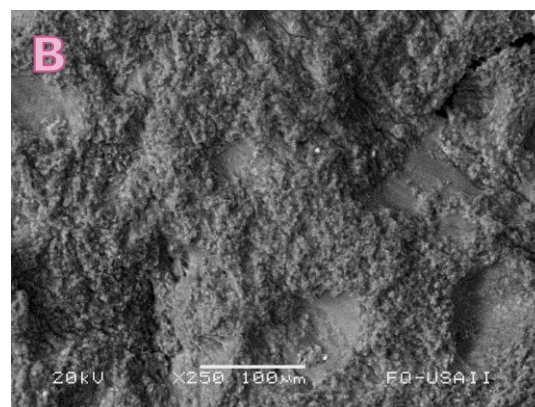


x1500

**Figura 42.** Microscopías ESEM para el queso análogo original. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500

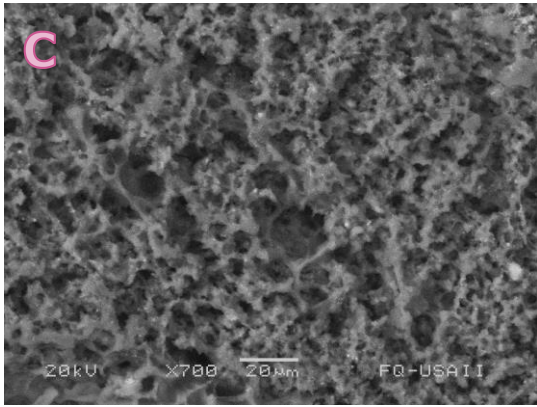


x50

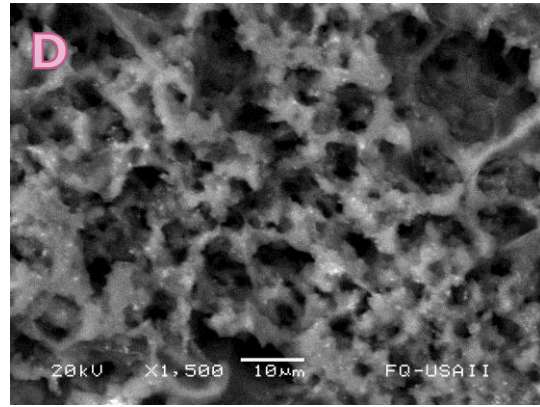


x250

**Figura 43.** Microscopías ESEM para el queso análogo con inulina. Aumentos de: **A:** x50, **B:** x250, **C:** x700 y **D:** x1500



x700



x1500

**Cont. Figura 43.** Microscopías ESEM para el queso análogo con inulina. Aumentos de: **A**: x50, **B**: x250, **C**: x700 y **D**: x1500