



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y  
DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO, A.C.



---

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE DESCREMADA EN  
POLVO PARA LA ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO Y SU  
INTERACCIÓN CON UN PREBIÓTICO**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA  
TERMINACIÓN EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

PRESENTA  
**L.B.G. ALEJANDRA GONZÁLEZ ALTAMIRANO**

COMITÉ TUTORIAL

DIRECTORA:  
**DRA. ÁNGELA SUÁREZ JACOBO**

CO-DIRECTOR:  
**DR. ALFONSO PÉREZ GALLARDO**

CO-DIRECTOR:  
**DR. JORGE ALBERTO GARCÍA FAJARDO**

ASESOR:  
**DR. EMILIO MÉNDEZ MERINO**

APODACA, NUEVO LEÓN, AGOSTO DEL 2022

Apodaca, Monterrey a 25 de julio de 2022

CONSEJO INSTITUCIONAL DE POSGRADO  
DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO  
DEL ESTADO DE JALISCO, A.C.  
PRESENTE

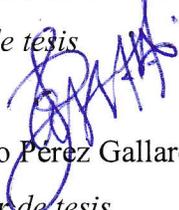
Los abajo firmantes miembros del comité tutorial del (la) estudiante **Alejandra González Altamirano**, una vez leída y revisada la Tesis titulada “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE DESCREMADA EN POLVO PARA LA ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO Y SU INTERACCIÓN CON UN PREBIÓTICO” aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el/la estudiante para aspirar al grado de Maestro en ciencias en innovación biotecnológica en terminación tecnología agroalimentaria durante el examen correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente al día 25 del mes de julio del año dos mil veintidós.



Dra. Ángela Suárez Jacobo

*Director de tesis*



Dr. Alfonso Pérez Gallardo

*Co-director de tesis*



Dr. Jorge Alberto García Fajardo

*Co-director de tesis*



Dr. Emilio Méndez Merino

*Asesor*



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONACYT  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Guadalajara, Jalisco, a 22 de agosto de 2022  
Ref. CP/1094/2022

ALEJANDRA GONZÁLEZ ALTAMIRANO  
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA EN  
CIENCIAS EN INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA  
NÚMERO DE MATRÍCULA 1903MB6478  
PRESENTE

Por este medio le informo que el trabajo de tesis **“Evaluación de la calidad de la leche descremada en polvo para la elaboración de queso fresco y su interacción con un prebiótico”** desarrollado bajo la dirección del siguiente comité tutorial:

Dra. Ángela Suárez Jacobo. Directora de tesis  
Dr. Alfonso Pérez Gallardo. Co-director de tesis  
Dr. Jorge Alberto García Fajardo. Co-director de tesis  
Dr. Emilio Méndez Merino. Asesor de tesis

ha sido aprobado para su impresión definitiva y defensa correspondiente para la obtención de grado de Maestra en Ciencias en Innovación Biotecnológica.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

*Dra. Erika Nahomy Marino Marmolejo*  
*Directora Adjunta de Investigación y Posgrado*





---

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a CONACYT por darme la beca de maestría y permitirme continuar con mis estudios.

Agradezco a mi comité por darme la oportunidad de hacer con ellos mi tesis de maestría y por su apoyo incondicional.

Agradezco a mis compañeros, maestros, familiares y amigos, sin ellos este camino hubiera sido muy difícil.

Agradezco a Sigma Alimentos por proporcionarme el material y el uso de sus instalaciones.

---

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	09
2.	INTRODUCCIÓN	10
3.	MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	13
3.1	Leche y su composición	13
3.2	Impacto de la leche en México	17
3.3	Leche descremada en polvo	18
3.4	Métodos para análisis de la composición de la leche	22
3.5	Espectroscopía de luz infrarroja cercana (NIR)	26
3.6	Proceso de elaboración del queso fresco	28
3.7	Formación y tiempo de corte en la coagulación de la leche, para la elaboración del queso fresco	31
3.7.1	Tipos de enzimas para la formación de la coagulación	34
3.8	Factores que afectan el rendimiento de la coagulación de la leche, para la producción del queso fresco	36
3.9	Monitoreo de la coagulación de la LDR por medio de reología	43
3.10	Ingredientes para mejorar el rendimiento de la cuajada utilizando LDP: Fructanos de agave, inulina	48
3.11	Medición de textura del queso fresco	45
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	50
5.	JUSTIFICACIÓN	52
6.	HIPÓTESIS	54
7.	OBJETIVOS	55
7.1	Objetivo general	55
7.2	Objetivos específicos	55
8.	METODOLOGÍA	56
8.1	Diseño de la investigación	56
8.2	Tamaño de la muestra	60

---

8.3	Fructanos de agave, inulina	60
8.4	Análisis fisicoquímicos	60
8.5	Análisis vía NIR	60
8.6	Construcción de curvas de calibración con datos espectrales NIR	62
8.7	Formulación a nivel laboratorio	63
8.7.1	Formulación sin grasa	63
8.7.2	Formulación con grasa	63
8.8	Formulación nivel planta	64
8.8.1	Formulación sin inulina	64
8.8.2	Formulación con inulina	64
8.9	Monitoreo de la coagulación de la Leche Descremada Reconstituida	66
8.10	Análisis de Perfil de Textura (TPA)	67
8.11	Análisis estadísticos	67
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
9.1	Fisicoquímicos	69
9.2	Curvas de calibración para la rápida detección de la composición de las Leches Descremadas en Polvo	72
9.3	Evolución de la coagulación de la Leche Descremada Reconstituida	77
9.4	Textura y rendimiento de a nivel laboratorio	88
9.5	Textura y rendimiento de a nivel planta	94
10.	CONCLUSIÓN	97
11.	REFERENCIAS	98

---

## ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1.	Composición de la leche entera en porcentaje	17
Tabla 2.	Clasificación de las leches descremadas en polvo	18
Tabla 3.	Composición de la leche descremada en polvo	21
Tabla 4.	Porcentaje de composición de la leche de alta y baja calidad	21
Tabla 5.	Métodos tradicionales para análisis fisicoquímicos	25
Tabla 6.	Equipos de emplean la tecnología NIR para una rápida determinación en la composición de la leche	40
Tabla 7.	Diseño experimental 3 <sup>2</sup>	50
Tabla 8.	Formulación para la preparación del queso fresco, a nivel laboratorio	64
Tabla 9.	Formulación para la preparación del queso fresco, a nivel planta	67
Tabla 10.	Resultados bromatológicos de las 23 muestras de LDP	68
Tabla 11.	Curvas de calibración obtenidas con las 23 muestras analizadas de LDP	71
Tabla 12.	Curvas de calibración mejoradas mediante la inclusión de mayor número de muestras	73
Tabla 13.	Parámetros de tiempo de corte y viscosidad máxima de las 23 muestras de leche descremada en polvo (10%)	75
Tabla 14.	Parámetros de tiempo de corte y viscosidad máxima de las 8 muestras de leche descremada en polvo (10%), estandarizadas a 3.5% de proteína.	81
Tabla 15.	Parámetros de tiempo de corte y viscosidad máxima de las 3 muestras de leche descremada en polvo con inulina	83
Tabla 16.	Textura de leche descremada en polvo sin grasa	86
Tabla 17.	Textura de leche descremada en polvo con grasa vegetal, nivel laboratorio	86

---

Tabla 18.	Textura de leche descremada en polvo con grasa vegetal, nivel planta	86
Tabla 19.	Rendimiento de las leches descremadas en polvo sin grasa, nivel laboratorio	87
Tabla 20.	Rendimiento de las leches descremadas en polvo con grasa, nivel laboratorio	87
Tabla 21.	Rendimiento de las leches descremadas en polvo, nivel planta	88
Tabla 22.	Porcentajes bromatológicos de las mezcla, queso prensado y suero	88

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de bloques para la producción de leche descremada en polvo	20
Figura 2.	Diagrama de bloques para la producción del queso fresco	30
Figura 3.	Componentes y forma de la sub-micela de caseína	33
Figura 4.	Etapas del proyecto	57
Figura 5.	Etapa 1 del proyecto	58
Figura 6.	Etapa 2 del proyecto	58
Figura 7.	Etapa 3 del proyecto	59
Figura 8.	Descripción gráfica de cálculo de punto de corte y viscosidad máxima	66
Figura 9.	Clasificación de muestras de acuerdo con la etiqueta del grado de calentamiento	72
Figura 10.	Espectros de infrarrojo cercano de las 23 muestras analizadas de leche descremada en polvo	73
Figura 11.	Curvas de cuajado obtenidas con las 23 muestras de leche descremada en polvo, de acuerdo con su grado de calentamiento. Las muestras están codificadas con color de acuerdo con su grado de calentamiento	77
Figura 12.	Efecto de calentamiento en parámetros reológicos de cuajado de tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima	79
Figura 13.	Curvas de evolución de cuajado con leches estandarizadas al 3.5% de proteína total (P)	82
Figura 14.	Efecto de tipo de grado de calentamiento en parámetros reológicos de cuajado de tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima de leches estandarizadas al 3.5%	82
Figura 15.	Comparación de efectos de muestras estandarizadas VS no estandarizadas en parámetros de cuajado	83

## ABREVIATURAS

LDP	Leche Descremada en Polvo
LDR	Leche Descremada Reconstituida
RMSECV	Root Mean Squared Error Cross Validation Validación Cruzada de Error Cuadrático Medio de Raíz
TT	Tratamiento Térmico
TTA	Tratamiento Térmico Alto
TTB	Tratamiento Térmico Bajo
TTM	Tratamiento Térmico Medio
TTUA	Tratamiento Térmico Ultra Alto
NIR	Espectroscopía de Luz Infrarroja Cercana

---

## 1. RESUMEN

La coagulación enzimática es la etapa clave en la producción de queso. La coagulación de la leche está influenciada por varios factores, como los pretratamientos de la leche, composición, temperatura, tipo de cuajo, aditivos, entre otros factores. En este estudio se analizó las propiedades fisicoquímicas de 3 tipos de leches descremadas en polvo: Tratamiento Térmico Bajo (TTB), Tratamiento Térmico Medio (TTM) y Tratamiento Térmico Alto (TTA). En primera instancia se analizó la composición de las leches descremadas en polvo por medio de análisis fisicoquímicos, en función de conocer la calidad de las leches descremadas en polvo, se estandarizó método para una medición rápida de la composición de la Leche Descremada en Polvo (LDP), utilizando la Espectroscopia de Luz Infrarroja Cercana (NIR), para la generación de curvas de calibración. Las curvas validadas por este método son útiles para su uso de rutina, con la confiabilidad de que será equivalente a valores de referencia. En segunda instancia se realizaron cinéticas de las muestras de Leche Descremada Rehidratadas (LDR) con y sin inulina, con la finalidad de evaluar y comparar su efecto en la etapa de coagulación. El proceso de coagulación fue monitoreado por medio de reología y textura. En donde la LDR, con TTB, presentó mejores rendimientos para la producción de queso fresco, debido a que cuenta con menos desnaturalización en sus proteínas y sin la adición de inulina, presenta buenos rendimientos. La LDR con TTM, se observó que, al ser tratada con inulina, aumentó significativamente en su dureza, a diferencia de la TTB y TTA. En tercera instancia, se seleccionó la mejor opción de formulación con y sin inulina, se determinó por medio de los análisis de textura, se escaló de nivel laboratorio a nivel planta. En donde las LDR con TTB, disminuyó un 3% en el peso del queso prensado y aumentó un 22% en dureza. LDR con TTM se observó que de igual forma disminuyó en su porcentaje de queso prensado en 1%, pero aumentó su dureza en un 50%. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del grado de calentamiento de las leches descremadas en polvo, sobre la evolución de cuajado en la leche y si la adición de inulina a un bajo porcentaje ( $\leq 2.5\%$ ) permite contrarrestar dicho efecto.

---

## 2. INTRODUCCIÓN

El queso, es una de las formas más antiguas para conservar los principales elementos nutritivos de la leche (El-Siddig y *cols.*, 2018). Según la NOM-243-SSA1-2010, el queso es un producto elaborado de la coagulación de la leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida de la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior, por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales.

El queso es un alimento de alto valor nutricional y con gran demanda en el mercado, destacando entre otros productos por tener proteínas de alto valor biológico con un perfil de aminoácidos muy favorable y buena digestibilidad (Palatnik y *cols.*, 2019).

Existen diferentes variedades de quesos, se puede clasificar en tres categorías: fresco, semi-maduro y maduro (Pérez 2016). El queso fresco, también es conocido como queso blando (Baque y *cols.*, 2019), es producido mediante una coagulación enzimática y no implica un proceso de maduración (Fox y *cols.*, 2017; Abebe y *cols.*, 2020). En cambio, el queso semi-maduro, pasa por un proceso de coagulación ácida, con un periodo de maduración de 15 a 35 días (Pérez 2016; Andrade 2017). El queso maduro de igual forma pasa por una coagulación ácida, en donde sólo difiere por el período de maduración que es de 40 a 70 días (Pérez 2016).

Queso fresco (QF) es un tipo de queso blando fresco estilo mexicano con alto contenido de humedad, bajo contenido de sal (Wan y *cols.*, 2021), en donde su composición es: proteína 8.2 g, Lactosa 3.1 g, Grasa 8.0 g y agua 77.9 g, por cada 100g y por lo tanto una vida de anaquel corta en ausencia de refrigeración (Baque y *cols.*, 2019).

En México el queso fresco es el de mayor producción y consumo en México y América Latina, se caracteriza por una corta vida útil, alto nivel de humedad, baja concentración de sal y pH neutro (Soto y *cols.*, 2019).

---

Debido a la alta demanda de producción del queso fresco (Soto y *cols.*, 2019), es necesario abastecer una cantidad alta de leche bronca. Desde un punto de vista económico y tecnológico, la LDP es fundamental para los países en los que la producción de leche es escasa o nula debido a problemas climáticos y de alto costo, pero también para los principales países productores de leche. De hecho, la adición de LDP es relevante para la estandarización del contenido de proteínas en la leche destinada a la elaboración de queso, así como para el ahorro de costos de producción si aumenta el precio de la leche fresca (Strani y *cols.*, 2021).

La composición de leche es el principal factor que afecta la coagulación enzimática (Azán y *cols.*, 2016). La composición de la leche se puede evaluar mediante la determinación del contenido de: proteínas, grasa, humedad, entre otros factores (físicoquímicos) (Walstra y *cols.*, 2006). Estos métodos tradicionales, sirven para conocer la composición de la leche, son muy costosos, requieren de reactivos, tiempo, son destructivos, se ha optado por emplear una técnica en particular, la espectroscopia de luz infrarroja cerca (NIR) (Asaduzzaman y *cols.*, 2020).

La técnica NIR, se encuentra asociada al análisis quimiométrico demostró su alto potencial en análisis multicomponente, para desarrollar modelos de predicción que, una vez validados, proporcionan la caracterización rápida y precisa de las muestras de leche (Risoluti y *cols.*, 2020).

Pero la composición de la leche no es el único factor que determinan el potencial de la coagulación y su incorporación en la matriz de la cuajada, existen más componentes que afectan la cuajada (Katz y *cols.*, 2016) como, tiempo de maduración, ingredientes, aditivos, (Lara-Castellanos y *cols.*, 2021) la interacción de las moléculas de caseína, que pueden ser alteradas por factores como la distribución de la grasa, humedad, contenido de sal, actividad de agua e incluso condiciones de temperatura (Baque y *cols.*, 2019).

Para la producción del queso fresco, se ha empleado la LDP, la cual afecta las propiedades del queso. Esto se debe a que la LDP, es tratada con un proceso térmico, el cual produce alteraciones físicoquímicas, desnaturalización, afecta el proceso de

---

coagulación y ocurre la reacción de Maillard, conocida como caramelización de la leche (Azán y *cols.*, 2016; Schäfer y *cols.*, 2019), que influyen en el tiempo de coagulación más prolongado, sinéresis más lenta (Curti y *cols.*, 2019) y la formación de una cuajada más fina o débil. Estos efectos pueden modificar la textura, maduración y funcionalidad típicas del queso resultante (Strani y *cols.*, 2021), con ello afectando la calidad del producto final (Curti y *cols.*, 2019).

Las LDP, son tratadas con un proceso térmico (Azán y *cols.*, 2016), lo que causa una modificación en la conformación globular de las proteínas séricas ( $\beta$ -lactoglobulinas y  $\alpha$ -lactoalbúmina), causando el desdoblamiento de la cadena peptídica hacia formas lineales; produciendo nuevos enlaces que permiten que las proteínas químicamente sean más reactivas (Azán y *cols.* 2016), provocando la formación de complejos entre la proteína de suero y la caseína micelar (Boiani y *cols.*, 2018).

Hoy en día, se han realizado una serie de estudios para mejorar el rendimiento en la producción del queso fresco. Por ejemplo, en la etapa de coagulación enzimática, se han utilizados diversos aditivos como, prebióticos (Palatnik y *cols.*, 2019). La inulina es un prebiótico que se ha empleado, para disminuir los tiempos de corte, lo que hace más rápida la fase de hidrólisis (Arango y *cols.*, 2018), también se ha empleado como sustituto de grasa, para la producción de queso fresco (Palatnik y *cols.*, 2019). La inulina se ha utilizado para una variedad de propósitos como: agente bajo en calorías, agente texturizante, fibra dietética soluble con propiedades prebióticas (Karimi y *cols.*, 2015).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del grado de calentamiento de la LDP y la adición de un prebiótico (inulina), para mejorar el rendimiento de la etapa de coagulación enzimática durante la producción de queso fresco. En donde se analizaron las propiedades fisicoquímicas de tres tipos de LDP: TTB, TTM y TTA, se conocerá la calidad de las LDP y el grado de calentamiento, en donde se estandarizará un análisis de composición, utilizando un método rápido. Asimismo, se evaluará el comportamiento de coagulación enzimática, utilizando los tres tipos de LDP, se monitoreará por medio de parámetros reológicos. Posteriormente durante la etapa de

---

coagulación se le adicionará un prebiótico (inulina) en donde se determinará el rendimiento de la coagulación. Por último, se analizará el producto final por medio de textura y se comparará a nivel laboratorio y planta.

---

### 3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

#### 3.1 Leche y su composición

La norma oficial mexicana NOM-243-SSA1-2010 define a la leche como: la secreción natural de las glándulas mamarias de las vacas sanas o de cualquier otra especie animal, excluido el calostro. La leche de vaca es un alimento de primera necesidad, de gran demanda por su alto valor nutricional (El-Siddig y *co/s.*, 2018; Espinoza 2019). La composición de la leche determina su valor nutricional, sabor, reacciones químicas (Walstra y *co/s.*, 2006). En la **Tabla 1** se presenta una clasificación de los principales componentes de la leche. La leche se caracteriza por contener agua, grasa, proteínas, lactosa, minerales, entre otros (Walstra y *co/s.*, 2006).

#### **Grasa**

En la leche, la grasa existe en forma de glóbulos, de 0.1 a 20  $\mu\text{m}$  de diámetro (diámetro medio en la leche bovina, de 3 a 4  $\mu\text{m}$ ). Numéricamente, la mayoría de los glóbulos tienen un diámetro  $<1 \mu\text{m}$ , pero estos pequeños glóbulos representan solo una pequeña fracción de la masa de grasa láctea. Los glóbulos están rodeados por una membrana estructurada, denominada membrana de glóbulos de grasa de la leche, que consta principalmente de fosfolípidos y proteínas. Las capas internas de la membrana se adquieren dentro de la célula secretora (mamocito) a medida que los glóbulos de grasa se mueven desde el sitio de biosíntesis, es decir, el retículo endoplásmico rugoso, ubicado hacia la base de la célula, hacia la membrana apical, a través de la cual son expresado en la luz de los alvéolos mamarios por exocitosis. Durante la exocitosis, los glóbulos de grasa quedan rodeados por la membrana celular apical que, por lo tanto, forma la capa externa de la membrana de glóbulos de grasa de la leche, recién secretados (Fox y *co/s.*, 2017).

---

### **Proteínas**

La composición de las proteínas es un factor de gran importancia dentro de la industrialización láctea, ya que influye de manera directa sobre el rendimiento y la aptitud tecnológica de la leche. Aproximadamente, el 80% de las proteínas presentes en la leche se considera caseína, la cual se divide en cinco proteínas:  $\alpha$ S1-,  $\alpha$ S2-,  $\beta$ -,  $\kappa$ - y  $\gamma$ -caseína. El 20% restante lo conforman las proteínas del suero de la leche, siendo la  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -LG) la principal con un 10% y la  $\alpha$ -lactoalbúmina con un 4%. El porcentaje restante lo contienen otras proteínas como, lactoferrina, lactoperoxidasa, inmunoglobulinas, glicomacropéptidos y las proteínas de la membrana del glóbulo graso (Azán y cols., 2016).

### **Lactosa**

El hidrato de carbono de la leche es la lactosa (azúcar de la leche), un disacárido constituido por glucosa y galactosa. Está formada por la acción conjunta de la N-galactosiltransferasa y la  $\alpha$ -lactalbúmina (lactosasintetasa) para formar la unión glucosa-galactosa. La lactosa es el principal agente osmótico de la leche, con lo que permite el transporte de agua desde la sangre (Azán y cols., 2016).

### **Minerales**

Las principales sustancias minerales son, K, Na, Ca, Mg, Cl y fosfato (Walstra y cols., 2006). El calcio es el más significativo desde el punto de vista nutricional. Está presente en forma abundante y fácilmente asimilable. Estudios dietéticos han mostrado que las deficiencias de calcio en nuestras dietas son debidas al bajo consumo de leche. El fósforo cuenta con una menor importancia nutritiva, en comparación con el calcio ya que puede ser proveído por otras fuentes alimentarias comunes. El fósforo, además de su papel de soporte, interviene en distintas reacciones metabólicas, principalmente como acumulador de energía o como activador enzimático. Es también uno de los componentes esenciales de los ácidos nucleicos y de los nucleótidos. La leche es relativamente pobre en hierro y cobre (Azán y cols., 2016).

## Lípidos

Los lípidos son insolubles y menos densos que el agua (el peso específico de la grasa y la leche desnatada es de 0.9 y 1.036, respectivamente) y, por tanto, se esperaría que formen una capa en la superficie de la leche. Sin embargo, los lípidos pueden hacerse compatibles con el agua formando una emulsión en la que la grasa se dispersa como pequeños glóbulos por homogeneización, cada uno de los cuales está rodeado por una capa de emulsionante. Una emulsión se define como un sistema de dos fases, una fase (la fase discontinua, dispersa) se dispersa en la otra (fase continua) y se separa por una capa de emulsionante (Fox y cols., 2017).

## Otros componentes

Otros elementos que se encuentran en concentraciones más pequeñas son las enzimas. Son catalizadores biológicos de naturaleza proteica. Las enzimas se encuentran presentes como proteínas simples o como apoproteínas en los complejos lipoproteicos. Las enzimas de la leche se encuentran repartidas en todo el sistema, sobre la superficie del glóbulo graso, asociado a las micelas de la caseína y en forma simple en suspensión coloidal (Azán y cols., 2016). Las más importantes son: Fosfatasa alcalina que sirve como indicador de la deficiente pasteurización, Lipasa, Proteasa y Xantinaoxidasa (Azán y cols., 2016).

**Tabla 1.** Composición de la leche entera en porcentaje (Rodríguez y cols., 2017).

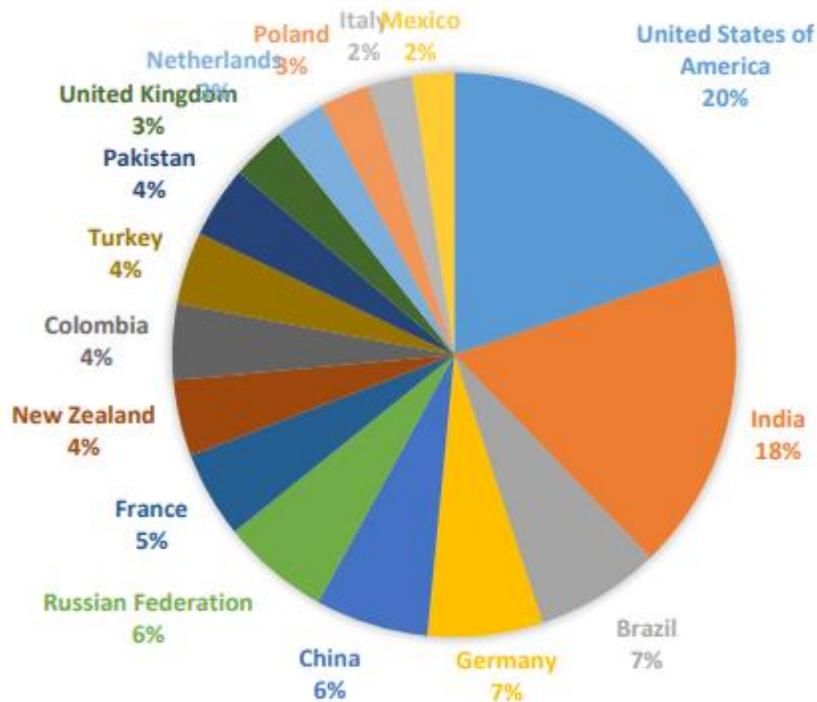
<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Agua	87.00 – 89.00
Proteína	3.00 - 3.50
Grasa	3.00 - 3.70
Sólidos Totales	12.00 – 12.80

### 3.2 Impacto de la leche en México

A nivel mundial, México se encuentra en el dieciseisavo lugar de producción de leche, con un 2% total (Compendio del sector 2021).

En el último año según la SIAP, la producción anual de leche a nivel México es de 12,563, 699.53 miles de litros, se puede observar en el **Diagrama 1** (SIAP 2020).

La producción total de leche bovina, en México, en donde a nivel nacional la leche bovina ocupa el tercer lugar en producción pecuaria. La entidad federativa con mayor producción láctea es Jalisco, en el año 2020, abarcando un 20%, de la producción total. Nuevo León ocupa el veintisieteavo lugar de la producción de leche bovina, con un 0.17% de la producción total en el año 2020 (Compendio del sector 2021).



**Diagrama 1.** Porcentaje de producción anual de leche bovina a nivel mundial (Compendio del sector 2021).

---

### 3.3 Leche descremada en polvo

Los productos lácteos en polvo cuentan con un gran interés debido a su facilidad de transporte, manipulación, larga vida útil y amplio uso (Wang y cols., 2021). Estos productos se utilizan comúnmente en la industria alimentaria para una amplia gama de aplicaciones debido a su valor nutricional y atractivas propiedades físicas y funcionales (Khan y cols., 2021).

El procesamiento de productos lácteos en polvo implica varios pasos, como la mezcla húmeda y la homogeneización de los ingredientes, el tratamiento térmico, la evaporación y el secado por pulverización. Esto conduce a una partícula de polvo lácteo que consiste en una masa continua de lactosa amorfa incrustada con glóbulos de grasa, micelas de caseína, proteínas séricas y vacuolas de aire (Wang y cols., 2021), con ello aumenta su vida útil y facilita su transporte (Khan y cols., 2021).

En la **Tabla 2.**, se puede observar la producción total de leche en polvo en el año 2020, (Compendio del sector 2021), en donde la leche descremada en polvo es el producto lácteo con menor producción a nivel México.

Según la NOM-222-SCFI/SAGARPA-2018, la leche descremada en polvo es un producto obtenido mediante eliminación del agua de la leche, donde el contenido de grasa es menor o igual a 1.5% m/m. Las proteínas pueden ajustarse únicamente para cumplir con los requisitos de composición, siempre y cuando no se modifique la proporción entre la proteína del suero y la caseína de la leche utilizada como materia prima. En la **Figura 1.**, se observar el proceso de elaboración de la leche descremada en polvo (LDP).

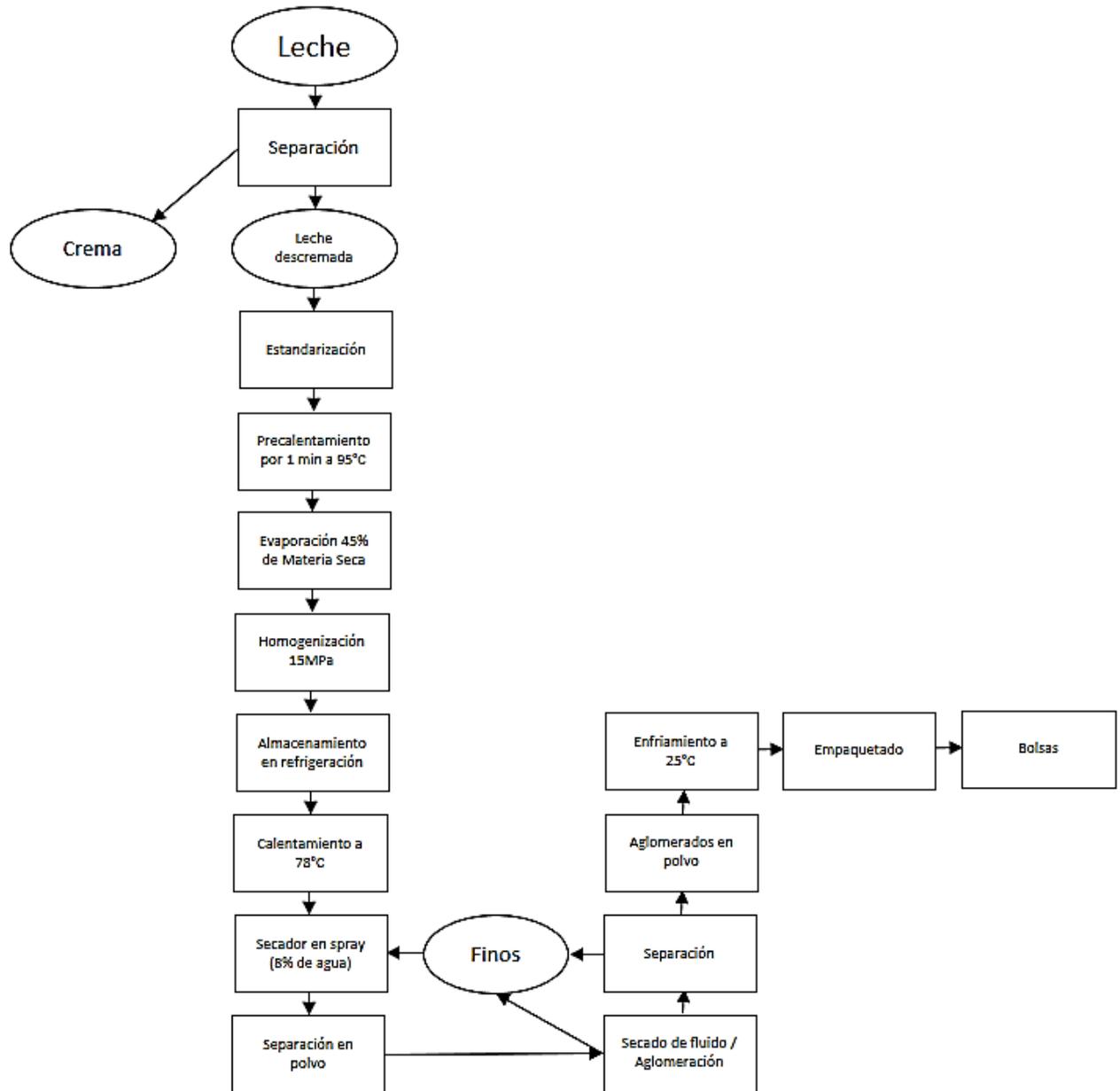
La LDP, también conocida como leche sin grasa en polvo, se usa ampliamente como ingrediente en la fabricación de bebidas lácteas, productos alimenticios formulados (Gulati y cols., 2019), yogures, chocolates con leche, quesos y productos de confitería (Khan y cols., 2021).

**Tabla 2.** Producción total de leche en polvo 2020 (Toneladas) (Compendio del sector 2021).

	<b>2020 (Toneladas)</b>
<b>Entera</b>	126,490
<b>Descremada</b>	37,213
<b>Para lactantes</b>	80,232
<b>Total</b>	243,935

Dependiendo de la aplicación y las funcionalidades requeridas, la LDP puede ser tratada con diferentes tratamientos térmico, antes de la evaporación y el secado (Gulati y cols., 2019), tal como se menciona en la **Tabla 3**.

Las condiciones del proceso de secado por atomización determinan la cinética de secado, lo que tiene un gran impacto en la composición de la superficie, la morfología y la microestructura general de las partículas de polvo lácteo que, a su vez, tienen un impacto significativo en las propiedades funcionales de los polvos (Wang y cols., 2021), en la **Tabla 4**, se puede observar la composición de la LDP.



**Figura 1.** Diagrama de bloques de producción de leche descremada en polvo (Walstra y cols., 2006).

**Tabla 3.** Clasificación de las leches descremada en polvo por medio de separación en *spray* (Handbook, D. P. 1995).

Clasificación	Temperatura vs tiempo	WPNI (Índice de nitrógeno de proteína de suero) mg/g u.w-p
Extra-tratamiento térmico bajo	<70°C	NM
Tratamiento térmico bajo en polvo	70°C/15 s	>6.0
Tratamiento térmico medio en polvo	85°C/20 s	5 – 6.0
Tratamiento térmico medio en polvo	90°C/30 s	4 – 5.0
Tratamiento térmico medio en polvo	95°C/30 s	3 –4.0
Tratamiento térmico medio-alto	124°C/30 s	1.5 – 2.0
Tratamiento térmico alto	135°C/30 s	<1.4
Tratamiento térmico alto con alta estabilidad (Leche seleccionada)	135°C/30 s	<1.4

**NM=** No medible.

**Tabla 4.** Composición de la leche descremada en polvo (Murrieta-Pazos y cols., 2011).

Contenido	[%]
Agua	3.80
Proteína	37.10
Lactosa	53.00
Lípidos	1.40
Cenizas	5.70

---

### 3.4 Leche reconstituida

Según la NOM-155-SCFI-2012, la leche reconstituida es la leche elaborada a partir de leche en polvo descremada o ingredientes propios de la leche, tales como caseína, grasa butírica, suero de leche, agua para uso y consumo humano, con un contenido mínimo de 30 g por litro de proteína propia de la leche y 80 % de caseína con respecto a proteína total, en las cantidades necesarias para ajustar el producto a las especificaciones de composición y sensoriales de la leche.

La diferencia entre una leche reconstituida con una re combinada es, la leche reconstituida es la leche líquida que se obtiene añadiendo agua a la LDP o a la leche entera en polvo. En cambio, la leche re combinada es la leche líquida que se obtiene agregando agua a la leche descremada en polvo y agregando grasa láctea por separado en una cantidad tal que se logre el contenido de grasa deseado (Handbook, D. P. 1995).

La leche reconstituida a partir de LDP se puede usar convenientemente para reemplazar parcial o totalmente la leche fresca en el procesamiento del queso (Tidona y *co/s.*, 2021), produciendo con ello los productos lácteos reconstituidos (Handbook, D. P. 1995).

### 3.5 Métodos para análisis de la composición de la leche

La calidad de la leche puede evaluarse midiendo los parámetros que indican tanto su idoneidad para el consumo o procesamiento en productos lácteos como el estado de salud de la vaca o el rebaño que produce la leche (Katz y cols., 2016).

Para determinar la calidad de la leche se encuentran involucrados varios aspectos, el más importante es la composición. La composición de la leche se puede evaluar mediante la determinación del contenido de: proteínas, grasa, humedad, entre otros factores. El precio de la leche se encuentra inversamente proporcional por su composición (Walstra y cols., 2006). Por ejemplo, en la **Tabla 5**, se compran, la composición de la leche de baja calidad y alta calidad.

Para analizar la composición de la leche es necesario realizar los métodos de prueba o tradicionales (Riu y cols., 2020). Según la NOM-243-SSA1-2010, un método de prueba es el procedimiento analítico utilizado para comprobar que un producto satisface las especificaciones que establece la norma. En la **Tabla 6**, se mencionan los métodos tradicionales para el análisis de la composición de la leche, según registrado por diferentes tipos de norma.

Estos tipos de métodos tradiciones son costosos, consumen mucho tiempo y requieren personal capacitado (Asaduzzaman y cols., 2020). Estos métodos tradicionales dificultan establecer controles de calidad rápidos para tomar decisiones a la hora de mejorar la calidad de la leche de forma continua y rápida (Riu y cols., 2020).

**Tabla 5.** Porcentaje de composición de la leche de alta y baja calidad (Walstra y cols., 2006).

Muestra de leche	Agua	Grasa	Proteínas	Lactosa	Minerales
Alta calidad	85.5%	2.50%	5.0%	5.5%	0.9%
Baja calidad	89.5%	6.0%	2.9%	3.6%	0.6%

**Tabla 6.** Métodos tradicionales para análisis fisicoquímicos.

Método o equipo	Componente	Principios	Referencias
Kjeldahl	Proteína	El método cuantifica indirectamente el contenido de proteína total a partir de la medición de nitrógeno e implica 3 pasos principales: digestión, destilación y titulación.	Wang y cols., 2016
Gerber	Grasa	Se trata la fracción proteica de la leche con ácido sulfúrico caliente (reacción exotérmica). De esta manera se logra además de destruir la membrana globular, la disolución total de las caseínas y una buena separación de las dos fases.  Romper la emulsión en dos fases grasa y sólidos totales.	AOAC Oficial Method 2000.18
Balanza térmica	Humedad o Sólidos totales (ceniza)	Proceso térmico que elimina la cantidad total de humedad.	NOM-116-SSA1-1994
Potenciómetro	pH	Indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.	NOM-155-SCFI-2012
Volumetría	Acidez	Índice de acidez o el Valor ácido (V.A) presentes en ellos. Una valoración (volumetría) con un reactivo básico. El resultado (para el índice de acidez) se expresa como el porcentaje del ácido predominante en el material.	NOM-243-SSA1-2010
Lane y Eynon Diafiltración	Lactosa	Determinación del volumen de una disolución de la muestra, que se requiere para reducir completamente un volumen conocido del reactivo alcalino de cobre. El punto final se determina por el uso de un	NOM-155-SCFI-2012

Método o equipo	Componente	Principios	Referencias
		indicador interno, azul de metileno, el cual es reducido a blanco de metileno por un exceso de azúcar reductor.	
Hidrólisis enzimática	Caseinatos de sodios, calcio y potasio	Para el análisis de caseinatos de sodio, calcio y potasio, es necesario efectuar una hidrólisis enzimática de la porción de prueba previo a la filtración o centrifugación. Para este propósito, proceder de igual forma que con los productos deshidratados.	NOM-243-SSA1-2010 López y cols. 2017
Colorímetro	Fosfatos	El fenol formado se determina colorimétricamente haciendo reaccionar con 2,6-dibromoquinonacloroimida (B.Q.C.), obteniéndose un color azul, cuya intensidad se mide espectrofotométricamente a 610 nm.	NOM-243-SSA1-2010 FIL International Dairy Federation
Crioscópico	Índice crioscópico	Método para determinar la congelación de la leche, si está se encuentra adulterada, tardará menos tiempo en congelarse.	NOM-243-SSA1-2010
Ensayo inmunoenzimático	Antibióticos	Asegurarse de que ningún producto lácteo en los supermercados contenga antibióticos	NOM-243-SSA1-2010
Conteo en placas	Calidad microbiológica	Indica la cantidad de microorganismos que debe de contar los productos lácteos.	NOM-243-SSA1-2010

---

### 3.6 Espectroscopia de Luz Infrarroja Cercana (NIR)

Desde su descubrimiento, la radiación infrarroja ha atraído una considerable atención industrial y de investigación. Científicos han informado de múltiples aplicaciones que contribuyen a los continuos avances de la tecnología moderna (De Guzmán y *cols.*, 2020).

La espectroscopía de luz infrarroja cercana es una técnica que puede aplicarse en línea, cumpliendo con los requisitos de las aplicaciones industriales, para el control continuo de la calidad y el monitoreo del proceso (Riu y *cols.*, 2020). NIR es una técnica no invasiva (Wang y *cols.*, 2021), analítica sencilla, rápida (Asaduzzaman y *cols.*, 2020), libres de solventes, fácil manejo (Risoluti y *cols.*, 2020), no afecta la evolución de los parámetros de calidad y la dinámica del proceso, debido a la posibilidad de extraer tanto información química y física de un espectro (Grassi y *cols.*, 2019). Es una técnica vibracional, que por medio de bandas de absorción de compuestos químicos pueden percibirse como consecuencia de vibraciones moleculares. Los enlaces químicos entre átomos vibran y se comportan de acuerdo con una aproximación armónica simple (De Guzmán y *cols.*, 2020).

NIR es una de la tecnología analítica espectroscópica prometedora en el campo agroalimentario, y ha ganado un interés creciente en la industria láctea (Pu y *cols.*, 2021). Esta técnica se ha empleado en análisis de la composición de la leche, para una rápida detección de contenido de lactosa, proteína, carotenoides y ácidos grasos (Risoluti y *cols.*, 2020), grasa (Dos Santos y *cols.*, 2020), sólidos totales (Mohamed y *cols.*, 2021), entre otros parámetros.

A pesar de todas las ventajas metodológicas, la espectroscopia NIR tiene sus limitaciones, principalmente en la sensibilidad de la técnica, que también depende de ciertos factores operativos y ambientales, como la variabilidad de la matriz y el estado físico de la muestra (Dos Santos y *cols.*, 2020).

Para proporcionar datos rápidos de calidad, se puede utilizar un enfoque de análisis de datos multivariante con la técnica NIR (Khan y *cols.*, 2021). En la **Tabla 6**, se

---

pueden observar los equipos de espectroscopía de luz infrarroja cercana que se emplean para análisis de la composición de la leche, en donde se observa que la técnica NIR, se ha empleado para análisis de diferentes tipos de leche, como la leche bronca (Sen y *cols.*, 2021), leche polvo (Wang y *cols.* 2021), leche comercial (Riu y *cols.*, 2020), leche materna (Borràs-Novell y *cols.*, 2020), leche de cabra (Dos Santos y *cols.*, 2020) entre otros tipos.

También la técnica NIR se ha empleado para análisis de propiedades físicas y funcionales de la leche en polvo (Khan y *cols.*, 2021).

**Tabla 6.** Equipos que emplean la tecnología NIR para una rápida detección en la composición de la leche.

<b>Equipo</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Referencia</b>
Lactoscope	Medición del contenido de macronutrientes de la leche materna en el entorno clínico.	Borràs-Novell y cols., 2020
Lactoscan	Detección de leche cruda adulterada con melamina. Analizadores de leche comerciales se han utilizado para que las empresas procesadoras de leche de todo el mundo estimen la calidad de la leche.	Liang y cols., 2021; Gastélum-Barrios y cols., 2020
LactoStar	Determinación de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos de muestras de leche bronca.	Sen y cols., 2021
SCiO	Espectrómetro de NIR, con un tamaño de bolsillo, que se ha empleado para realizar análisis de leche comercial.	Riu y cols., 2020
FT-NIR, MPA II	Se ha utilizado para la medición de leche bronca.	Asaduzzaman y cols., 2020
Benchtop-Vis-NIR	Análisis de calidad de productos lácteos en polvo.	Wang y cols., 2021
Analect Diamond20, Applied Instrument Technologies.	Análisis de la composición de la leche de cabra, para conocer si se encuentra adulterada con leche de vaca.	Dos Santos y cols., 2020
Nicolet 8700 FTIR	Predecir los atributos de calidad relacionados con las propiedades físicas y funcionales de la leche en polvo, como fracciones de tamaño de partícula, dispersabilidad y densidad aparente.	Khan y cols., 2021
NIRONE 1.4, NIRONE 2.0 y NIRONE 2.5.	Evaluar el rendimiento de los espectrómetros MEMS FPI NIR para el análisis de leche en la granja y estimar su precisión de predicción como	Uusitalo y cols., 2021

Equipo	Aplicación	Referencia
Optical bench	analizadores de composición de leche en línea.	
Matrix-F FT-NIR, Bruker, Germany	Investigar la viabilidad de la espectroscopia FT-NIR en línea para determinar la grasa, la proteína y los sólidos totales (TS) de la leche en una gran planta industrial de procesamiento de lácteos.	Tang y cols., 2021
SCiOTM v2	Desarrollar un método aplicable en campo, en tiempo real y de bajo costo para determinar la presencia y la severidad de la mastitis bovina.	Ramirez y cols., 2021
MPA, Bruker, Germany	Evaluar la validez de los modelos de calibración de leche de vaca integrados en el instrumento comercial de infrarrojo medio y el instrumento de infrarrojo cercano para comparar la leche cruda de vaca y muestras de leche de camello.	Mohamed y cols., 2021
MPA, Bruker, Germany	Estudiar modelos cuantitativos para adulterantes simples y múltiples comunes en la leche de cabra, empleando espectroscopia NIR y quimiometría.	Zhao y cols., 2022
Antaris II FT-NIR	Clasificar de manera rápida y objetiva de 6 marcas diferentes de leche líquida.	Chen y cols., 2021
FOSS NIRSystems, Silver Spring, MD, USA	Evaluar la capacidad de NIRS en la región espectral de 700 a 1100 nm para medir el contenido de grasa de leche, proteína total y lactosa de leche no homogeneizada e investigar la influencia de dos factores en la precisión de la muestra de predicción espesor y características individuales de cada leche de vaca.	Tsenkova y cols., 2022

---

### 3.6.1 Análisis quimiométricos

La espectroscopia NIR se encuentra asociada al análisis quimiométricos, con un alto potencial en el análisis de multicomponentes, para desarrollar modelos de predicción que, una vez validados, proporcionan la caracterización rápida y precisa de las muestras de leche (Risoluti y *cols.*, 2020). También los análisis quimiométrico, nos permiten determinar diferentes parámetros al mismo tiempo (Riu y *cols.*, 2020).

Las herramientas quimiométricas, como la de Resolución de Curva Multivariada combinada con Mínimos Cuadrados Alternantes (MCR-ALS), la cuál es capaz de descomponer la señal espectroscópica recolectada durante el monitoreo de procesos basado en NIR en la contribución de varios componentes con firmas espectrales distintas, que están relacionadas con las diferentes formas fisicoquímicas del producto estudiado durante el desarrollo del proceso (Strani y *cols.*, 2021).

MCR-ALS proporciona un modelo bilineal formado por firmas espectrales químicamente significativas de los componentes, que pueden ayudar en la caracterización del producto y los perfiles de concentración del proceso relacionados, útiles para interpretar la variación dependiente del tiempo de las formas del producto. A diferencia de otras herramientas quimiométricas, como el análisis de componentes principales (PCA) o el análisis de componentes independientes (ICA), que proporcionan modelos bilineales de pocos perfiles abstractos, MCR proporciona perfiles químicamente significativos que pueden interpretarse más claramente y conectarse con la química del proceso estudiado; de ahí la elección de este algoritmo para este trabajo. La combinación NIR/MCR-ALS satisface la necesidad del mercado lácteo mundial de monitoreo e interpretación de procesos basados en sensores, lo que necesariamente aumentará la eficiencia del proceso y mejorará la calidad y el rendimiento del producto (Strani y *cols.*, 2021).

---

En un estudio realizado por Dos Santos, menciona que los espectros de NIR muestran una redundancia en los datos registrados, esto se debe a su fuerte correlación entre los diferentes canales analíticos, ha sido muy útil el uso de las propiedades de reducción de ruido de mínimos cuadrados parciales (PLS) combinadas con el descarte de no informativo o variables redundantes. En tal escenario, Intervalo de mínimos cuadrados parciales (iPLS) y el Algoritmo de Proyecciones Sucesivas para selección de intervalos en regresión de mínimos cuadrados parciales (iSPA-PLS) se han empleado con éxito para mejorar el rendimiento de los modelos de regresión, generando modelos más estables con una interpretabilidad superior y menos errores de predicción. Debido a que los espectros presentan ruido y variaciones sistemáticas en la línea de base, debido a ello fue necesario la aplicación de la media móvil (MM) para suavizar los espectros antes de usar las siguientes técnicas de preprocesamiento: corrección de línea de base lineal (LBC), compensación de línea de base (BO), estándar transformación variable normal (SNV) y corrección de dispersión multiplicativa (MSC). Para fines de clasificación, se utilizaron PCA y PLS-DA como técnicas de reconocimiento de patrones supervisada y no supervisada, respectivamente. Para el modelado PLS-DA, cada clase se dividió en conjuntos de entrenamiento (70%) y de prueba (30%) mediante la aplicación del algoritmo de muestreo uniforme de Kennard-Stone (KS). Se utilizó la técnica de validación cruzada completa, y su eficiencia se evaluó de acuerdo con el error cuadrático medio de validación cruzada (RMSECV) más bajo y el más alto. coeficiente de correlación ( $r$ ). A continuación, el conjunto de predicción solo se usó para la evaluación final de los datos y la comparación de los modelos de calibración multivariable. La capacidad predictiva de los modelos finales se evaluó en términos de los valores más bajos del error cuadrático medio de predicción (RMSEP) y el error relativo de predicción (REP), el valor más alto de  $r$  y la desviación del rendimiento de la relación (RPD) superior a 3 (Dos Santos y cols., 2020).

---

### 3.6.2 Validación de NIR

Dos Santos indica que una vez construida la PLS-DA, está se validó mediante un paso completo de validación cruzada, mientras que las muestras de prueba solo se usaron para la evaluación final del rendimiento del modelo en términos de precisión, sensibilidad y especificidad. Para verificar la precisión de los modelos construidos se aplicó la prueba de la región de confianza conjunta elíptica (EJCR), en la cual se comparan los resultados obtenidos por el modelado quimiométrico en el conjunto de predicción con sus respectivos valores de referencia (Dos Santos y *cols.*, 2020).

---

### 3.7 Queso

El queso, es una de las formas más antiguas para conservar los principales elementos nutritivos de la leche (El-Siddig y *cols.*, 2018). Es un producto maduro o sin madurar elaborado por coagulación de las proteínas de la leche mediante la acción del cuajo u otro coagulante (Básig y *cols.*, 2021). Según la NOM-243-SSA1-2010, el queso es un producto elaborado de la coagulación de la leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, con o sin adición de crema, obtenida de la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas, ácidos orgánicos comestibles y con o sin tratamiento ulterior, por calentamiento, drenada, prensada o no, con o sin adición de fermentos de maduración, mohos especiales, sales fundentes e ingredientes comestibles opcionales (NOM-243-SSA1-2010).

Es un alimento de alto valor nutricional y con gran demanda en el mercado, destacando entre otros productos por tener proteínas de alto valor biológico con un perfil de aminoácidos muy favorable y buena digestibilidad (Palatnik y *cols.*, 2019).

Existen diferentes variedades de quesos, se puede clasificar en tres categorías: fresco, semi-maduro y maduro (Pérez 2016). El queso fresco, también es conocido como queso blando (Baque y *cols.*, 2019), es producido mediante una coagulación enzimática y no implica un proceso de maduración (Fox y *cols.*, 2017; Abebe y *cols.*, 2020). En cambio, el queso semi-maduro, pasa por un proceso de coagulación ácida, con un periodo de maduración de 15 a 35 días (Pérez 2016; Andrade 2017). El queso maduro de igual forma pasa por una coagulación ácida, en donde sólo difiere por el período de maduración que es de 40 a 70 días (Pérez 2016).

Queso fresco (QF) es un tipo de queso blando fresco estilo mexicano con alto contenido de humedad, bajo contenido de sal (Wan y *cols.*, 2021), en donde su composición es: proteína 8.2 g, Lactosa 3.1 g, Grasa 8.0 g y agua 77.9 g, por cada 100 g y por lo tanto una vida de anaquel corta en ausencia de refrigeración (Baque y *cols.*, 2019).

En México el queso fresco es el de mayor producción y consumo en México y América Latina (Soto y cols., 2019; Pérez-Soto y cols., 2021). En la **Tabla 4**. Se puede observar la producción total de queso en el año 2020, en México (Compendio del sector 2021).

**Tabla 4.** Producción total de queso en 2020 (Toneladas).

<b>Queso</b>	<b>2020 (Toneladas)</b>
Fresco	96,919
Doble Crema	78,896
Chihuahua	55,155
Amarillo	50,018
Panela	49,910
Manchego	39,984
Crema	38,876
Oaxaca	28,853
Otros	48,786
<b>Total</b>	<b>487,397</b>

---

### 3.7.1 Proceso de elaboración de queso fresco

En México, los quesos frescos son los más consumidos, se caracterizan por una corta vida útil, alto nivel de humedad, baja concentración de sal y pH neutro (Soto y cols., 2019).

En la **Figura 2**, se describen los pasos para la elaboración del queso fresco.

A continuación, se describen las etapas de la producción del queso fresco a nivel industrial: (Walstra y cols., 2006).

1. **Recepción de la leche:** En planta al recibir la leche fresca, esta es depositada en silos donde se mantienen a una temperatura de 4°C.
2. **Homogenización:** Etapa en donde se mezclan los diferentes tipos de leche bronca, provocando una sustancia con las mismas propiedades.
3. **Pasteurización:** La mezcla es llevado a pasteurización, según la NOM-243-SSA1-2010 a una pasteurización rápida es necesario alcanzar una temperatura de 72°C durante 15 segundos. La pasteurización se emplea para la eliminación de los organismos patógenos.
4. **Cuajado:** Antes de que ocurra la coagulación se adiciona cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), esto se debe para facilitar la formación de micelas. Posteriormente se adiciona el cuajo o quimosina. En esta etapa las caseínas llegan a su punto isoeléctrico provocando su precipitación, se comienza la formación de micelas e interactúan con las grasas, minerales entre otros compuestos produciendo la coagulación (Walstra y cols., 2006; Fox y cols. 2017; Lucey 2020).

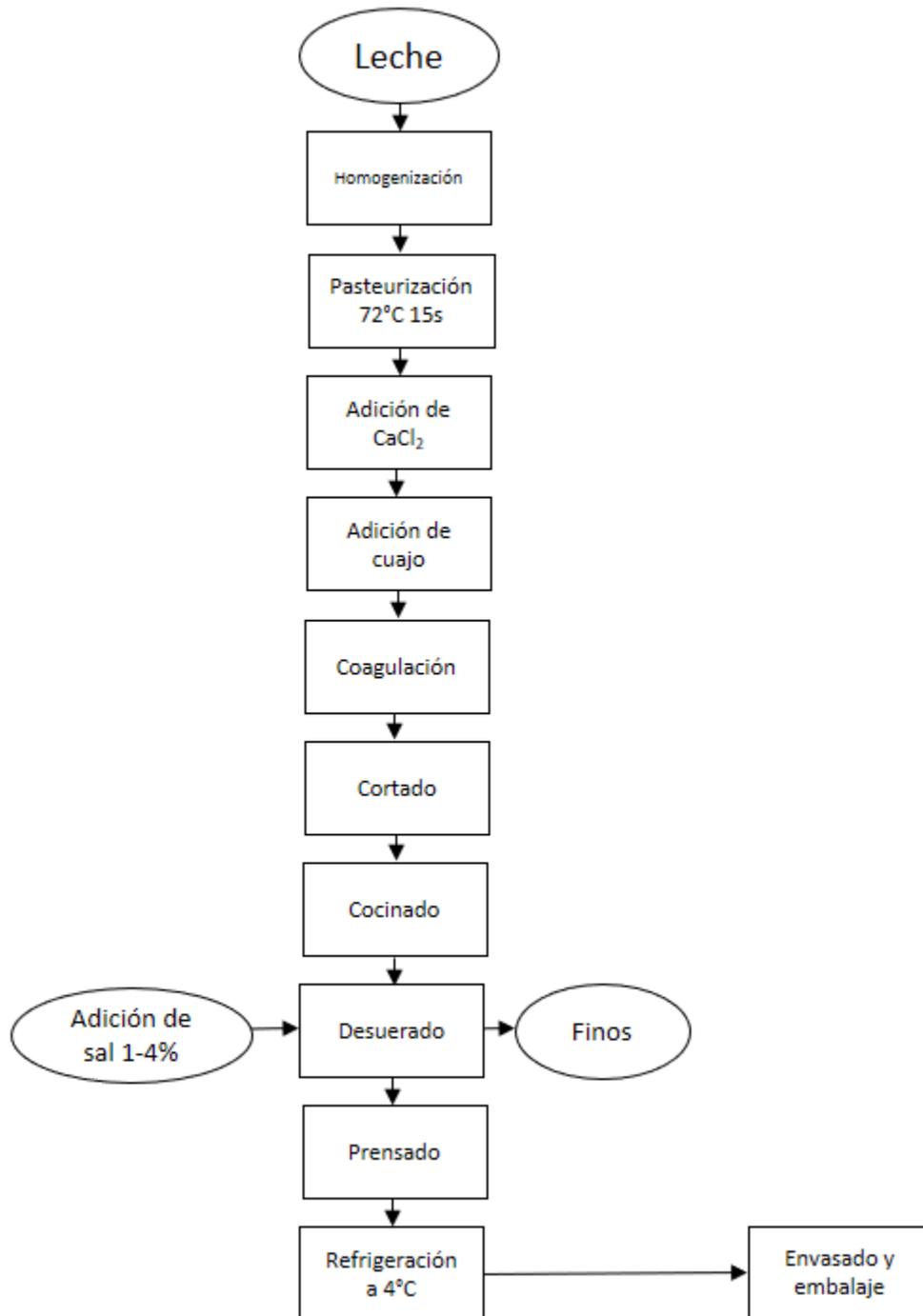
La coagulación de la leche es un paso crucial y un punto de control crítico en la fabricación de queso (Patil y cols. 2018).

5. **Cortado:** Después del cuajado se realiza un corte con unas manoplas, ocurre una reacción de sinéresis que es la separación del cuajo con el suero. El cuajo obtenido es solo un 30 – 10% del volumen original. Cortar la cuajada de leche con una fuerza de

---

gel baja disminuirá el rendimiento del queso debido a una mayor pérdida de grasa y finos de cuajada en el suero. Cortar un gel demasiado firme retardará la sinéresis, lo que dará como resultado un queso de alta humedad con propiedades indeseables (Castillo 2000; Lyndgaard y cols. 2012).

6. **Cocinado:** Es un proceso de agitación con una temperatura de 36-55°C.
7. **Desuerado:** Se retiran los excesos de suero y se le adiciona sal de un 1 - 4%.
8. **Prensado:** La muestra ya sin suero es pasada a contenedores cuadrados en donde a presión se le da la forma al queso.
9. **Refrigeración:** El queso se mantienen a una temperatura de 4°C.
10. **Envasado y embalaje:** Los productos se envasan en recipientes de tipo sanitario, resistente y ofrezca la protección adecuada para impedir su deterioro exterior.



**Figura 2.** Diagrama de bloques para la producción del queso fresco (Walstra y cols., 2006).

---

### 3.8 Formación y tiempo de corte en la cuajada para la elaboración del queso fresco

La coagulación de la leche es uno de los pasos más críticos durante la fabricación de queso. Las fallas en esta operación pueden provocar una disminución del rendimiento, un comportamiento anómalo del queso durante el almacenamiento, un impacto significativo en la calidad del queso y los desechos del proceso (Grassi y *cols.*, 2019). La coagulación de la leche es el proceso en el que la leche se transforma en un coágulo viscoelástico semisólido mediante un enzima específica llamada quimosina (Budelli y *cols.*, 2017). En la fabricación de queso, se caracteriza por tres fases: hidrólisis enzimática, agregación y gelificación (Jiménez y *cols.*, 2017).

#### Hidrólisis enzimática

En la primera fase de hidrólisis enzimática, las enzimas proteolíticas (quimosina, pepsina o proteinasas microbianas) provocan un corte en el enlace Phe105- Met106 de las  $\kappa$ -caseínas contenidas en la leche, formando una porción hidrofóbica (para las  $\kappa$ -caseínas) y una hidrofílica (para el macropéptido de caseína) (Lucey 2020).

#### Agregación

Las micelas de caseína se ensamblan debido a la acción concertada de dos tipos principales de interacciones, las interacciones hidrofóbicas y la formación de nanoclusiones de fosfato de calcio a través de las agrupaciones de fosfoserina (Lucey 2020). En la **Figura 3**, se puede observar los componentes que forman la micela.

De esta manera, las micelas modificadas comienzan a ser susceptibles a la agregación. Entre las fuerzas atractivas durante la agregación predominan los puentes de calcio, las fuerzas de Van der Waals, las interacciones hidrofóbicas y puentes hidrógeno (Lucey 2020), aumentando la viscosidad del medio (Budelli y *cols.*, 2017). En este paso ocurre la floculación, que es el mecanismo de agregación reversible que

---

surge cuando se aglutinan las sustancias coloidales presentes en sustancias líquidas (Lucey 2020).

### **Gelificación**

La agregación de las micelas de caseína, provocan la formación de una red que conduce a la formación de coágulos (Panikuttira y *cols.*, 2020), en donde las partículas de caseína (formadas a partir de la agregación de muchas micelas de caseína individuales) en los geles de cuajo experimentan reordenamiento, fusión y sinéresis en el proceso de formación de la cuajada de queso; por lo tanto, son de naturaleza inherentemente dinámica (Lucey 2020).

La característica de este proceso es importante en la elaboración de queso, debido a que determina el tiempo de corte del coágulo (Budelli y *cols.*, 2017), el cual se usa como referencia para determinar el momento en el que se corta la cuajada y se drena el suero (Jiménez y *cols.*, 2017).

Identificar el punto de corte óptimo del coágulo puede ayudar a mejorar significativamente la calidad del queso. Si la cuajada se corta cuando el coágulo es demasiado débil, la estructura del gel no podrá retener la grasa y otros componentes que son críticos para la calidad y el rendimiento del queso. Si el coágulo se corta cuando está demasiado firme, la sinéresis se retarda, lo que resulta en un queso de alta humedad que necesita una etapa de maduración prolongada (Budelli y *cols.*, 2017). Dado que la determinación precisa del tiempo de corte es esencial para optimizar el proceso, existen varios métodos prácticos e instrumentales disponibles para esta determinación (Jiménez y *cols.*, 2017).

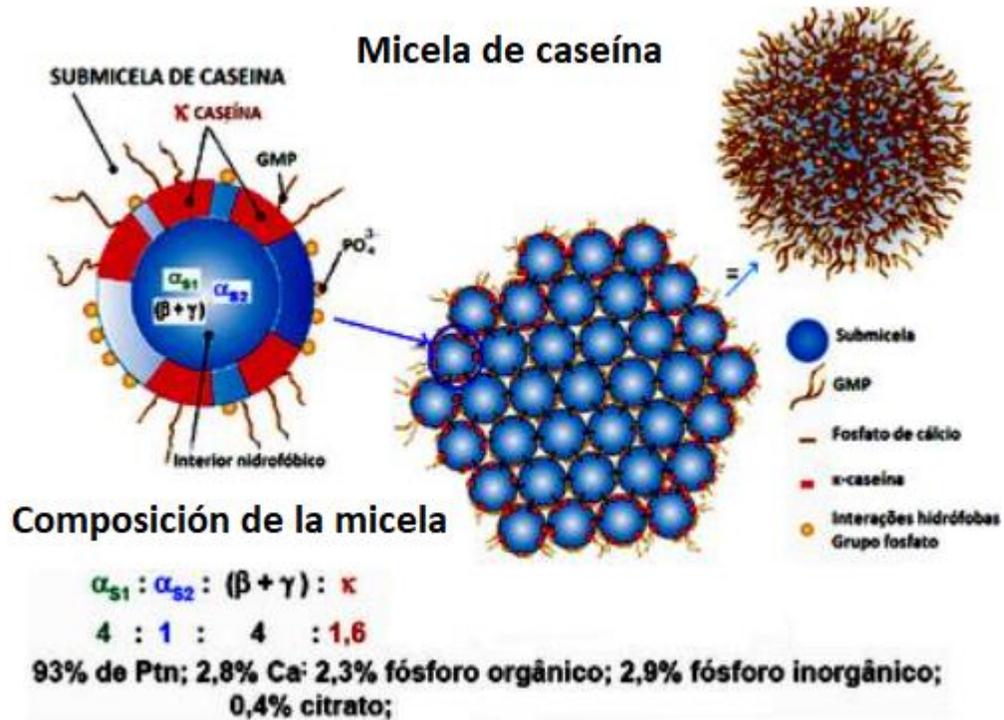


Figura 3. Componentes y forma de la micela de caseína (Bonafede 2017).

---

### 3.8.1 Tipos de enzimas para la formación de la coagulación

La quimosina de ternera producida naturalmente (EC 3.4.23.4) puede contener hasta seis especies moleculares, que tienen ligeras diferencias en sus residuos de aminoácidos (Lucey 2020). La quimosina es una aspartilproteínasa de origen gástrico, secretada por mamíferos jóvenes (Ardö y cols., 2017).

La quimosina se ha clonado en varios organismos genéticamente modificados para producir quimosina derivada de la fermentación, que se usa ampliamente en muchos países de todo el mundo, expresó el gen de la quimosina de camello (*Camelus dromedarius*) en *Aspergillus niger* y produjo quimosina de camello por fermentación. Como el cuajo de camello es menos proteolítico durante la maduración del queso que el cuajo de ternera, ha encontrado aplicaciones para extender la vida útil del queso y reducir el amargor (Lucey 2020).

Otra enzima involucrada en la coagulación es la pepsina, la cual es de origen porcino. La pepsina es la proteínasa predominante en los mamíferos adultos, sensible al pH, por lo tanto, la retención y actividad de las pepsinas en la cuajada de queso depende en gran medida del pH de la leche (Ardö y cols., 2017).

Se han desarrollado varios sustitutos de quimosina, como la endotiapepsina, que es una enzima obtenida del microorganismo *Cryphonectria parasítica*, es relativamente proteolítica y termolábil, por lo tanto, se usa principalmente en quesos donde su actividad se puede inactivar durante la etapa de cocción a alta temperatura que es parte del proceso. El cuajo microbiano más utilizado se produce con *Rhizomucor miehei*, la proteasa aspártica responsable de la formación de cuajada se llama mucorpepsina. Existen diferentes variantes, grados y formulaciones de esta enzima están disponibles en numerosos proveedores diferentes, Fromase, Hannilase, Marzyme, Milase, entre otras. La mucorpepsina es muy versátil y puede usarse para la mayoría de los tipos de queso (Dekker y cols., 2019).

Hoy en día, existe un cuajo comercial que se llama formase, el cual es derivado de *Aspergillus Niger var. Awamori* (Milani y cols., 2017).

---

### 3.9 Factores que afectan el rendimiento en la cuajada para la producción del queso fresco.

Existen algunos factores que modifican las propiedades del queso fresco, una de ellas es la interacción de las moléculas de caseína, que pueden ser alteradas por factores como la distribución de la grasa, humedad, contenido de sal, actividad de agua e incluso condiciones de temperatura (Baque y cols., 2019).

La coagulación de la leche es el primer paso en la fabricación de queso, pero hay muchas variables que pueden afectar la tasa de coagulación (Arango y cols., 2018). Como, la materia prima, proteínas, enzimas, tratamiento térmico (Li y cols., 2019; Panikuttira y cols., 2020), pasteurización (Li y cols., 2018), homogenización (Fox y cols., 2000), nivel de cloruro de calcio agregado o la adición de otros ingredientes como sustitutos de grasas. La variación del contenido de grasa y caseína tiene una gran influencia en el rendimiento del queso, incluida la composición del queso, la microestructura, la textura y las propiedades reológicas, la bioquímica de la maduración y las propiedades funcionales (Arango y cols., 2018).

A continuación, se describen los factores que afecta el rendimiento en la cuajada:

#### **Materia prima**

Para la producción del queso fresco es necesario el empleo de la leche (Walstra y cols., 2006). En donde la complejidad de la leche hace que su composición original sea fácilmente susceptible a modificaciones estructurales, durante los diferentes procesos industriales (Boiani y cols., 2018). La leche debe presentar una buena composición en sólidos totales, grasa, caseína y la relación entre el calcio y nitrógeno en todas las queseras como mínimo es de 0.24 (Villegas y cols., 2018), como se observa en la **Tabla 1** y **Tabla 3**. Sin embargo, el rendimiento quesero y los aprovechamientos de los componentes en estas queseras actualmente son muy bajos y no corresponden con la calidad de la leche utilizada. Las principales causas que se

le atribuye, es la pasteurización, coagulación de la leche a temperaturas altas, además de realizar el corte de la cuajada con firmezas muy bajas (Villegas y *cols.*, 2018).

Hoy en día, se ha incrementado el empleo de leche descremada en polvo para la producción de productos lácteos (FAS-USDA, 2015; Espinoza y *cols.*, 2019). La leche descremada en polvo es tratada con un proceso térmico, este tratamiento térmico produce alteraciones fisicoquímicas, desnaturalización, coagulación y la reacción de Maillard, conocida como caramelización de la leche (Azán y *cols.*, 2016; Schäfer y *cols.*, 2019).

### **Proteína**

La influencia del contenido de caseínas sobre la firmeza del coágulo que afecta el tiempo de coagulación y tiempo de corte, es mucho menos sensible (Azán y *cols.*, 2016). El enriquecimiento de la leche con caseínas, obtenidas mediante técnicas de ultrafiltración, acelera la velocidad de endurecimiento del gel y acentúa su firmeza máxima, reduciendo la velocidad de sinéresis (Azán y *cols.*, 2016; Arango y *cols.*, 2018).

La formación de complejos entre la proteína de suero y la caseína micelar durante el tratamiento térmico depende en gran medida de la exposición de un grupo tiol durante el despliegue de la proteína del suero, la desnaturalización y su interacción resultante con la  $\kappa$ -caseína (Boiani y *cols.*, 2018).

El proceso térmico, provoca la modificación de la conformación globular de las proteínas séricas ( $\beta$ -lactoglobulinas y  $\alpha$ -lactoalbúmina), causando el desdoblamiento de la cadena peptídica hacia formas lineales; produciendo nuevos enlaces que permiten que las proteínas químicamente sean más reactivas (Azán y *cols.* 2016).

### **Grasa**

La grasa de la leche se considera como uno de los constituyentes de la leche más importantes con respecto a la variedad de ácidos grasos. El procesamiento térmico puede influir en las características físicas y químicas de la grasa de la leche, como la

---

producción de isómeros trans y la autooxidación. Consecuencias de la autooxidación en la grasa de la leche en la generación de aldehídos, cetonas y lactonas de bajo peso molecular. Estas sustancias de bajo peso molecular inducen un olor desagradable y reducen la cantidad de vitaminas liposolubles en la leche (Ajmal y cols., 2018).

### **Enzima**

En un estudio se realizó la comparación de *Cynara cardunculus*, *Chamaerops Humilis* y quimosina. La enzima que presentó mejor rendimiento fue la quimosina. Esto se debe a que la quimosina cuenta con una actividad no se relaciona con el pH, permitiendo aumentar el rendimiento (Ardö y cols., 2017).

### **Tratamiento térmico**

Uno de los factores industriales más importantes es la temperatura derivada del procesamiento térmico, la cual produce alteraciones en la composición de la leche. Las principales razones para uso térmico en la leche son: (a) matar los patógenos (pasteurización), (b) aumentar su vida útil, (c) aumentar el contenido de sólidos mediante evaporación térmica antes del secado por aspersión y (d) influir en la clasificación térmica de la leche desnatada. Leche en polvo producida después del uso de varias temperaturas de precalentamiento antes de la evaporación (Boiani y cols., 2018).

Los tratamientos térmicos producen alteraciones fisicoquímicas, desnaturalización, entre otras. Para determinar las alteraciones que producen los tratamientos térmicos en la leche, se llama grado de calentamiento (Azán y cols. 2016). El tratamiento térmico es obligatorio para la fabricación de leche y otros productos lácteos, la técnica térmica más utilizada es la pasteurización. La pasteurización puede inducir cambios bioquímicos indeseables en la fracción lipídica de la leche, como la hidrólisis y autooxidación y una vida útil más corta (Ajmal y cols., 2018). La baja pasteurización provoca una desnaturalización in situ de las proteínas del suero que forman agregados

solubles y complejos con las micelas de caseína, que a su vez reducen la sinéresis y la pérdida de humedad de la cuajada (Lepesioti y cols., 2021).

### **Tratamiento térmico afectando a las proteínas séricas**

Los tratamientos térmicos durante todo el proceso de fabricación provocan la desnaturalización y agregación de proteínas, alteran las interacciones proteína-proteína y lípidos e inducen reacciones de Maillard y otros cambios fisicoquímicos (Wang y cols., 2021).

En cuanto a las proteínas de la leche, la caseína es la de mayor estabilidad ante el proceso térmico; sin embargo, las proteínas del suero son las más afectadas, sobre todo la  $\beta$ - lactoglobulina. La  $\beta$ -lactoglobulina es el principal portador de grupos sulfhidrilos, los cuáles son modificados o separados en el curso de la desnaturalización. El calentamiento de la leche a temperaturas de esterilización provoca un aumento considerable del contenido de materias nitrogenadas no proteicas, como consecuencia de la degradación de las proteínas. La desnaturalización de las proteínas del suero por calor es un proceso de dos fases: inicia con un desdoblamiento reversible de la proteína que involucra la ruptura de los puentes de hidrógeno y enlaces hidrofóbicos, seguido de una desnaturalización irreversible y la agregación de las moléculas que se da a temperaturas más altas. Las reacciones irreversibles son de intercambio tio-disulfuro. Se ha sugerido una tercera fase, que depende de la interacción del calcio y resulta en la formación de un agregado proteico mayor. La gelificación de las proteínas del suero es la manifestación física de la desnaturalización inducida por el calentamiento de las proteínas cuando hay una alta concentración de estas. Se ha mostrado que la liberación de los grupos sulfhidrilo de la leche contribuye de manera importante en el desarrollo de estos sabores, además también se le han relacionado con la desestabilización de las proteínas de la leche (Azán y cols. 2016).

---

### **Tratamiento térmico afectando a las caseínas**

En cambio, las proteínas de caseína son relativamente estables al tratamiento térmico entre 70-90°C, esto se debe a su falta de estructura terciaria. Los tratamientos térmicos a temperaturas superiores a 90° C causan cierto reordenamiento de los componentes de caseína en la estructura micelar a través de una serie de reacciones de agregación y disociación. Durante las etapas iniciales de calentamiento, las micelas de caseína tienden a unirse, un fenómeno que parece depender de la concentración de calcio iónico en la leche (Azán y cols., 2016).

### **Tratamiento térmico afectando la coagulación**

El tratamiento térmico provoca que las proteínas de caseína se acoplen con las con proteínas séricas, debido a la desnaturalización de las proteínas, durante la coagulación la acción del cuajo sobre la  $\kappa$ -caseína y la agregación de micelas se ve alterada. Por lo tanto, se observan poros más pequeños, menor permeabilidad, menor separación del suero, menor sensibilidad a los arreglos a gran escala (Lepesioti y cols., 2021).

### **Tratamiento térmico afectando a los minerales**

Los equilibrios minerales de la leche están influenciados por la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, el cambio hacia la fase coloidal / sólida. Estudios han demostrado cómo el tratamiento térmico en la leche, a ciertas temperaturas influye en la interacción de la proteína de suero con las micelas de caseína y provoca cambios en los equilibrios minerales (Boiani y cols., 2018).

En un estudio realizado por Boiani, realizaron dos pruebas para observar como el tratamiento térmico afecta la interacción del fosfato inorgánico y el calcio, en donde la primera prueba fue a una temperatura de 25 a 60°C, en donde el fosfato inorgánico y el calcio precipitan dentro de la caseína micelar para formar un nuevo nanocluster de fosfato de caseína o como sal de fosfato de calcio inorgánico en el caso de baja concentración de caseína micelar. Durante la segunda prueba, se utilizó una

temperatura de 60 a 80°C, parecería que los cambios en la interacción del nanocluster de caseína micelar-fosfato de caseína predominan como resultado del aumento de la carga negativa de fosfato inorgánico. Debido a ello ocurre la interacción entre la fase de suero fosfato inorgánico y el calcio, que contiene minerales de la leche y la fase coloidal entre la caseína micelar y nanocluster de fosfato de caseína (Boiani y *cols.*, 2018).

### **Cloruro de calcio**

Varios estudios han revelado que los efectos adversos del tratamiento térmico sobre la coagulación del cuajo pueden superarse, hasta cierto punto, añadiendo cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) (Strani y *cols.*, 2021), para compensar el calcio precipitado, superar las variaciones en tiempo de coagulación, acelerar la coagulación, mejorar la textura, aumenta la velocidad de la reacción enzimática y el rendimiento del queso (Arango y *cols.*, 2018). A mayor concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$ , se observa que la unión de iones de calcio con residuos de aminoácidos cargados negativamente reduce la carga negativa de la micela para permitir su acercamiento entre sí, y posiblemente, mediante la formación de puentes de calcio, aumentando así la tasa de agregación y provocando la formación de más geles firmes (Arango y *cols.*, 2018; Strani y *cols.*, 2021).

### **Homogenización**

La homogeneización de la leche aumenta la humedad y mejora la textura y la funcionalidad inducida por el calor de los quesos reducidos o bajos en grasa. El tamaño reducido de los glóbulos de grasa láctea homogeneizada y la absorción de caseína en su superficie les permite comportarse como partículas de pseudoproteína que interactúan con las micelas de caseína durante la coagulación frente a la grasa láctea homogeneizada de la leche no homogeneizada, que están incrustadas en la matriz de paracaseína. En consecuencia, la fusión de las micelas de paracaseína y la eliminación del suero no se ven favorecidas, lo que da como resultado una fuerza de gel reducida y una sinéresis deficiente, alta humedad y una mayor finura de la cuajada

---

de leche homogeneizada que puede desviar el curso de maduración y la funcionalidad (Lepesioti y *cols.*, 2021).

Los glóbulos de grasa en la leche están rodeados por proteínas de membrana y, a menos que se homogeneice, la grasa actúa como relleno inerte en geles de leche (Lucey y *cols.*, 2020).

La homogeneización reduce el tamaño de los glóbulos de grasa (diámetro medio, <1  $\mu\text{m}$ ) y desnaturaliza las crioglobulinas. La membrana de los glóbulos de grasa en la leche homogeneizada es principalmente caseína y no protege los triglicéridos contra la lipólisis; por lo tanto, la leche homogeneizada debe pasteurizarse antes o inmediatamente después de la homogeneización para evitar la aparición de rancidez hidrolítica. Puede resultar ventajoso homogeneizar la leche para queso bajo en grasa, para obtener un contenido de humedad más alto y así suavizar la textura del queso. En algunos casos, la leche descremada se recombina y pasteurizan antes de la fabricación del queso (Fox y *cols.*, 2017).

---

### 3.10 Monitoreo de la coagulación de la LDR por medio de reología

La reología es la ciencia del flujo y la deformación de la materia y explica la correlación entre deformación, fuerza y tiempo (Bacigalupe y cols. 2017; Srava y cols., 2021). Las relaciones reológicas nos ayudan a comprender los fluidos con los que estamos trabajando para que sepamos cómo se comportan o nos obligan a comportarnos según nuestras necesidades. Una vez que se establece la interrelación entre los datos reológicos y el comportamiento del producto, los datos reológicos pueden usarse para evaluar el rendimiento y el comportamiento. Las mediciones reológicas son útiles en el control de calidad durante la producción o para monitorear y / o controlar un proceso. Las mediciones reológicas permiten el estudio de tratamientos químicos, mecánicos y térmicos, los efectos de los aditivos (Srava y cols., 2021).

La reología se ha empleado para monitorear la coagulación de leche (Grassi y cols., 2019). Los geles inducidos por cuajo son viscoelásticos y sus propiedades reológicas pueden caracterizarse mediante reología oscilatoria dinámica de baja amplitud, que determina tanto el componente viscoso como el componente elástico (Grassi y cols., 2019; Lucey 2020).

Estas mediciones deben realizarse en el rango viscoelástico lineal, donde la deformación es proporcional a la tensión aplicada. A menudo, para el cuajo y los geles ácidos, se utilizan reómetros de tensión controlada que operan a una tensión de más del  $\leq 3\%$  durante la etapa inicial de la formación del gel (Lucey 2020).

Los parámetros que se pueden determinar incluyen el módulo elástico o de almacenamiento ( $G'$ ), que es una medida de la energía almacenada por ciclo de oscilación; el módulo viscoso o de pérdida ( $G''$ ), que es una medida de la energía disipada como calor por ciclo (Grassi y cols. 2019; Lucey 2020) y la tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ) (Arango y cols., 2018), que es la relación entre las propiedades viscosas y las propiedades elásticas (tangente de pérdida  $G''/G'$ ). La tangente de pérdida está relacionada con la relajación de los enlaces en el gel durante la deformación y es un parámetro útil (Lucey 2020).

---

Durante la gelificación, hay un período de retraso antes de que se obtenga un valor de módulo de almacenamiento medible (esto depende de la sensibilidad del reómetro para medir eventos cercanos al punto de gelificación). La tangente de pérdida disminuye de  $\pm 1$  a  $<1$  en el punto de gelificación y luego alcanza un valor relativamente constante (alrededor de 0.35 para los geles de cuajo) (Lucey 2020).

Los módulos dinámicos inicialmente aumentan con relativa rapidez y luego, después de un período de varias horas, tienden a estabilizarse. En la práctica comercial, los geles inducidos por el cuajo se cortan una vez que han alcanzado una cierta firmeza (generalmente evaluada subjetivamente por el queso) o, más comúnmente, en un tiempo fijo después de la adición del cuajo. El aumento de los módulos después de la gelificación probablemente refleja la fusión en curso de las micelas, lo que da como resultado un aumento en el área de contacto entre las partículas agregadas y posiblemente la incorporación de partículas adicionales en la red de gel. Algunas micelas que tienen una hidrólisis incompleta de sus pelos de  $\kappa$ -caseína podrían quedar atrapadas dentro de la red de relleno de espacio en el punto de formación de la red y más tarde podrían unirse a la matriz una vez que sus pelos de  $\kappa$ -caseína estén completamente hidrolizados. En donde casi toda la caseína se incorporó al gel de cuajo, al menos muy poco después de la formación de la red. También consideraron que los cambios en el módulo de almacenamiento y la microestructura durante el envejecimiento podrían explicarse en términos de (varios tipos de) reordenamientos de la red de gel en varias escalas de longitud. Los valores de meseta típicos para el módulo de almacenamiento de los geles inducidos por el cuajo (elaborados a partir de leche no concentrada) oscilan entre 100 y 200 Pa. Ambos módulos tienen valores más bajos a bajas frecuencias, reflejando la relajación de más enlaces cuando la escala de tiempo de la tensión aplicada es más larga. La tangente de pérdida a bajas frecuencias es un indicador importante de reordenamientos, ya que es aproximadamente la misma escala de tiempo en la que se estima que ocurren los procesos de reordenamiento relacionados con la sinéresis en geles de cuajo han analizado los posibles tipos de reordenamientos que pueden ocurrir dentro de los geles de leche. El desarrollo del

---

complejo o módulo de cizallamiento en función del tiempo después de la adición del cuajo se puede replantear frente a un tiempo reducido  $t/t_g$ , donde  $t_g$  es el tiempo de gelificación. Se pueden normalizar varias curvas de leche cuajada individuales frente a sus valores de módulo de cizallamiento o complejo a un múltiplo bajo (dos o tres) de la  $t_g$ . Estas diversas curvas luego colapsan en una curva única o maestra debido al comportamiento de escalamiento de la dinámica del proceso de formación del gel. Se han aplicado varios modelos matemáticos, empíricos y cinéticos para predecir el desarrollo de la firmeza del gel o los módulos de cizallamiento; han examinado su eficacia en el desempeño de esta función (Lucey 2020).

---

### 3.11 Medición de textura en el producto final (Queso)

La textura se define como un conjunto de propiedades físicas que surgen de los elementos estructurales de un tipo de alimento, percibidas principalmente por la sensación del tacto. Está directamente relacionado con la deformación, desintegración y flujo de un alimento sometido a una fuerza (Giha y *cols.*, 2021).

La textura y la forma visual del queso son los componentes más importantes que el mismo sabor del queso. Estos factores tienen prioridad para los consumidores (Tomar 2019). La textura y la reología son parámetros de calidad esenciales relacionados con la aceptación por parte del consumidor de los alimentos gelificados, incluido el queso (Mbye y *cols.*, 2020).

Para los quesos, el análisis de textura generalmente se evalúa a través de pruebas de compresión como el análisis de perfil de textura (TPA). El TPA es una prueba instrumental desarrollada originalmente para proporcionar mediciones objetivas de los parámetros de textura. Fue diseñado como una compresión de dos ciclos realizada para simular la masticación (Giha y *cols.*, 2021).

Los parámetros de textura (por ejemplo, dureza, elasticidad, adhesividad, gomosidad, masticabilidad y cohesión) (Darwish y *cols.*, 2020; Giha y *cols.*, 2021), puede considerarse como uno de los parámetros más importantes para determinar la calidad e identidad del queso y estimar la apreciación sensorial de la estructura (Darwish y *cols.*, 2020). El parámetro de textura más evaluado fue la dureza (Giha y *cols.*, 2021). Alinovi investigó los posibles cambios espacio temporales de la textura del queso fresco suave producido mediante diferentes cultivos iniciadores de cuajo y / o bacterias del ácido láctico, en donde se obtuvo la textura corporal diferentes formulaciones de queso fresco suave (Alinovi y *cols.*, 2018). En un estudio realizado por Schäfer, se investigó la apariencia general, textura y propiedades sensoriales, del queso fresco concentrado-fermentado, elaborado con diferentes contenidos de calcio y evitando la producción de suero ácido (Schäfer y *cols.*, 2019).

---

En un estudio realizado por Mbye, en donde elaboraron queso fresco con 3 condiciones diferentes uno con cuajo de quimosina, otro con ácido acético y ácido cítrico, en donde se utilizó la técnica de textura, para detectar quien presentaba mayor dureza, en donde se observó que el queso cuajado con la quimosina presentaba mayor dureza que los otros dos tipos de queso (Mbye y *co/s.*, 2020).

Los quesos bajos en grasa generalmente tienen una textura más dura que los quesos enteros porque la ausencia de grasa concentra los otros componentes, generando enlaces proteicos rígidos que mejoran la resistencia física del queso (Giha y *co/s.*, 2021).

---

### 3.11 Ingredientes para mejorar el rendimiento de la cuajada utilizando LDP:

#### Fructanos de agave

El consumo de componentes reguladores como prebióticos mantiene el equilibrio de la microbiota (Gasaly y cols., 2020), los prebióticos son sustancias de la dieta que nutren a grupos seleccionados de microorganismos que habitan en el intestino y favorecen el crecimiento de bacterias beneficiosas sobre las nocivas (Blanco y cols., 2021). Entre los más conocidos se encuentran los fructanos que son polímeros de fructosa que utiliza la industria alimentaria como ingrediente o como sustrato debido a sus propiedades físicas, químicas, tecnológicas y funcionales (Regalado y cols., 2021). Algunos fructanos son provenientes del Agave, en donde existen diferentes variedades de fructanos de Agave: *Tequilana*, *Angustifolia*, *Potatorium* (Curbelo y cols. 2016), *Fourcroydes* (Curbelo y cols. 2017), *Sisalana boles* (Apolinário y cols. 2017), *Tequilana Weber var. Azul* (Vázquez y cols., 2015), entre otras. Los fructanos de Agave están constituidos por una mezcla de oligosacáridos de fructosa con  $DP < 10$ , la cual presenta estructuras con pocas ramificaciones y están constituidos por enlaces de tipo  $\beta$  (2-1) y  $\beta$  (2-6), tienen la función de reservorio de energía. Son azúcares no reductores por su unión  $\beta$ -(21), lo que les permite llegar intactos hasta colon provocando un efecto prebiótico, ya que estimula el crecimiento de la microbiota intestinal, la activación del sistema inmune y otros factores (Zavala y cols. 2012; Curbelo y cols. 2017). Los dos carbohidratos principales que se clasifican como prebióticos son los fructanos de tipo inulina y los galactooligosacáridos (GOS). Los fructanos de tipo inulina se pueden extraer de las plantas, producida a partir de la hidrólisis parcial de inulina (oligofructosa), o sintetizada enzimáticamente a partir de sacarosa (FOS) (Wilson y cols. 2017).

La inulina se ha utilizado para una variedad de propósitos como: agente bajo en calorías, agente texturizante, fibra dietética soluble con propiedades prebióticas (Karimi y cols., 2015).

---

La inulina también se ha empleado en la producción de queso, para aumentar su vida útil (Lara-Castellanos y *co/s.*, 2021), como sustituto de grasas en el queso (Arango y *co/s.*, 2018). En donde la inulina ayuda en su firmeza y contenido nutrimental, sin afectar la reología del queso (Palatnik y *co/s.*, 2019).

En un estudio realizado por Arango se evaluó el efecto la adición de inulina en la coagulación de la leche, en donde ocurrió una disminución significativa de los tiempos de corte, lo que indica que la fase de hidrólisis fue más rápida (Arango y *co/s.*, 2018). En otro estudio realizado por Palatnik, se adiciono la inulina para que se comporte como un prebiótico, fibra dietética y sea sustituto de grasa, se observó que la inulina, no contaba con la retención suficiente para darle al queso las características funcionales deseadas (Palatnik y *co/s.*, 2019).

---

#### 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La composición de la leche tiene un impacto significativo en la calidad de los productos finales, la aceptabilidad de los consumidores y la rentabilidad de la industria láctea. Existen algunos factores, que producen cambios en la composición de la leche, como, el tipo de raza, genotipo bovino, cambios de alimentación, cambios estacionales y condiciones climáticas. Se ha informado que el contenido de grasa y proteína de la leche son los dos componentes principales que varían significativamente debido a la variabilidad estacional en el alimento (Parmar y *cols.*, 2020).

La leche se ha empleado para la producción del queso. El queso es un producto muy importante en la industria láctea (García y *cols.*, 2019), debido a sus propiedades nutricionales, es un alimento funcional, y existen reportes de los beneficios de su consumo, como el aporte de proteínas de alto valor biológico y probióticos, entre otros. Particularmente, el queso fresco es uno de los quesos más consumidos en México, y se caracteriza por ser un queso blando (Pérez y *cols.*, 2021).

La leche bronca es escasa o inexistente en ciertos países, debido a problemas climáticos y su alto costo, lo cual también afecta a países productores de leche. Desde un punto de vista económico y tecnológico, la LDP es fundamental para estos países, debido a su uso para la estandarización del contenido de proteínas en la leche destinada a la elaboración de queso (Strani y *cols.*, 2021), la LDP se puede usar convenientemente para reemplazar parcial o totalmente la leche fresca en el procesamiento del queso (Tidona y *cols.*, 2021).

La leche descremada en polvo es tratada con un proceso térmico, que produce alteraciones fisicoquímicas, desnaturalización, reacción de Maillard y desestabilización de las proteínas de la leche, con ello afectando el rendimiento de la coagulación (Azán y *cols.* 2016; Schäfer y *cols.* 2019).

En un estudio realizado por Lin se comprobó que las LDP, cuentan con ciertas variaciones dependiendo a la temporada del año (Lin y *cols.*, 2018).

---

Para analizar la composición de la leche es necesario realizar los métodos de prueba o tradicionales (Riu y *cols.*, 2020). Estos tipos de métodos tradiciones son costosos, consumen mucho tiempo y requieren personal capacitado (Siesler y *cols.* 2008; Asaduzzaman y *cols.*, 2020), además la creciente demanda para la garantía de calidad en la producción de alimentos requiere métodos analíticos para un control de calidad objetivo (Bogomolov y *cols.* 2013). Estos métodos tradicionales dificultan establecer controles de calidad rápidos para tomar decisiones a la hora de mejorar la calidad de la leche de forma continua y rápida (Riu y *cols.*, 2020).

En otra cuestión recientemente, han aumentado las solicitudes de los consumidores sobre alimentos más saludables, como productos lácteos descremados, con propiedades similares (sabor, textura y firmeza) a los tradicionales (Strani y *cols.*, 2019). Algunas demandas de los consumidores están relacionadas con productos bajos en grasa (Surber y *cols.*, 2020). La industria alimentaria se enfrenta al desafío de producir "alimentos funcionales" y "fibra dietética" para desarrollar productos alimenticios reducidos en grasas en reconocimiento de la dieta y las preferencias de salud de los consumidores (Aydinol y *cols.*, 2018). Por esta razón, las empresas lácteas necesitan ajustar los parámetros del proceso para optimizar la calidad del producto final, en la elaboración del queso (Strani y *cols.*, 2019).

---

## 5. JUSTIFICACIÓN

En los países con baja producción de la leche bronca, se ha empleado el uso de la LDP, debido a su uso para la estandarización del contenido de proteínas en la leche destinada a la elaboración de queso (Strani y *cols.*, 2021), la LDP se puede usar convenientemente para reemplazar parcial o totalmente la leche fresca en el procesamiento del queso (Tidona y *cols.*, 2021). Desde un punto de vista económico y tecnológico, la LDP es fundamental para los países en los que la producción de leche es escasa o nula debido a problemas climáticos y de alto costo (Strani y *cols.*, 2021). Según la SIAP, en México la demanda de la LDP es alta (SIAP 2019). La LDP ha tenido un gran interés en el mercado debido a su facilidad de transporte, manipulación, larga vida útil (18-24 meses) y amplio uso (Wang y *cols.*, 2021; Sert y *cols.*, 2021), como crema de café, yogur, postres lácteos, confitería, fórmulas infantiles y productos de panadería (Wu y *cols.*, 2021). El principal elemento de producción de la LDP es el queso fresco (Soto y *cols.*, 2019).

En este proyecto se evaluará la composición de la LDP y comprender las características de esta materia prima, debido a que la LDP es tratada con un proceso térmico, cuenta con alteraciones fisicoquímicas, desnaturalización, reacción de Maillard (Azán y *cols.* 2016; Schäfer y *cols.* 2019) y variaciones dependiendo a la temporada del año (Lin y *cols.*, 2018).

Debido a que la LDP, cuenta con ciertas variaciones en su composición, es necesario el empleo de una técnica que permita un análisis rápido.

La espectroscopía de luz infrarroja cercana es una técnica que puede aplicarse en línea, cumpliendo con los requisitos de las aplicaciones industriales, para el control continuo de la calidad y el monitoreo del proceso (Riu y *cols.*, 2020). Debido a que es una técnica no invasiva (Wang y *cols.*, 2021), analítica sencilla, rápida (Asaduzzaman y *cols.*, 2020), libres de solventes, fácil manejo (Risoluti y *cols.*, 2020), no afecta la evolución de los parámetros de calidad y la dinámica del proceso, debido a la

---

posibilidad de extraer tanto información química y física de un espectro NIR (Grassi y *cols.*, 2019).

Este estudio cuenta con el interés de estudiar la LDP, debido a que la composición de la leche tiene un impacto significativo en el rendimiento del queso (Katz y *cols.* 2016). Debido a ello, se analizará el proceso de coagulación de la LDP, utilizando reología, ya que la LDP, al ser tratadas térmicamente cuentan con una desestabilización de las proteínas de la leche, con ello afectando el rendimiento de la coagulación (Azán y *cols.* 2016; Schäfer y *cols.* 2019).

En otro aspecto existe una gran demanda de los consumidores sobre alimentos más saludables (Strani y *cols.*, 2019) y productos bajos en grasa (Surber y *cols.*, 2020). Debido a ello es necesario producir alimentos funcionales y fibra dietética para desarrollar productos alimenticios reducidos en grasas (Aydinol y *cols.*, 2018). La inulina se ha empleado como un prebiótico, fibra dietética y sea sustituto de grasa, se observó que la inulina (Palatnik y *cols.*, 2019) y disminuye significativa los tiempos de corte y produce una la fase de hidrólisis más rápida (Arango y *cols.*, 2018).

La información obtenida permitirá comprender las características de este material y su aplicación en producción del queso fresco, mezclando fructanos de agave para diversificar su uso en la industria de los alimentos. Debido a ello, se obtendrá rendimientos del proceso de coagulación, utilizando LDP, con y sin inulina, a nivel planta.

---

## 6. HIPÓTESIS

Un grado de calentamiento elevado en la leche descremada en polvo tiene un efecto perjudicial sobre el desarrollo reológico (firmeza o viscosidad compleja (Pa.s) de una cuajada de queso, pero este efecto se puede subsanarse mediante la adición de un porcentaje bajo de inulina.

---

## 7. OBJETIVOS

### 7.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del grado de calentamiento de la leche descremada en polvo y su interacción con un prebiótico (inulina), durante la etapa de coagulación enzimática, para la producción de queso fresco.

### 7.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el contenido de Grasa, Proteína, Sólidos Totales, Lactosa, Cenizas y Proteína Coagulable de las muestras de LDP y verificar si existe una correlación entre el GC declarado por el proveedor en las muestras analizadas. Obtener los espectros de infrarrojo cercano de las muestras de LDP para construir una curva de calibración que sirva como metodología rápida de clasificación de calidad de leche.
2. Evaluar el efecto que tiene el grado de calentamiento de la LDP en la evolución del cuajado mediante una técnica reológica acoplada que sirva como base para la elaboración de metodologías rápidas de determinación grado de calentamiento (Modelo de gompertz), utilizando una formulación con y sin inulina.
3. Analizar la textura y rendimientos del producto final a nivel laboratorio y planta.

## 8. METODOLOGÍA

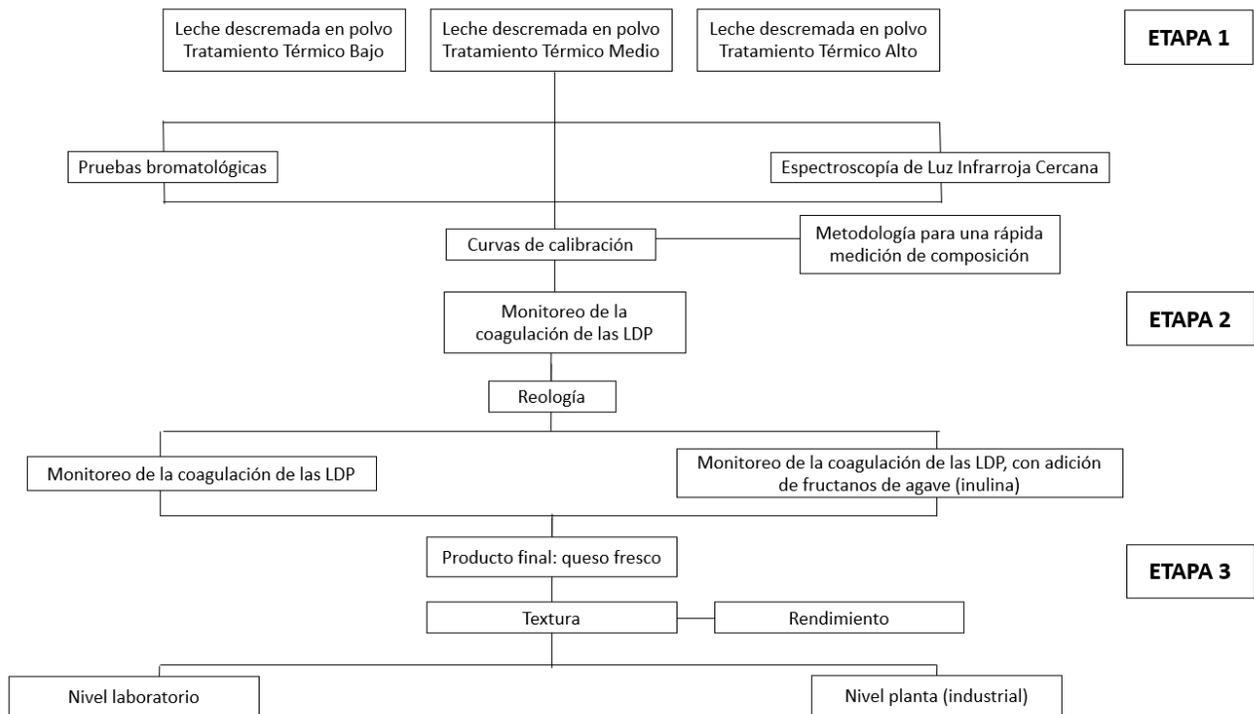
### 8.1 Diseño de la investigación

El trabajo de investigación se basará en un modelo estadístico para el diseño  $3^2$ , se consideró el efecto individual de cada factor (adicción de fructanos y leches descremadas en polvo) y de la interacción entre ambos, se puede observar en la **Tabla 7**. El tipo de investigación es será objetiva básica puesto que se toma como referencia los lineamientos expuestos en los métodos oficiales de las NOM para la determinación de parámetros fisicoquímicos respectivamente presente en las muestras que serán analizadas. Se apoya con investigación bibliográfica para conocer la temática de la investigación. La investigación se realizará en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco en el laboratorio de Microbiología y con convenio con el laboratorio de Tecnología de Sigma Alimentos Lácteos, con condiciones óptimas y adecuadas que garantizarán la obtención de datos confiables y que ayudarán a cumplir los objetivos planteados.

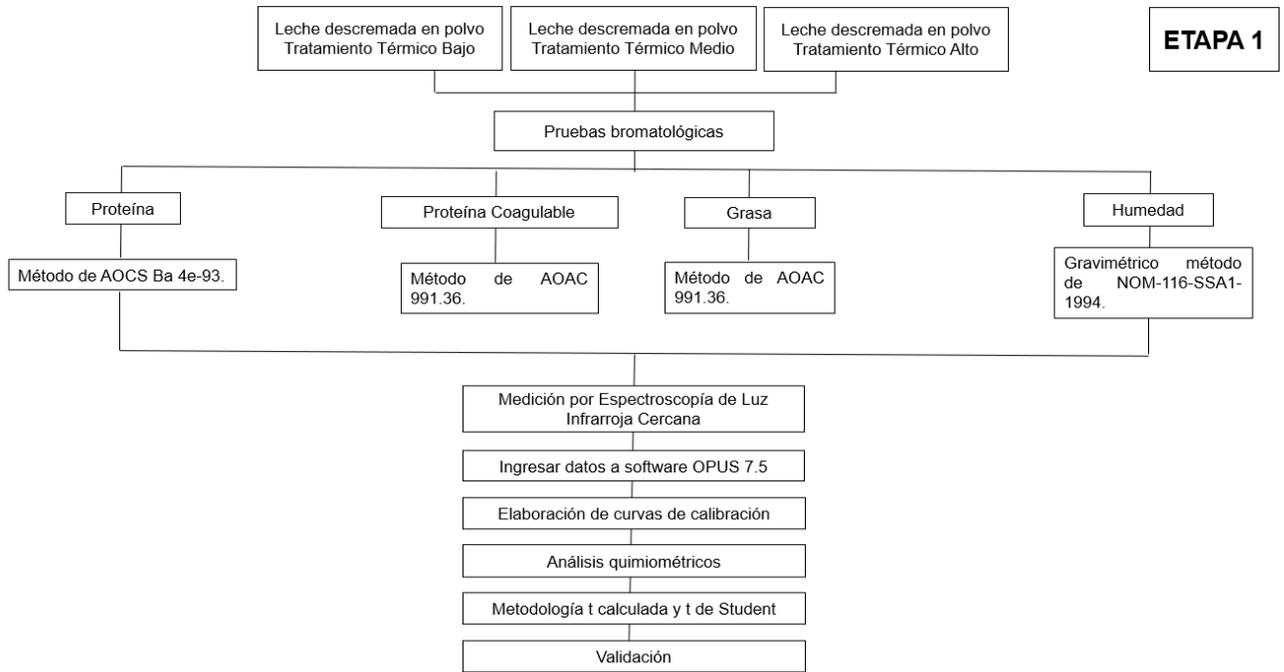
**Tabla 7.** Diseño experimental  $3^2$ .

<b>B. Adición de fructanos</b>		<b>A. Leches descremadas en polvo</b>		
		Tratamiento Térmico Bajo (TTB)	Tratamiento Térmico Medio (TTM)	Tratamiento Térmico Alto (TTA)
Bajo	(1.5%)	TTB – B	TTM – B	TTA – B
Medio	(2%)	TTB – M	TTM – M	TTA – M
Alto	(2.5%)	TTB – A	TTM – A	TTA – A

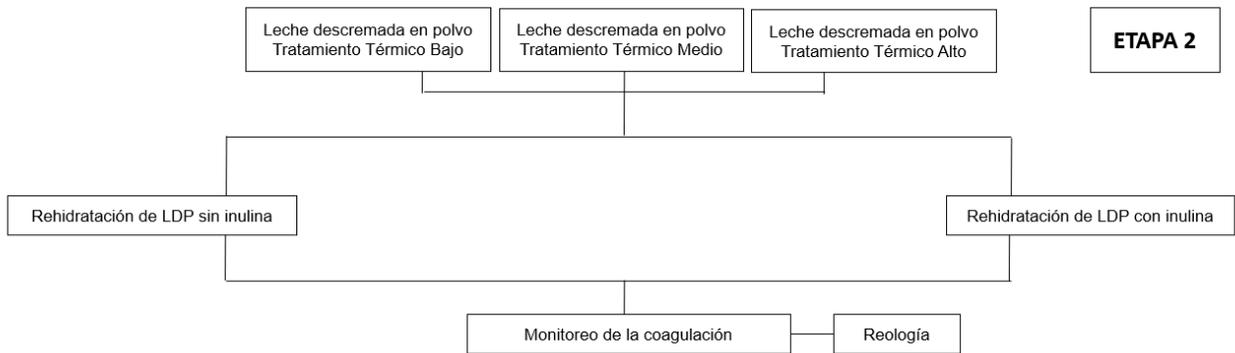
El presente trabajo de investigación se dividirá en 3 etapas, descritas en los siguientes diagramas.



**Figura 4.** Etapas del proyecto.

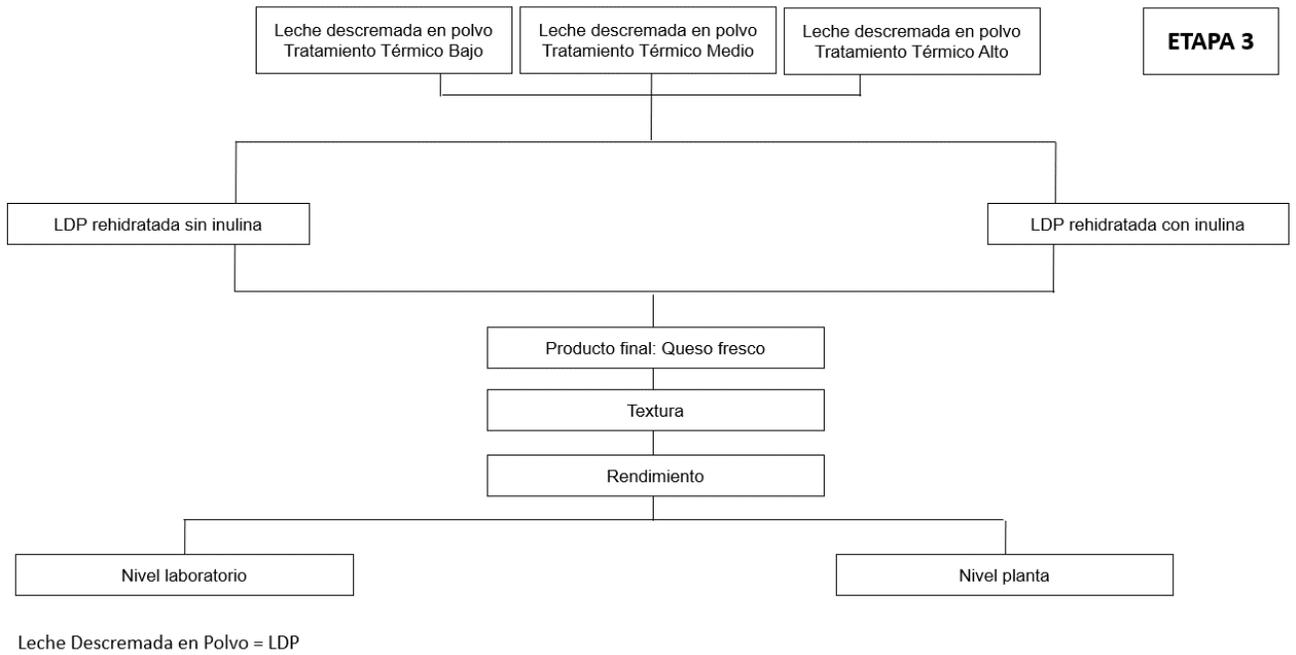


**Figura 5. Etapa 1 del proyecto.**



Leche Descremada en Polvo = LDP

**Figura 6. Etapa 2 del proyecto.**



**Figura 7.** Etapa 3 del proyecto.

---

## 8.2 Tamaño de muestra

Se tomarán 3 tipos diferentes de LDP: TTB, TTM y TTA, de dos proveedores diferentes. Las muestras se encuentran previamente pasteurizadas. En total se analizaron 23 muestras (diferentes lotes), las muestras de leche descremada en polvo fueron donadas por Sigma Alimentos Lácteos.

## 8.3 Fructanos de agave, inulina

La inulina que se utilizó es de Agave Azul, los cuáles fueron obtenidos por el proveedor Food Technologies Trading S.A. de C.V., la inulina se encuentra en polvo, con un 90% de pureza.

## 8.4 Análisis fisicoquímicos

Se realizarán los siguientes análisis a todas las muestras, por triplicado.

- Humedad fue determinada mediante el método gravimétrico expuesto en la NOM-116-SSA1-1994.
- Grasa. El contenido de grasa fue determinado mediante el método AOAC 991.36.
- Proteína. Se determinó el contenido de proteína total se determinó mediante combustión usando el método AOCS Ba 4e-93.
- Proteína coagulable se determinó mediante el empleo del método AOAC 927.03 que contempla la determinación del contenido de nitrógeno de caseína por el método 998.07.

## 8.5 Análisis vía NIR

Cada una de las muestras de LDP se analizó mediante un equipo FTIR-NIR (Bruker Optics, Ettlingen, Alemania) en modo de reflexión usando el módulo acoplado conocido como esfera de integración. Para la obtención de datos espectrales se empleó un

---

método de 64 barridos de 12000 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 16  $\text{cm}^{-1}$ . Las mediciones se realizaron con una ganancia electrónica de 1 y con el detector a 10kHz. Antes de cada medición se realizó la tomad de un background. Los espectros se obtuvieron tres veces para cada muestra haciendo cambio de esta. Se tomaron 30g de cada una de las leches en polvo en donde se medirán, con el equipo MPA, Bruker, Alemania y se utilizará una esfera de integración espectroscopia de luz infrarroja cercana, a temperatura ambiente, la determinación se realizará por triplicado a cada muestra.

#### **8.11.2.1 Pruebas quimiométricas**

Todo el procesamiento de datos espectrales su tratamiento y la regresión por PLS, fueron realizados empleando el software de quimiometría OPUS 7.5 (Bruker Optics). La revisión de modelos del fabricante del equipo también se realizó empleando dicho software, aunque no se pueden visualizar los espectros al estar protegidos, si fue posible trabajar con la optimización quimiométrica de los modelos. Para cada modelo se registraron los coeficientes de ajuste a la recta o  $R^2$ , el error cuadrado medio del coeficiente de variación (RMSECV), la proporción entre el desempeño y la desviación (RPD), la desviación y la pendiente de la recta. Se eligieron los modelos con el menor RMSECV.

#### **8.11.2.2 Validación de curvas de calibración**

Para validar los modelos se emplearon pruebas de contraste  $t$  para datos emparejados. Este método se basa en el contraste del valor  $t$  tabulado vs el valor  $t$  calculado a partir de las diferencias entre los grupos de valores predichos y los valores de referencia (Miller y cols., 2002). Para este análisis se emplearon 40 muestras de LDP no incluidas en los modelos, con estas muestras se determinó la precisión, sensibilidad y especificidad del modelo.

---

### **8.6 Construcción de curvas de calibración con datos espectrales NIR**

Una vez obtenido los espectros de cada muestra LDP se realizó la carga de valores de referencia de Grasa, Proteína, Lactosa, Humedad y Proteína Coagulable correspondientes a cada espectro. La curva de calibración se desarrolló usando el software OPUS V 7.5 (Bruker Optics). Todo el procesamiento de datos espectrales su tratamiento y la regresión por PLS, fueron realizados empleando el software de quimiometría OPUS 7.5 (Bruker Optics). Los modelos se generaron usando la herramienta de optimización automática seleccionando las técnicas de procesamiento matemático de Normalización vectorial, y/o primera derivada. Para cada modelo se registraron los coeficientes de ajuste a la recta o  $R^2$ , del error cuadrado medio del coeficiente de variación (RMSECV), la proporción entre el desempeño y la desviación (RPD), la desviación y la pendiente de la recta. Se eligieron los modelos con el menor RMSECV.

---

## 8.7 Formulación a nivel laboratorio

### 8.7.1 Formulación sin grasa

Se toma la LDP, se le adiciona la inulina (3 porcentajes diferentes), a excepción de la muestra control, se rehidrató con agua bidestilada, se dejó homogenizando durante 5 min a 10,000 RPM, a una temperatura ambiente de 25°C. La muestra se colocó en un baño maría a 42°C, en donde al llegar a la temperatura, se colocó la sonda de reflexión, en donde se realizó las cinéticas de medición por medio de luz infrarrojo cercano, en donde se le adición de Cloruro de calcio, se mezcló y se adicionó Cuajo Formase, de igual se mezcló, peso final 100 g. Se emplea la formación control en la **Tabla 8.**, posteriormente se cortó y cocino a una temperatura de 60°C durante 10 min, se desuero a durante 10 min, se prensó con un molde para quesos frescos y se le colocó una pesa de 1Kg durante 15 min. Se refrigeró a una temperatura de 4°C por 24 horas.

### 8.7.2 Formulación con grasa

Se tomó la LDP con la inulina (2.5%), se rehidrató con agua bidestilada, se dejó homogenizando durante 5 min a 10,000 RPM, a una temperatura ambiente de 25°C. Se calentó la grasa vegetal a una temperatura de 90°C, en donde se mantenía homogenizando a 10,000 RPM durante 5 min. Se tomó 20 mL de LDP y se homogenizó con la grasa durante 5 min a 10,000 RPM. Se repite el punto **8.7.1.**

**Tabla 8.** Formulaciones para la preparación del queso fresco, a nivel laboratorio.

Elementos	Sustituto de grasa				Con grasa	
	Control	Inulina	Inulina	Inulina	Control	Inulina y grasa
<b>LDP</b>	10.30 g	10.30 g	10.30 g	10.30 g	10.30 g	10.30 g
<b>Agua</b>	89.60 mL	88.10 mL	87.60 mL	87.10 mL	85.58 mL	83.08 mL
<b>Grasa vegetal</b>	-	-	-	-	4.00 g	4.00 g
<b>Emulsificante</b>	-	-	-	-	0.02 g	0.02 g
<b>Inulina</b>	-	1.50 g	2.00 g	2.50 g	-	2.5 g
<b>Cloruro de calcio (36%)</b>	0.10 g	0.10 g	0.10 g	0.10 g	0.10 g	0.10 g
<b>Cuajo Formase (2.5%)</b>	0.003 mL	0.003 mL	0.003 mL	0.003 mL	0.003 mL	0.003 mL

## 8.8 Formulación nivel planta

### 8.8.1 Formulación sin inulina

Se tomó la LDP, se rehidrató con agua bidestilada, se homogenizó (1500 psi). Se tomaron 2 L de LDP, se homogenizaron (1500 psi) con grasa vegetal y emulsificante, se junta toda la mezcla y se procede a la pasteurización a una temperatura de 72°C durante 5 min, enfriado a 32°C, se le adiciona el cloruro de calcio y cuajo, se coagula a 32°C por 35 min, se procede al corte y reposo de 5 min., se continúa con el cocinado 40°C durante 20 min, se procede con el desuerado, salado y prensado 6 min (6kgf), enfriamiento 24 horas.

### 8.8.2 Formulación con inulina

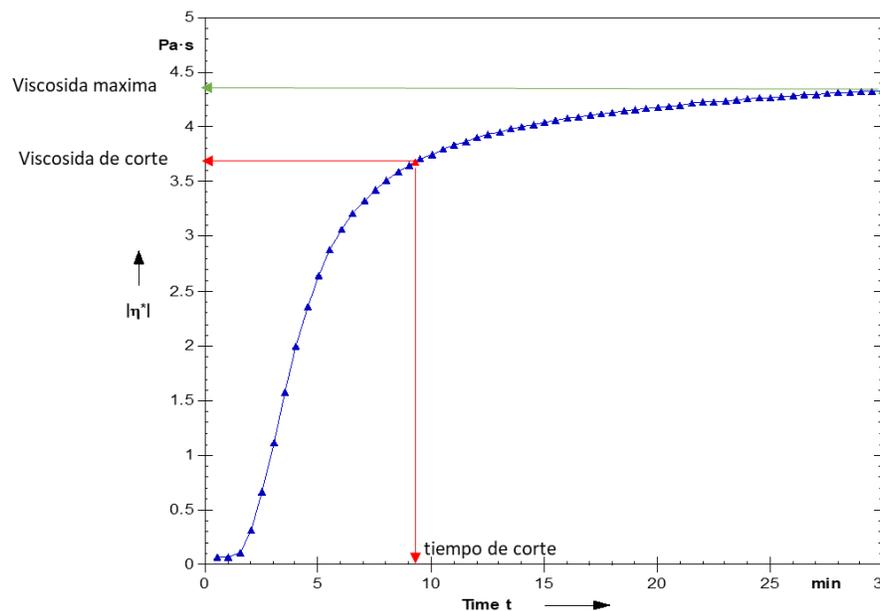
Se tomó la LDP más la inulina, se rehidrató con agua bidestilada, se repite el paso **8.8.1**.

**Tabla 9.** Formulaciones para la preparación del queso fresco, a nivel planta.

<b>Elementos</b>	<b>Control</b>	<b>Con grasa</b>
<b>LDP</b>	10 Kg	10 Kg
<b>Agua</b>	86.24 L	83.74 L
<b>Grasa vegetal</b>	3 Kg	3 kg
<b>Emulsificante</b>	0.02 Kg	0.02 Kg
<b>Inulina</b>	-	2.5 Kg
<b>Cloruro de calcio (36%)</b>	0.5 L	0.5 L
<b>Cuajo Formase (2.5%)</b>	0.234 L	0.234 L

### 8.9 Monitoreo de la coagulación de la Leche Descremada Reconstituida

Se tomo la LDR (como se indica en el punto 7.6), se colocará en un baño maría, alcanzado una temperatura máxima de 42°C. Se tomaron 20 mL de la mezcla y se llevó al reómetro MCR302 (Anton Paar, Ostfildern, Alemania), equipado con un sistema de medición de cilindros coaxiales (CC 27 / T200, Anton Paar), la medición se llevó a cabo en modo oscilatorio a 0.005% de deformación y 10 Hz de frecuencia durante 30 min. Como resultados se obtuvieron la viscosidad compleja máxima ( $\eta_{max}$ , Pa.s) y el punto de corte definido como la inflexión de la curva de cuajado y del cual se obtuvo el tiempo y viscosidad de cuajado. El punto de inflexión se calculó empleando el software Rheoplus V 3.62 (Anton Paar), para ello se aplicó la herramienta de detección de punto de inflexión con un ancho de banda de 5%. La descripción gráfica del punto de corte se muestra en la **Figura 8**. Este paso se realizó exclusivamente con las mezclas que se mencionan en el apartado **8.7**.



**Figura 8.** Descripción gráfica de cálculo de punto de corte y viscosidad máxima.

### 8.10 Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Se empleó un equipo de textura, TA.XT plus, (P/100 Plato de compresión 75mm Ø de acero inoxidable). A una temperatura de 4°C, con una presión de 50%, fuerza de actuación 1g. Se midieron 10 cubitos de queso 2x2x2, en donde se midieron solo 2 tipos de muestras 2 TTB y 13 TTM, debido a que el TTA no mantuvo su estructura, para la producción de un queso. Cada una se midió 10% de LDP, 10% LDP y 1.5% de inulina, 10% de LDP 2% de inulina y 10% LDP 2.5% de inulina y formulación

### 8.11 Análisis estadístico

El valor promedio que se obtendrá de las pruebas fisicoquímicas, que se realizarán por triplicado, se someterán a un análisis estadístico. Se realizará un ANOVA univariante, debido a que ofrece la posibilidad de trabajar tanto con factores de efectos fijos, análisis de covarianza y regresión, en este caso se utilizará como factor fijo los resultados obtenidos de las pruebas.

Se realizará una regresión lineal para determinar la regresión y correlación entre los resultados de las pruebas fisicoquímicas con los espectros obtenidos, en donde se compararán estos dos métodos. De igual forma se realizará lo mismo con los espectros obtenidos del monitoreo de la coagulación y los resultados obtenidos sobre la viscosidad compleja. Estos análisis nos permitirán estimar la diferencia entre el promedio de estas dos técnicas.

#### 8.11.1 Estandarización

La estandarización se realizó con el fin de que las LDP, cuenten con el mismo porcentaje de proteína, se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{Estandarización de proteína} = \frac{3.5 \text{ g (100\%)}}{\% \text{ de proteína}} \quad (3)$$

---

#### 8.11.4 Rendimiento del queso

El rendimiento del queso se calculó como el porcentaje en peso recuperado de la leche total utilizada para la preparación (Mbye y cols., 2020).

---

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Fisicoquímicos

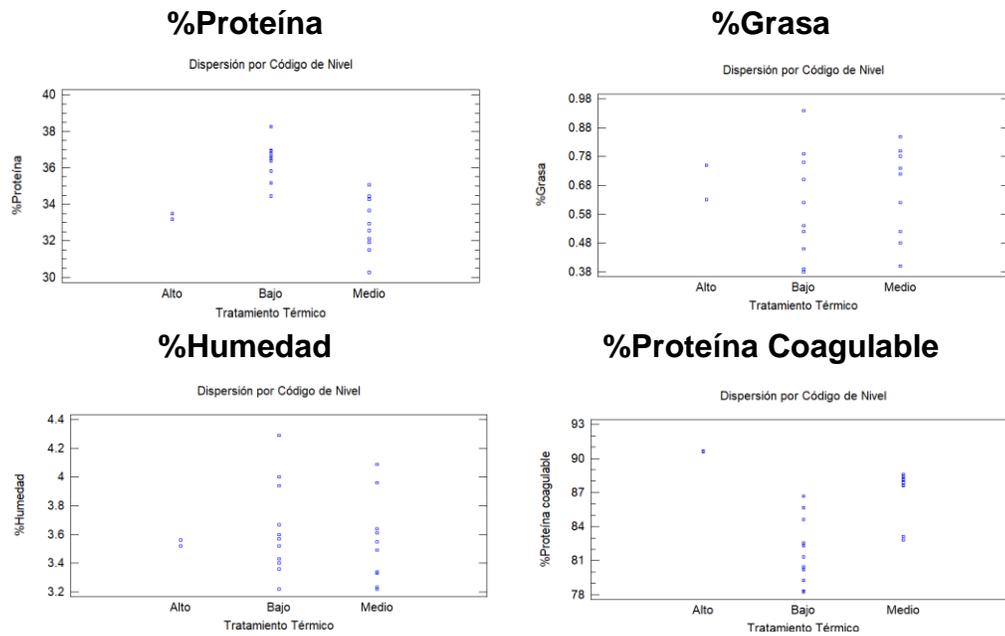
Los resultados de composición de humedad (H), grasa (G), proteína (P) y proteína coagulable (PC), se muestran en la **Tabla 10** como el promedio de dos mediciones. Al realizar una prueba estadística de ANOVA simple agrupando las muestras por tipo de grado de calentamiento, se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína y proteína coagulable entre las leches de tratamiento térmico bajo comparadas con sus contrapartes de mayor grado de calentamiento tratamiento térmico medio y tratamiento térmico alto. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en porcentaje de H y G (**Figura 9**). El método de la AOAC 998.07 menciona como nota que, las leches tratadas térmicamente, el contenido de nitrógeno de caseína (también llamado proteína coagulable), es artificialmente más alto que en leches no tratadas térmicamente. Esto debido a la desnaturalización de proteínas séricas lo que correlaciona al grado de calentamiento con las condiciones del proceso de producción. Lo que se refleja en la **Figura 9**.

Las variaciones de composición pueden atribuirse también a los cambios derivados de la dieta y etapa de lactancia propios de la estacionalidad (Lin y cols., 2018; Parmar y cols., 2020).

**Tabla 10.** Resultados bromatológicos de las 23 muestras de LDP.

No.	Tratamiento Térmico	%H	DE	%G	DE	%P	DE	%PC	DE
1	Bajo	3.36	± 0.02	0.39	± 0.01	36.93	± 0.81	84.62	± 0.96
2	Bajo	3.40	± 0.06	0.38	± 0.02	36.95	± 0.06	82.57	± 0.61
3	Bajo	4.00	± 0.56	0.39	± 0.04	35.17	± 0.71	81.32	± 0.36
4	Bajo	3.52	± 0.14	0.52	± 0.05	35.81	± 0.30	79.25	± 0.21
5	Bajo	3.57	± 0.03	0.76	± 0.02	36.66	± 0.64	78.23	± 0.02
6	Bajo	4.29	± 0.30	0.79	± 0.03	36.5	± 0.60	85.67	± 0.02
7	Bajo	3.67	± 0.18	0.94	± 0.01	38.28	± 0.11	86.67	± 0.12
8	Bajo	3.22	± 0.09	0.54	± 0.02	36.56	± 0.03	80.44	± 0.04
9	Bajo	3.43	± 0.03	0.46	± 0.03	36.77	± 0.24	82.3	± 0.05
10	Bajo	3.94	± 0.04	0.7	± 0.03	36.36	± 0.08	80.17	± 0.02
11	Bajo	3.60	± 0.02	0.62	± 0.04	34.46	± 0.06	78.35	± 0.03
12	Medio	3.49	± 0.16	0.78	± 0.03	32.95	± 0.15	88.19	± 0.03
13	Medio	3.64	± 0.04	0.74	± 0.04	35.08	± 0.04	88.17	± 0.03
14	Medio	3.55	± 0.02	0.72	± 0.02	34.29	± 0.06	88.45	± 0.06
15	Medio	4.09	± 0.03	0.85	± 0.04	34.44	± 0.09	88.15	± 0.04
16	Medio	3.61	± 0.05	0.8	± 0.04	31.9	± 0.10	87.59	± 0.06
17	Medio	3.34	± 0.05	0.4	± 0.06	33.66	± 0.12	87.88	± 0.11
18	Medio	3.96	± 0.03	0.62	± 0.07	32.13	± 0.10	87.68	± 0.06
19	Medio	3.33	± 0.06	0.62	± 0.08	30.27	± 0.13	88.6	± 0.05
20	Medio	3.22	± 0.03	0.52	± 0.06	31.51	± 0.08	82.8	± 0.05
21	Medio	3.23	± 0.03	0.48	± 0.01	32.56	± 0.02	83.14	± 0.01
22	Alto	3.56	± 0.05	0.63	± 0.03	33.19	± 0.05	90.58	± 0.18
23	Alto	3.52	± 0.04	0.75	± 0.10	33.49	± 0.09	90.65	± 0.11

%H = Humedad, %G = Grasa, %P = Proteína, %PC = Proteína Coagulable, DE = Desviación Estándar



**Figura 9.** Clasificación de muestras de acuerdo con la etiqueta del grado de calentamiento.

---

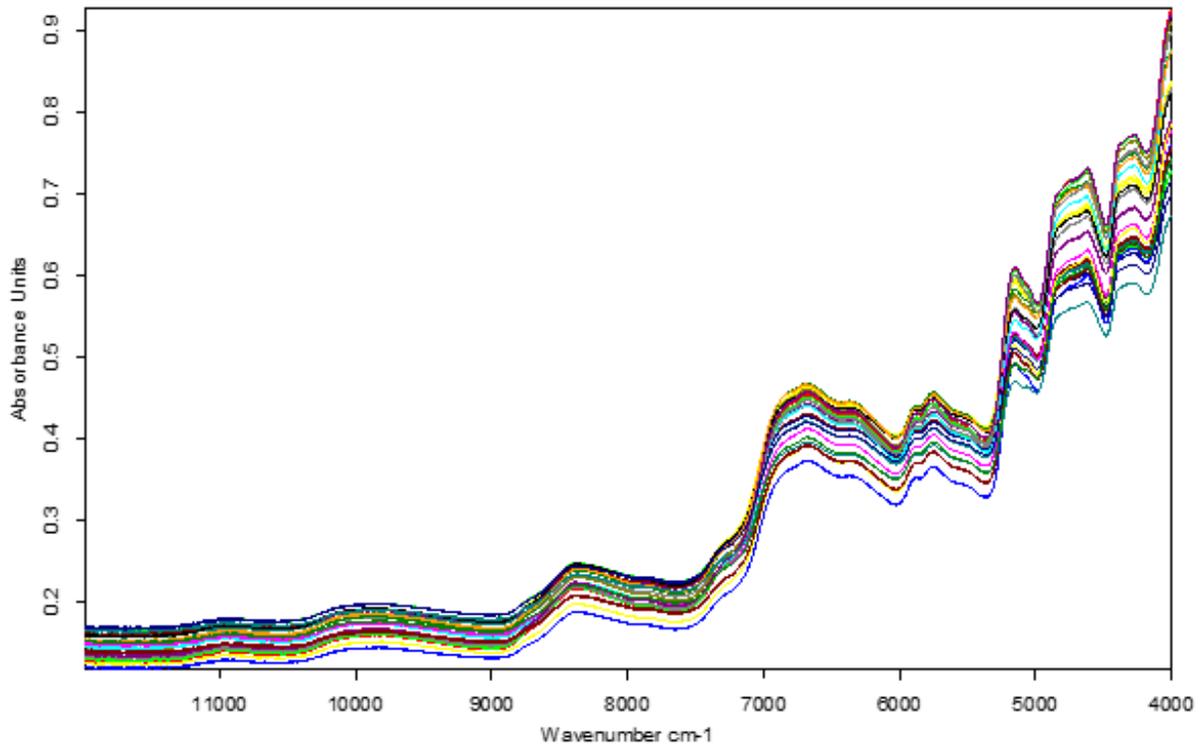
## 9.2 Curvas de calibración para la rápida detección de composición de leches descremadas en polvo

Los espectros de infrarrojo se observan en la **Figura 10**, en ella se puede apreciar una huella espectral de absorbancia sin presencia de ruido o picos extraños que indiquen una mala adquisición. Se aprecia dispersión o *scattering* típico de las muestras de LDP y que se debe a la reflexión en varias direcciones del haz de luz infrarroja. Esta dispersión es eliminada posteriormente por el procesamiento matemático como la obtención de la primera derivada, normalización vectorial o corrección multiplicativa de dispersión (también conocida como MSC) (Miller y cols., 2002). El tratamiento matemático fue evaluado y seleccionado automáticamente por el software, la elección se realizó de acuerdo con el que produjera menor RMSECV (Foldager y cols., 2020). En la **Tabla 11** se observan los modelos obtenidos de manera preliminar es posible obtener una curva de calibración para dichos parámetros al ser la  $R^2$  mayor a 0.55. La razón por la cual el valor de  $R^2$  es bajo se atribuye al escaso número de muestras. La recomendación del fabricante es tener de 50-100 muestras de manera preliminar. Usualmente los modelos comerciales emplean de 100 a 1500 puntos para construir los modelos. De acuerdo con el fabricante del equipo en los modelos predictivos elaborados con un número bajo de muestras, los factores de mayor contribución al error son: (1) la distribución de los valores de referencia a lo largo del rango de medición y; (2) errores de la medición de referencia.

Para incrementar la predicción y confiabilidad de los modelos es necesario incrementar el número de muestras. No obstante, las leches de alto grado de calentamiento tienen una baja demanda y no están disponibles en el mercado frecuentemente. Aun así, se obtuvieron curvas de calibración del fabricante sobre las que se incluyeron los valores de las 23 muestras cuyos resultados se muestran en la **Tabla 12**. Se puede apreciar como los parámetros de los modelos y la confiabilidad de las curvas de calibración mejoran notablemente como se mencionó anteriormente. Como resultado se obtuvieron curvas de calibración NIR para la estimación de parámetros como H, P, G

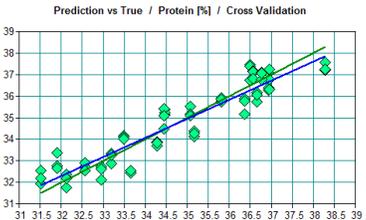
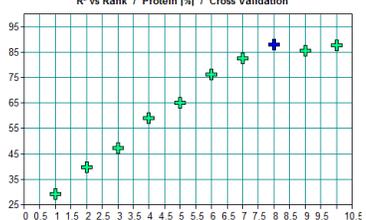
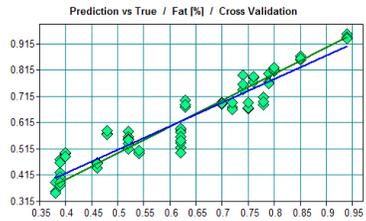
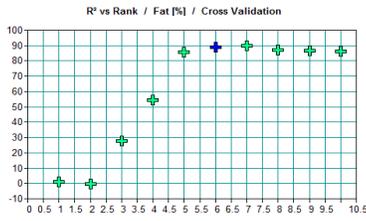
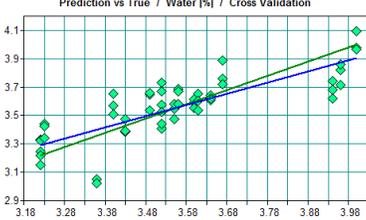
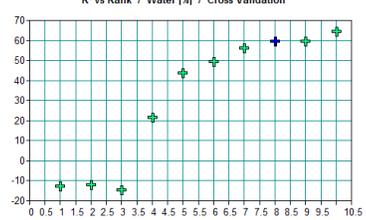
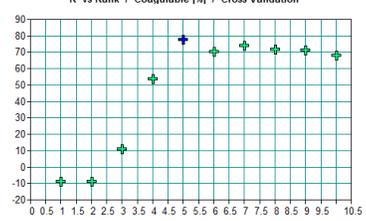
---

y PC en LDP que pueden ser empleadas para la medición de muestras en actividades de rutina con una confiabilidad suficiente para ser empleadas en control de calidad. Los parámetros de  $R^2$ , RMSECV y RPD, indican el ajuste de los datos a una curva de calibración, pero hace falta validar la curva mediante contraste de valor  $t$  para datos emparejados, con la finalidad de revisar si la curva arroja mediciones equivalentes a la medición de referencia (Miller y cols., 2002). Como se puede observar en el **Tabla 12** el modelo del fabricante no resultó adecuado para medir las muestras internas, esto es atribuible a la composición de las muestras, esto se debe a que las muestras eran de diferentes lotes y la composición cambia por temporada (Lin y cols., 2017), o también se ve afectado por el tipo de proveedor. Al no contener las muestras LDP internas, el modelo del fabricante considera sus huellas espectrales como puntos fuera de la curva u *outliers* (Temizkan y cols., 2020). Por esta razón es necesario el robustecimiento de las curvas (modelo combinado). Por otro lado, el modelo interno, aunque es capaz de medir las muestras internas, tiene una baja  $R^2$ , un RMSECV más alto y presenta una alta dispersión sobre todo en los valores de las muestras internas. Finalmente, se puede apreciar como el modelo combinado ya es capaz de predecir las muestras internas de manera correcta, sin una diferencia significativa vs el método de referencia al realizar el contraste de valores  $t$ . Esto es porque se ha aumentado tanto rango como variabilidad de muestras.



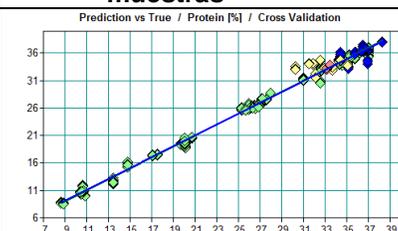
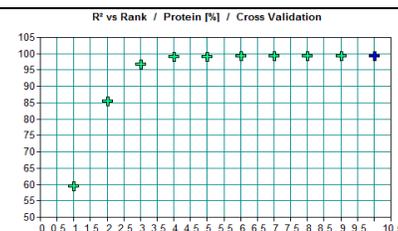
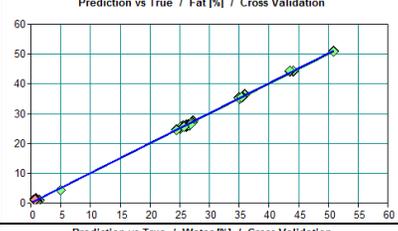
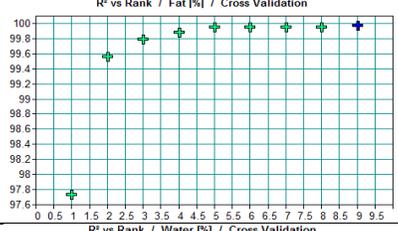
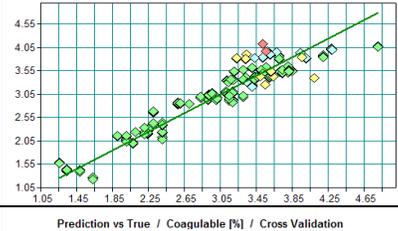
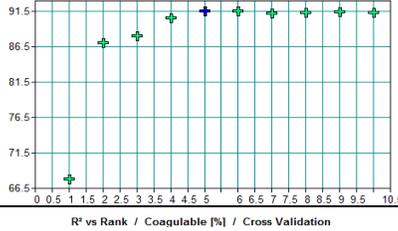
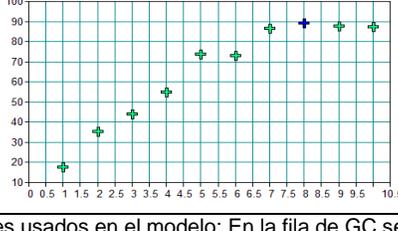
**Figura 10.** Espectros de infrarrojo cercano de las 23 muestras analizadas de LDP.

Tabla 11. Curvas de calibración obtenidas con las 23 muestras analizadas de LDP.

	Modelo Obtenido	R <sup>2</sup> vs Rango	R <sup>2</sup>	RMSEC	RPD
<b>Proteína</b>			87.90	0.66	2.88
<b>Grasa</b>			89.18	0.0528	3.04
<b>Humedad</b>			59.49	0.15	1.57
<b>Proteína Coagulable</b>			77.56	1.78	2.11

Rank = rango = número de componentes principales usados en el modelo; En la fila de PC se muestra de colores los datos de LH en azul, MH en naranja y HH en rojo.

**Tabla 12.** Curvas de calibración mejoradas mediante la inclusión de mayor número de muestras.

	Modelo con mayor número de muestras	R <sup>2</sup> vs rango	R <sup>2</sup>	RMSECV	RPD
<b>Proteína</b>			99.31	0.74	12.00
<b>Grasa</b>			99.97	0.31	53.80
<b>Humedad</b>			91.53	0.21	3.44
<b>Proteína Coagulable</b>			89.06	1.53	3.02

Rank = rango = número de componentes principales usados en el modelo; En la fila de GC se muestra de colores los datos de LH en azul, MH en naranja y HH en rojo.

---

### 9.3 Evolución de la coagulación de la Leche Descremada Reconstituida

Las curvas de cuajado con el monitoreo por medio de reología, de las 23 muestras de Leche Descremada Rehidratada (LDR), se muestran en la **Figura 11**, en donde a simple vista se puede observar los comportamientos de las LDR, con los diferentes TT. En la **Tabla 13**, se observan los parámetros de tiempo de corte, viscosidad de corte, en donde no hay resultados de la LDR con TTA, debido a que no alcanza el nivel de coagulación y la viscosidad máxima alcanzada. Al obtener estos valores se realizó un ANOVA simple, para observar si entre los diferentes TT existe una diferencia significativa. En la **Figura 12** se muestran en las gráficas de los efectos del grado de calentamiento contra tiempo de corte, grado de calentamiento contra la viscosidad de corte o grado de calentamiento contra la viscosidad máxima.

Se puede apreciar que si existe un efecto derivado del grado de calentamiento. Las leches con TTB muestran tiempos de corte ( $T_c$ ) significativamente menores ( $p > 0.05$ ) y cuajadas con viscosidad de corte y viscosidad máxima significativamente mayores ( $p > 0.05$ ) en comparación con las LDR de TTM o TTA.

Esto se debe a que la LDR, es tratada con un proceso térmico, el cual produce alteraciones fisicoquímicas, desnaturalización, afecta el proceso de coagulación y ocurre la reacción de Maillard, conocida como caramelización de la leche (Azán y cols., 2016; Schäfer y cols., 2019), que influyen en el tiempo de coagulación más prolongado, sinéresis más lenta (Curti y cols., 2019) y la formación de una cuajada más fina o débil. Estos efectos pueden modificar la textura, maduración y funcionalidad típicas del queso resultante (Strani y cols., 2021), con ello afectando la calidad del producto final (Curti y cols., 2019).

Akkerman menciona que las modificaciones de las proteínas en la leche Tratamientos Térmicos Ultra Altos (TTUA) están relacionadas con la proteólisis, las reacciones de Maillard y la formación de enlaces cruzados de proteínas. El entrecruzamiento de proteínas es otra reacción que ocurre ampliamente en la leche TTUA. La reticulación de proteínas a través de enlaces disulfuro ocurre principalmente durante el tratamiento

térmico y está relacionada con la desnaturalización de las proteínas del suero y especialmente con la formación de agregados entre  $\beta$ -Lactoglobulina y  $\kappa$ -Caseína (Akkerman y cols., 2021).

Debido a ello nos da este resultado, lo cual está relacionado con los cambios estructurales que las caseínas y las proteínas séricas desarrollan durante los tratamientos térmicos. Al aplicar una carga térmica alta a la leche se desarrollan reacciones entre las proteínas que contiene. Las proteínas séricas exponen sus dominios hidrofóbicos, agregándose o participan en reacciones de intercambio de sulfhídricos con las caseínas generando proteínas conjugadas que entorpecen la acción de la proteasa contenida en el cuajo. Esto explica la obtención de cuajadas más débiles (de menor viscosidad máxima) conforme aumenta el grado de calentamiento. Para descartar que las diferencias significativas se deben al contenido total de proteína, se estandarizaron las LDR. Los reogramas resultantes se observan en la **Figura 13**, los parámetros de cuajado obtenidos se observan en la **Tabla 14**, de igual forma la LDP con TTA, no cuenta con valores debido a que no alcanzó la coagulación. En donde de igual forma se realizó un ANOVA simple, para observar si existía una diferencia significativa, los resultados se observan en la **Figura 14**. Al obtener el ANOVA simple de las muestras estandarizadas se observa que si existe una diferencia significativa lo cual indica que se debe por el tratamiento térmico por el cual fueron tratadas las LDP y no por el contenido de proteína.

Se realizó un ANOVA simple, para observar si existen diferencias significativas entre las LDR no estandarizadas con las estandarizadas, se observa en la **Figura 15**, no se encontraron diferencias significativas entre el tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima de acuerdo con su grado de calentamiento. Por lo cual se puede concluir que no es necesaria la estandarización para los subsecuentes experimentos, debido a que la diferencia durante la coagulación, esto se debe a la desnaturalización de la proteína, que da como resultado diferencias en la velocidad de coagulación y la firmeza del coágulo. Generalmente la firmeza del gel aumenta con el nivel de proteína (Arango y cols., 2018).

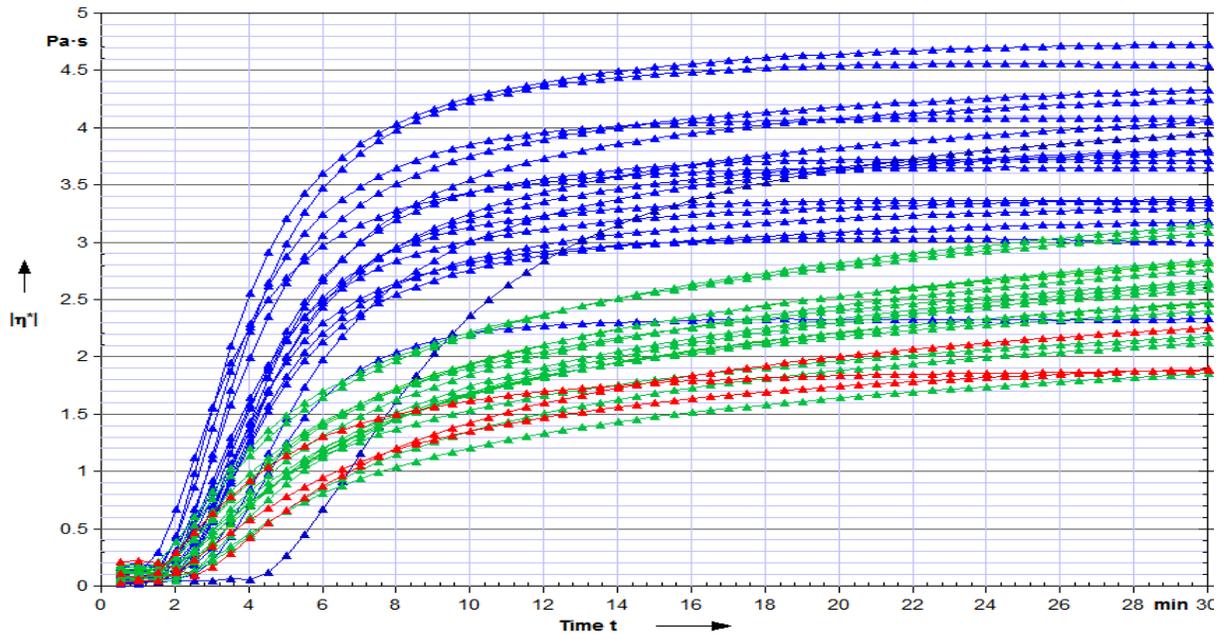
---

Posteriormente se le adiciono los fructanos de agave, inulina, con tres diferentes porcentajes diferentes (1.5, 2 y 2.5 %). En la **Tabla 15**, se pueden observar los resultados de tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima alcanzada, en donde la LDP con TTA, no llegó a su coagulación. Para saber si existía una diferencia significativa entre los valores, se realizó un ANOVA multifactorial, en donde se observó que, no existía diferencia significativa entre los TTB y TTM con el tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima alcanzada. Pero al observar la viscosidad máxima alcanzada si se observa una diferencia significativa con la LDP de TTA, esto se debe porque nunca llego a su coagulación.

La agregación de inulina era con fin en sustituir los niveles de grasa por la inulina, pero debido a que los niveles de inulina son muy bajos, como para ser sustituto de grasa. Palatnik menciona que la inulina, si cuenta mayor retención y mejora la calidad del queso, pero no contaba con la retención suficiente para darle al queso las características funcionales deseadas (Palatnik y cols., 2019).

La inulina provocó una disminución en el tiempo de corte, pero la viscosidad se ve afectada. Tal como lo indica Arango que a la sustitución de la grasa por inulina afecta la cinética de la coagulación enzimática y el tiempo de corte (Arango y cols., 2018).

La LDP, cuenta con un nivel de agregación de  $\beta$ -lactoglobulina a  $\alpha$ S<sup>2</sup> y k-caseínas, y el contenido de calcio coloidal pueden interferir con el comportamiento típico elástico y de estiramiento del queso (Tidona y cols., 2021).



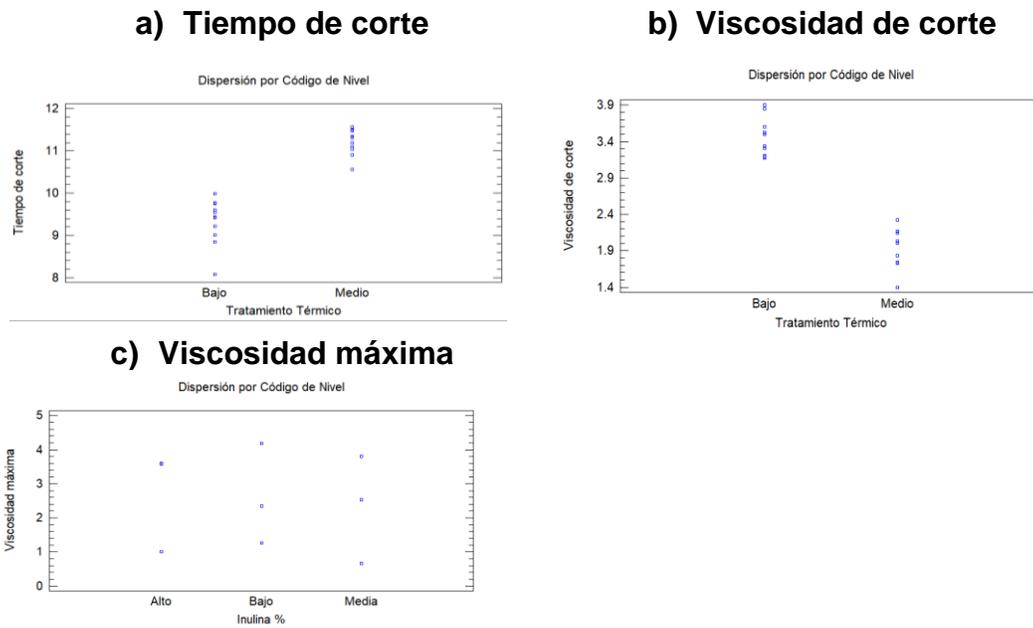
**Figura 11.** Curvas de cuajado obtenidas con las 23 muestras de LDR de acuerdo con su grado de calentamiento. Las muestras están codificadas con color de acuerdo con su grado de calentamiento.

Color azul = low heat; color verde = medium heat; color rojo = high heat.

**Tabla 13.** Parámetros de tiempo de corte, viscosidad de corte y viscosidad máxima de las 23 muestras de leche descremada en polvo (10%).

Muestra	Tratamiento Térmico	Tiempo de Corte [Min]			Viscosidad de Corte [Pa. s]			Viscosidad máxima [Pa. s]		
			±			±			±	
1	Bajo	9.22	±	0.33	3.85	±	0.32	4.22	±	0.43
2	Bajo	9.01	±	0.63	3.90	±	0.19	4.23	±	0.18
3	Bajo	9.43	±	0.41	3.34	±	0.02	3.77	±	0.10
4	Bajo	8.07	±	1.39	3.17	±	0.38	3.28	±	0.27
5	Bajo	9.76	±	0.33	3.34	±	0.22	3.78	±	0.37
6	Bajo	9.55	±	0.11	3.60	±	0.17	3.88	±	0.19
7	Bajo	9.75	±	0.15	3.31	±	1.00	3.65	±	1.14
8	Bajo	8.85	±	1.17	3.19	±	0.60	3.48	±	0.89
9	Bajo	9.60	±	3.09	3.53	±	0.44	3.86	±	0.07
10	Bajo	9.42	±	0.76	3.21	±	0.32	3.58	±	0.61
11	Bajo	9.99	±	0.70	3.50	±	0.35	3.87	±	0.07
12	Medio	11.50	±	0.29	2.01	±	0.09	2.77	±	0.12
13	Medio	11.20	±	0.18	2.03	±	0.36	2.76	±	0.52
14	Medio	10.91	±	0.07	2.17	±	0.18	2.88	±	0.21
15	Medio	11.32	±	0.24	2.32	±	0.44	3.16	±	0.51
16	Medio	11.35	±	0.64	2.17	±	0.31	2.98	±	0.42
17	Medio	11.56	±	0.69	1.74	±	0.20	2.39	±	0.24
18	Medio	11.48	±	0.79	1.40	±	0.10	1.87	±	0.17
19	Medio	11.04	±	0.44	1.73	±	0.20	2.30	±	0.39
20	Medio	11.10	±	0.06	2.14	±	0.35	2.58	±	0.46
21	Medio	10.57	±	1.31	1.83	±	0.08	2.29	±	0.32
22	Alto	-	-	-	-	-	-	2.34	±	0.51
23	Alto	-	-	-	-	-	-	1.83	±	0.36

LH = Low heat; MH = Medium Heat HH = High heat

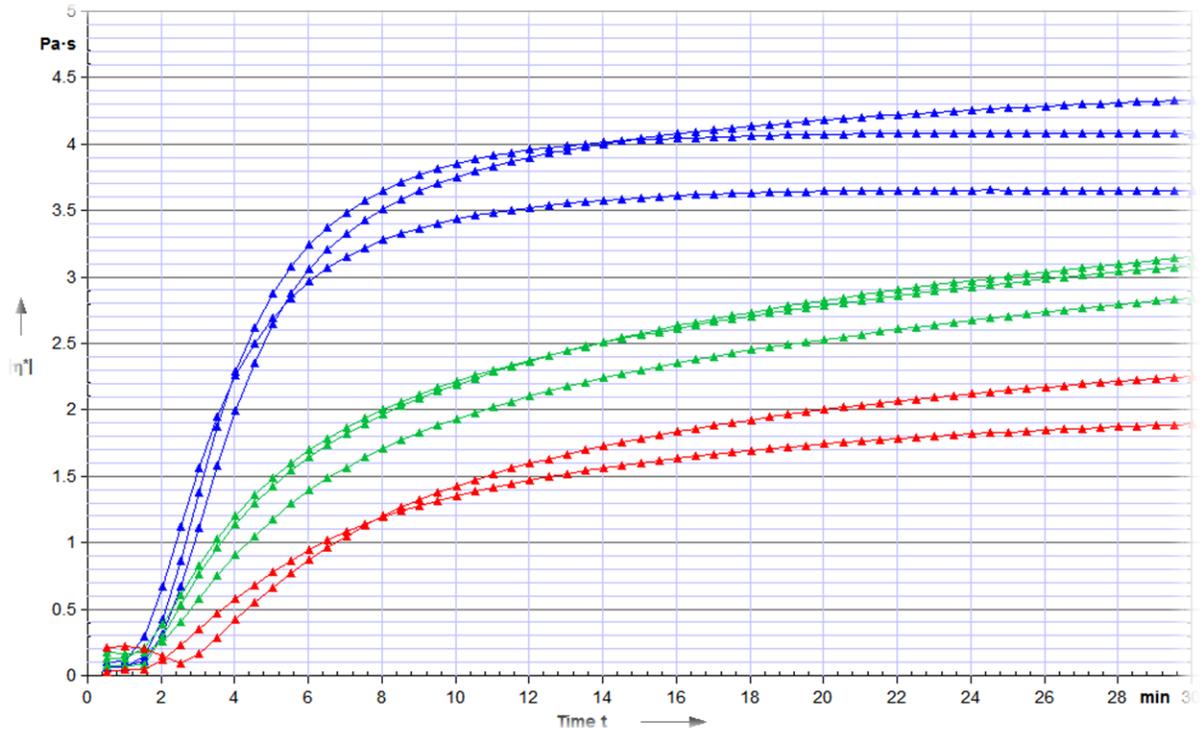


**Figura 12.** Efecto de calentamiento en parámetros reológicos de cuajado, **a)** Tiempo de corte, **b)** Viscosidad de corte y **c)** Viscosidad máxima.

**Tabla 14.** Parámetros de tiempo de corte y viscosidad máxima de las 8 muestras de leche descremada en polvo estandarizadas a 3.5% de proteína.

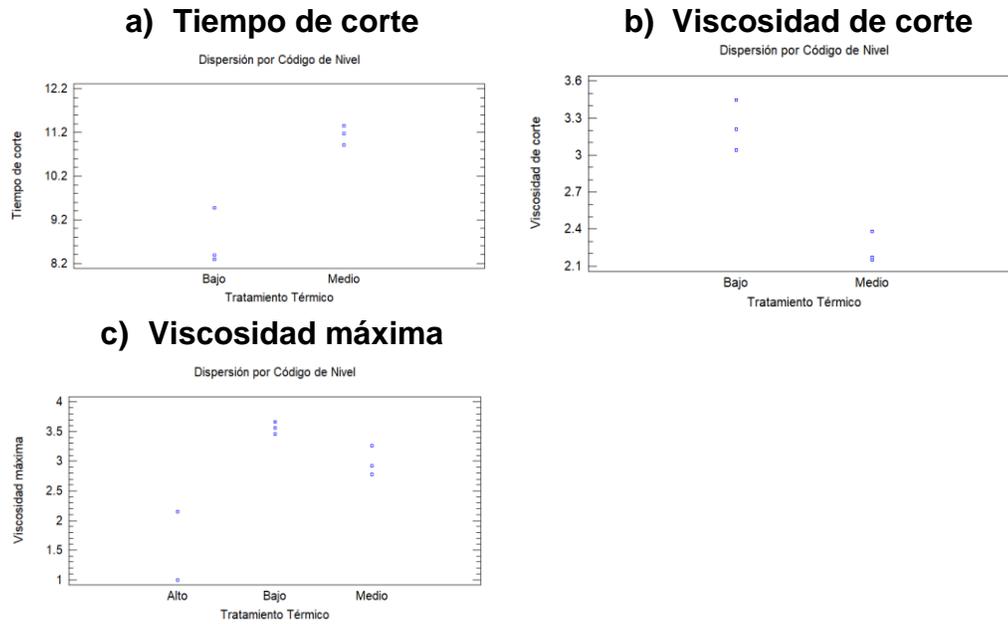
Muestra	Tratamiento Térmico	%P	Tiempo de Corte [Min]			Viscosidad de Corte [Pa. s]			Viscosidad máxima [Pa. s]		
				±			±			±	
1	Bajo	36.93	8.39	±	1.00 <sup>a</sup>	3.21	±	0.27 <sup>a</sup>	3.46	±	0.46 <sup>a</sup>
2	Bajo	36.95	8.29	±	0.44 <sup>a</sup>	3.45	±	0.14 <sup>a</sup>	3.66	±	0.46 <sup>a</sup>
3	Bajo	35.17	9.47	±	0.23 <sup>a</sup>	3.04	±	0.18 <sup>a</sup>	3.56	±	0.30 <sup>a</sup>
13	Medio	35.08	10.91	±	0.15 <sup>b</sup>	2.15	±	0.10 <sup>b</sup>	2.92	±	0.19 <sup>b</sup>
14	Medio	34.29	11.17	±	0.22 <sup>b</sup>	2.17	±	0.07 <sup>b</sup>	2.78	±	0.29 <sup>b</sup>
16	Medio	31.90	11.35	±	0.21 <sup>b</sup>	2.38	±	0.22 <sup>b</sup>	3.26	±	0.43 <sup>b</sup>
22	Alto	33.19	-	-	-	-	-	-	1.00	±	0.17 <sup>c</sup>
23	Alto	33.49	-	-	-	-	-	-	2.15	±	0.23 <sup>c</sup>

Letras diferentes entre tratamientos indican resultados significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

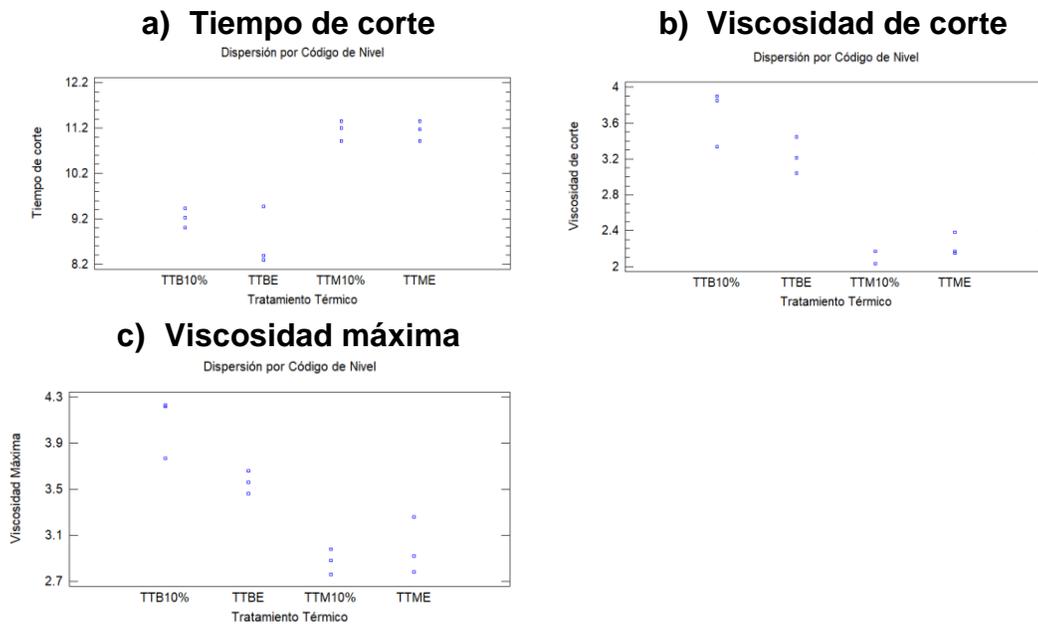


**Figura 13.** Curvas de evolución de cuajado con leches estandarizadas al 3.5% de proteína total (P).

Color azul = low heat; color verde = medium heat; color rojo = high heat.



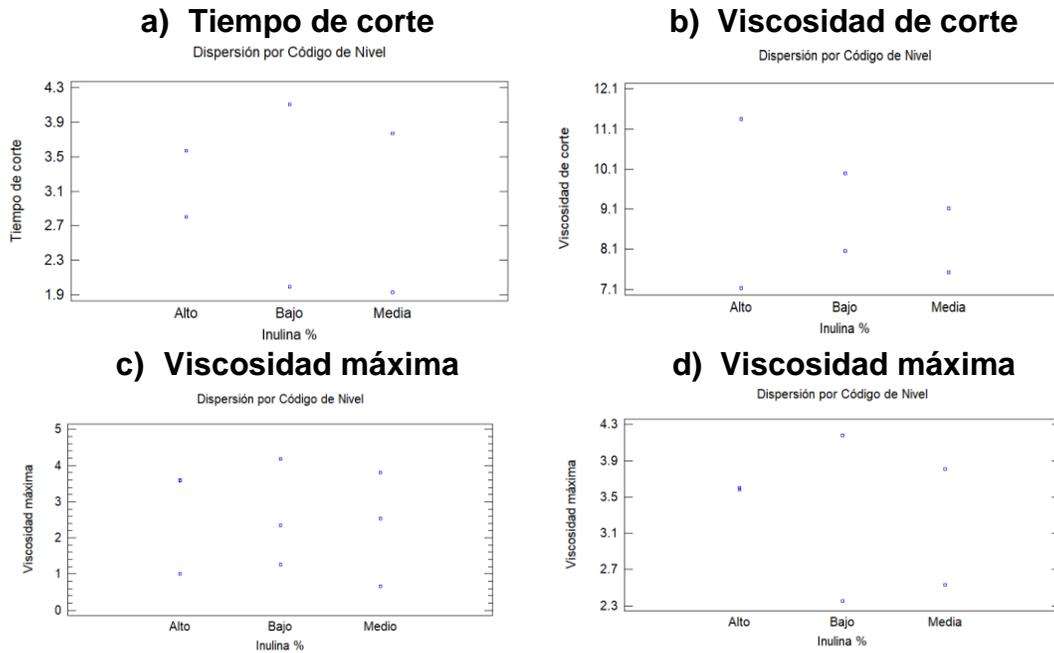
**Figura 14.** Efecto de tipo de grado de calentamiento en parámetros reológicos de cuajado de: **a)** tiempo de corte, **b)** viscosidad de corte y **c)** viscosidad máxima de leches estandarizadas al 3.5%.



**Figura 15.** Comparación de efectos de muestras estandarizadas vs no estandarizadas en parámetros de cuajado. **a)** Tiempo de corte, **b)** Viscosidad de corte y **c)** viscosidad máxima.

**Tabla 15.** Parámetros de tiempo de corte y viscosidad máxima de las 3 muestras de leche descremada en polvo con inulina.

Muestra	%Inulina	Tiempo de Corte [Min]			Viscosidad de Corte [Pa. s]			Viscosidad máxima [Pa. s]		
			±			±			±	
<b>2</b>	1.5	8.05	±	0.91	4.11	±	0.28	4.18	±	0.37
<b>2</b>	2.0	7.52	±	1.69	3.77	±	0.53	3.81	±	0.56
<b>2</b>	2.5	7.13	±	2.27	3.57	±	0.86	3.60	±	0.89
<b>13</b>	1.5	10.00	±	1.68	1.99	±	0.42	2.35	±	0.85
<b>13</b>	2.0	9.12	±	3.85	1.93	±	0.94	2.53	±	1.45
<b>13</b>	2.5	11.36	±	0.27	2.80	±	0.71	3.58	±	0.83
<b>23</b>	1.5	-	-	-	-	-	-	1.26	±	0.30
<b>23</b>	2.0	-	-	-	-	-	-	0.67	±	0.14
<b>23</b>	2.5	-	-	-	-	-	-	1.01	±	0.46



**Figura 16.** Comparación de efectos de muestras con diferentes porcentajes de inulina en parámetros de cuajado. **a)** Tiempo de corte, **b)** Viscosidad de corte, **c)** viscosidad máxima (todos los TT) **d)** Viscosidad máxima (TTB y TTM).

---

#### 9.4 Textura y rendimiento a nivel laboratorio

Se sabe que las características de la textura del queso se ven afectadas por el contenido de humedad y el grado de degradación de la caseína  $\alpha^1$  (Del Olmo y cols., 2018). Lin demuestra que todas las LDP, cuentan con un nivel de  $\kappa$ -caseína en suero más alto que el de la caseína  $\beta$  o  $\alpha$ s en suero (Lin y cols., 2017).

En la **Tabla 16**, se puede observar los valores de textura de las LDR con TTB y TTM, en donde se muestra un control y diferentes porcentajes con inulina. En donde se observa que la LDP con TTB, presenta mejor dureza que la de TTM. Se realizó un ANOVA simple, para observar si existía diferencia significativa entre los valores de textura **Figura 17**, se observó que no existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos por la textura con los diferentes porcentajes de inulina.

Lin menciona que, el tratamiento térmico dependiendo de la severidad (temperatura y tiempo), afecta el grado de desnaturalización de la proteína de suero, la unión de la proteína de suero desnaturalizada a la micela de caseína y la partición de componentes (sales, proteína de suero y caseínas) entre el suero. y fases coloidales de la leche. Estos cambios afectan las características del procesamiento de la leche, como la gelificación del cuajo, la sinéresis de estabilidad térmica de los geles de leche inducidos por el cuajo (queso), y pueden producir alteraciones en la textura y funcionalidad del queso (Lin y cols., 2017). Gulati menciona que se prefiere la LDP con TTB, para la fabricación del queso (Gulati y cols., 2019).

También se observa en la **Tabla 17**, se puede observar que, las LDP con un TTB, al utilizar el 1.5% de inulina, hubo un aumento, en el peso del queso prensado de 9%, pero al adicionarle 2.5% de inulina, el peso del queso prensado aumento en un 24% en peso del queso prensado, pero en cuanto a textura disminuyó su dureza. Las LDP con un TTM, al utilizar el 1.5% de inulina, hubo un aumento, en el peso del queso prensado de 6%, pero al adicionarle 2.5% de inulina, el peso del queso prensado aumento en un 18% en peso del queso prensado, pero de igual forma disminuyo su dureza.

---

El uso de la LDP implica la adición de grasa para estandarizar el contenido de grasa de la leche recombinaada (Tidona y cols., 2021). Esto puede resultar en una relación superficie-volumen diferente de la emulsión de aceite en agua como consecuencia del tamaño promedio de los glóbulos de grasa de la crema, que es más alto que el de la leche. Además, la diferente interacción de la grasa con la red de caseína puede modificar el proceso de coagulación y la textura de la cuajada de queso (Tidona y cols., 2021). Debido a ello se le adicióno grasa vegetal a la LDR.

En la **Tabla 18**, se puede observar los valores de textura de las LDR con TTB y TTM, en donde se muestra un control y diferentes porcentajes con inulina y la adición de grasa a todas las muestras. En donde se observa que la LDP con TTB, presenta mejor dureza que la de TTM. Se realizó un ANOVA simple, para observar si existía diferencia significativa entre los valores de textura **Figura 18**, se observó que no existe una diferencia significativa entre los resultados obtenidos por la textura con los diferentes porcentajes de inulina. En la **Tabla 19** se pueden observar los rendimientos obtenidos. Debido a que el porcentaje de inulina de 2.5%, es donde se obtuvo mejor rendimiento, es la que se utilizó para utilizarla con la formulación de grasa, pero se puede concluir que esta cantidad de inulina es muy baja, por la cual no cumple como sustituto de grasa. En cambio, al adicionarle grasa, la LDP con TTB, disminuyó su peso del queso prensado en un 4%, pero aumento la dureza en un 2%

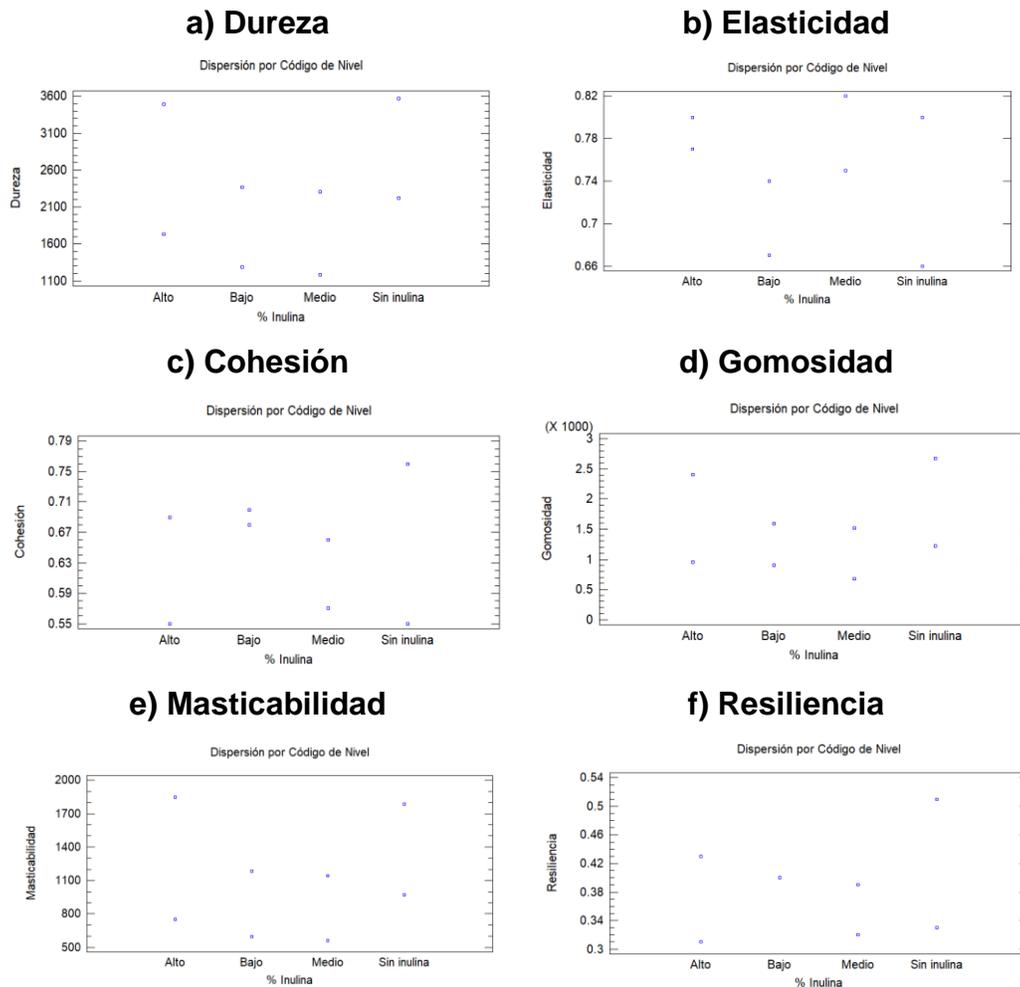
En cuanto la LDP con TTM, aumento su peso en queso prensado a un 3% y aumento su dureza en un 48%, lo que indica que la inulina en combinación con la grasa aumenta.

Se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los valores de TTB y TTM, pero al adicionarle al TTM grasa e inulina, se obtuvo una ganancia casi del 50%, lo que significa que la combinación de grasa e inulina, producen una equivalencia en las LDP TTM a las TTB.

**Tabla 16.** Textura de LDP sin grasa.

Tratamiento térmico	Inulina %	D	DE	E	DE	C	DE	G	DE	M	DE	R	DE
Bajo	0	3568.76	± 941.85	0.66	± 0.09	0.76	± 0.08	2673.14	± 550.75	1783.92	± 528.10	0.51	± 0.05
Bajo	1.5	2363.42	± 357.10	0.74	± 0.09	0.68	± 0.08	1597.52	± 280.45	1182.26	± 212.95	0.40	± 0.05
Bajo	2	2309.00	± 221.60	0.75	± 0.08	0.66	± 0.08	1524.23	± 204.39	1141.13	± 169.36	0.39	± 0.05
Bajo	2.5	3493.36	± 603.30	0.77	± 0.07	0.69	± 0.06	2405.88	± 350.66	1849.67	± 356.03	0.43	± 0.04
Medio	0	2221.22	± 168.83	0.80	± 0.13	0.55	± 0.11	1224.56	± 189.46	974.03	± 181.23	0.33	± 0.07
Medio	1.5	1281.91	± 153.34	0.67	± 0.09	0.70	± 0.08	900.89	± 172.02	596.61	± 74.66	0.40	± 0.05
Medio	2	1184.23	± 171.72	0.82	± 0.19	0.57	± 0.08	679.11	± 127.98	561.13	± 188.95	0.32	± 0.04
Medio	2.5	1735.30	± 169.13	0.80	± 0.17	0.55	± 0.09	949.09	± 149.89	750.83	± 172.94	0.31	± 0.05

D = Dureza, E = Elasticidad, C= Cohesión, G = Gomosidad, M = Masticabilidad, R = Resiliencia



**Figura 17.** Parámetros de textura de los quesos frescos con LDR, sin presencia de **GRASA**. Sin inulina = 0% de inulina, Bajo = 1.5% de inulina, Medio 2% de inulina y Alto 2.5% de inulina.

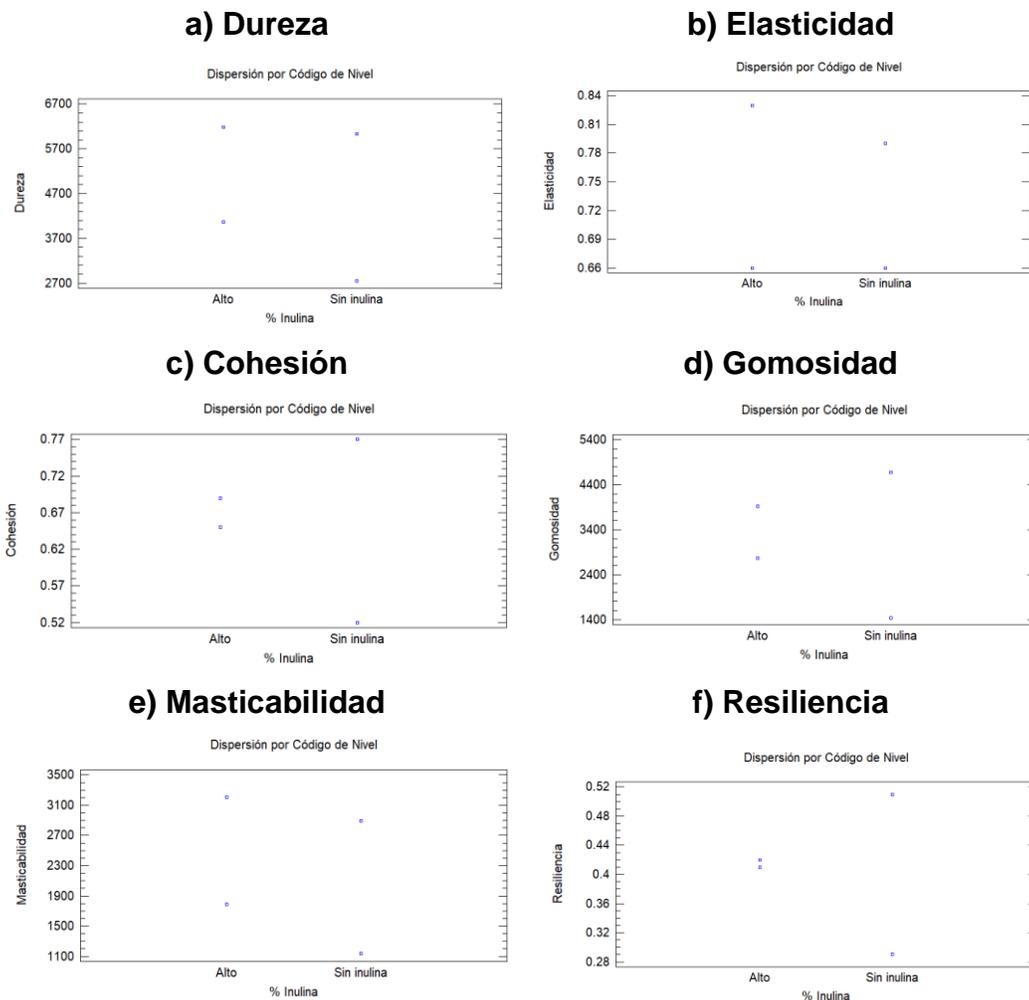
**Tabla 17.** Rendimiento de las LDP sin grasa.

Tratamiento térmico	Inulina	Mezcla	Queso prensado	Suero	Rendimiento
Unidades	[%]	[g]	[g]	[g]	[%]
<b>Bajo</b>	0	1,600	208.80	1391.20	0.13
<b>Bajo</b>	1.5	1,600	227.90	1372.10	0.14
<b>Bajo</b>	2	1,600	258.10	1341.90	0.16
<b>Bajo</b>	2.5	1,600	259.00	1341.00	0.16
<b>Medio</b>	0	1,600	234.13	1365.87	0.15
<b>Medio</b>	1.5	1,600	250.10	1349.90	0.16
<b>Medio</b>	2	1,600	267.40	1332.60	0.17
<b>Medio</b>	2.5	1,600	276.60	1323.40	0.17

**Tabla 18.** Textura de LDR con grasa vegetal.

Tratamiento térmico	Inulina %	D	DE	E	DE	C	DE	G	DE	M	DE	R	DE
<b>Bajo</b>	<b>0</b>	6026.03	± 804.57	0.66	± 0.07	0.77	± 0.07	4673.50	± 716.31	2897.68	± 557.43	0.51	± 0.05
<b>Bajo</b>	<b>2.5</b>	6178.31	± 1185.59	0.83	± 0.06	0.65	± 0.14	3919.62	± 827.59	3209.12	± 580.28	0.42	± 0.07
<b>Medio</b>	<b>0</b>	2744.78	± 301.56	0.79	± 0.04	0.52	± 0.07	1438.82	± 291.24	1135.61	± 227.10	0.29	± 0.03
<b>Medio</b>	<b>2.5</b>	4063.93	± 284.00	0.66	± 0.05	0.69	± 0.08	2768.64	± 288.65	1792.42	± 180.40	0.41	± 0.05

D = Dureza, E = Elasticidad, C= Cohesión, G = Gomosidad, M = Masticabilidad, R = Resiliencia



**Figura 18.** Parámetros de textura de los quesos frescos con LDR, sin presencia de grasa. Sin inulina = 0% de inulina, Bajo = 1.5% de inulina, Medio 2% de inulina y Alto 2.5% de inulina.

**Tabla 19.** Rendimiento de las LDP con grasa.

Tratamiento térmico	Inulina	Mezcla	Queso prensado	Suero	Rendimiento
Unidades	[%]	[g]	[g]	[g]	[%]
<b>Bajo</b>	0	1,600	223.60	1376.40	0.14
<b>Bajo</b>	2.5	1,600	215.30	1384.70	0.13
<b>Medio</b>	0	1,600	239.50	1360.50	0.15
<b>Medio</b>	2.5	1,600	249.00	1351.00	0.16

---

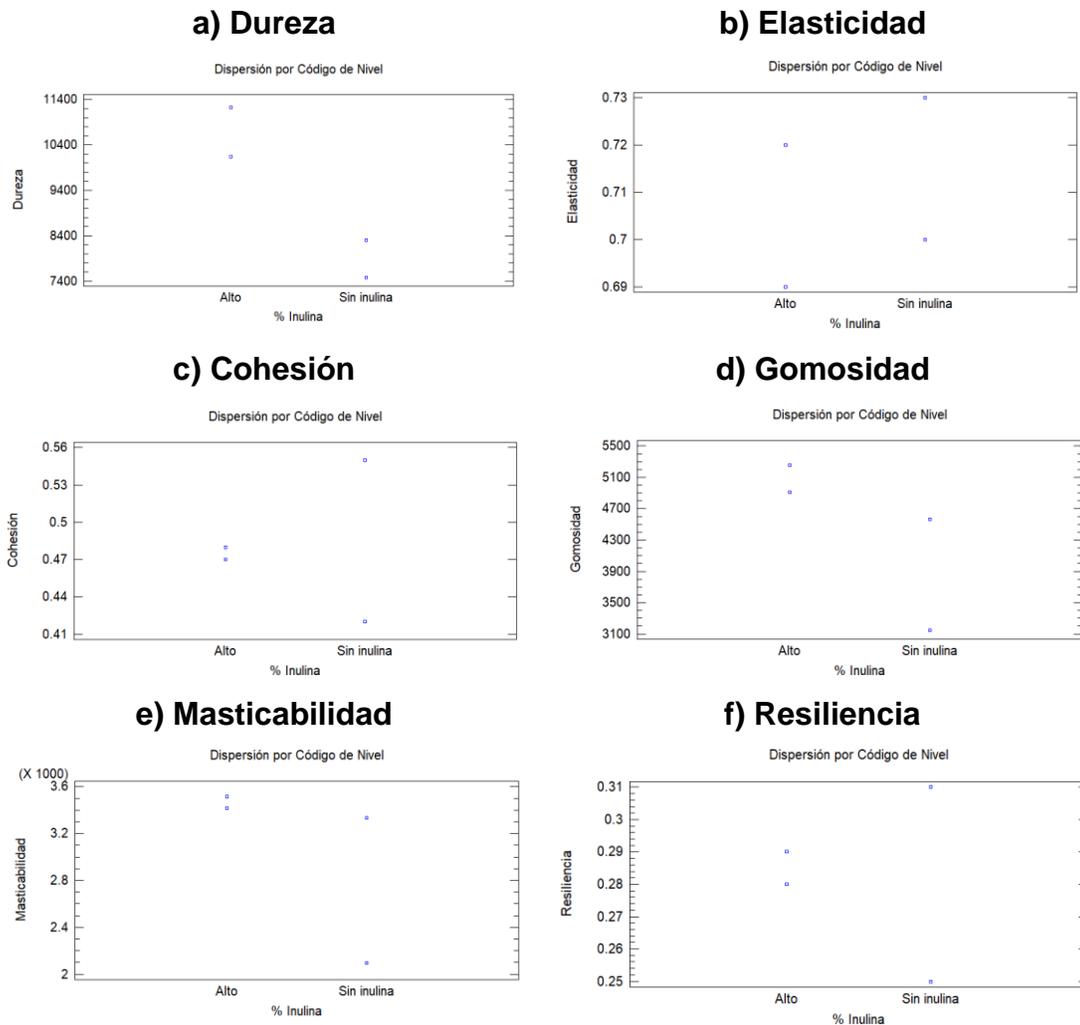
### 9.5 Textura y rendimiento nivel planta

Debido a que los datos obtenidos a nivel laboratorio fueron positivos, se realizó una escala a nivel planta, para analizar los rendimientos. En donde las LDP con TTB, se observó que, en el peso del queso prensado, disminuyó en un 3% y aumento un 22% en dureza. LDP con TTM se observó que de igual forma disminuyó en su porcentaje de queso prensado en 1%, pero aumento su dureza en un 50%. La reducción del peso del queso prensado se relaciona con que hay mejor expulsión de suero (Palatnik y *cols.*, 2019). Se puede observar tanto en la Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23, que no existe diferencia significativa entre los datos bromatológicos. Se requiere un buen conocimiento de estos efectos para lograr un control adecuado en las fases críticas para la elaboración del queso, como el tiempo de corte y el escurrimiento de la cuajada y así mejorar el rendimiento y la calidad final (Arango y *cols.*, 2018).

**Tabla 20.** Textura de LDP con grasa vegetal nivel planta.

Tratamiento térmico	Inulina %	D	DE	E	DE	C	DE	G	DE	M	DE	R	DE
Bajo	0	8307.48	± 327.66	0.73	± 0.04	0.55	± 0.05	4565.25	± 448.67	3333.81	± 342.10	0.31	± 0.02
Bajo	2.5	10135.25	± 678.03	0.72	± 0.06	0.48	± 0.07	4910.10	± 760.48	3512.40	± 348.04	0.28	± 0.04
Medio	0	7476.64	± 570.73	0.70	± 0.08	0.42	± 0.08	3143.73	± 631.02	2096.86	± 408.77	0.25	± 0.05
Medio	2.5	11224.76	± 671.45	0.69	± 0.11	0.47	± 0.07	5260.41	± 636.48	3413.73	± 679.14	0.29	± 0.04

D = Dureza, E = Elasticidad, C= Cohesión, G = Gomosidad, M = Masticabilidad, R = Resiliencia



**Figura 19.** Parámetros de textura de los quesos frescos con LDR, sin presencia de grasa, nivel planta. Sin inulina = 0% de inulina, Bajo = 1.5% de inulina, Medio 2% de inulina y Alto 2.5% de inulina.

**Tabla 21.** Rendimiento del queso con leche descremada en polvo, con tratamiento térmico bajo.

Tratamiento térmico	Inulina	Mezcla	Queso prensado	Suero	Rendimiento
Unidades	[%]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[%]
Bajo	0	50	7.41	42.60	0.15
Bajo	2.5	50	7.20	42.80	0.14
Medio	0	50	7.75	42.25	0.15
Medio	2.5	50	7.70	42.31	0.15

**Tabla 22.** Porcentajes bromatológicos de las mezclas.

Tratamiento térmico	Muestra	Inulina	Humedad	Grasa	Proteína
Unidades		[%]	[%]	[%]	[%]
Bajo	Mezcla	0	86.35	3.78	3.40
Bajo	Mezcla	2.5	85.90	3.96	3.40
Medio	Mezcla	0	85.90	3.96	3.40
Medio	Mezcla	2.5	85.90	3.96	3.40

**Tabla 23.** Porcentajes bromatológicos de queso prensado.

Tratamiento térmico	Muestra	Inulina	Humedad	Grasa	Proteína
Unidades		[%]	[%]	[%]	[%]
Bajo	Queso prensado	0	55.65	22.48	17.24
Bajo	Queso prensado	2.5	53.08	23.78	17.76
Medio	Queso prensado	0	56.00	23.00	17.90
Medio	Queso prensado	2.5	54.66	23.14	18.70

**Tabla 24.** Porcentajes bromatológicos de suero.

Tratamiento térmico	Muestra	Inulina	Humedad	Grasa	Proteína
Unidades		[%]	[%]	[%]	[%]
Bajo	Suero	0	86.92	0.50	0.94
Bajo	Suero	2.5	87.76	0.60	0.94
Medio	Suero	0	86.82	0.44	0.70
Medio	Suero	2.5	86.09	0.44	0.58

---

## 10. CONCLUSIÓN

- Se encontró que en la generación de curvas de calibración es necesario trabajar con rangos amplios y que el set de muestras de LDP, incluya muestras similares a las que van a ser analizadas. Esto tiene implicaciones en la validez del método para reconocer las muestras y arrojar valores equivalentes a la medición de referencia. También se expuso una metodología para validar curvas de calibración, que se sustenta en pruebas de contraste de valores  $t$ . Las curvas validadas por este método son útiles para su uso de rutina, con la confiabilidad de que será equivalente a valores de referencia.
- Las LDP se puede diferenciar, por su contenido de proteína coagulable total, esto se debe por los tratamientos térmicos a los cuales fueron tratadas, provocando la desnaturalización en sus proteínas.
- La LDP, con TTB, presentó mejores rendimientos para la producción de queso fresco, debido a que cuenta con menos desnaturalización en sus proteínas y sin la adición de inulina, presenta buenos rendimientos.
- La LDP con TTM, se observó que, al ser tratada con inulina, aumento significativamente en su dureza, a diferencia de la TTB y TTA.
- La LDP con TTA, a pesar de adicionarle inulina y grasa a su formulación, no presento cambios significativos para la producción del queso fresco esto se debe a que cuenta con una alteración alta en sus proteínas coagulables, por lo cual se recomienda su uso, para otros productos lácteos.

---

## 11. REFERENCIAS

1. Abebe, B., & Emire, S. (2020). Manufacture of fresh cheese using east African *Calotropis procera* leaves extract crude enzyme as milk coagulant. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4831-4842.
2. Ajmal, M., Nadeem, M., Imran, M., Abid, M., Batool, M., Khan, I. T., Gulzar N & Tayyab, M. (2018). Impact of immediate and delayed chilling of raw milk on chemical changes in lipid fraction of pasteurized milk. *Lipids in health and disease*, 17(1), 1-10.
3. Akkerman, M., Johansen, L. B., Rauh, V., Poulsen, N. A., & Larsen, L. B. (2021). Contribution of casein micelle size and proteolysis on protein distribution and sediment formation in UHT milk during storage. *International Dairy Journal*, 117, 104980.
4. Alinovi, M., Rinaldi, M., & Mucchetti, G. (2018). Spatiotemporal characterization of texture of Crescenza cheese, a soft fresh Italian cheese. *Journal of Food Quality*, 2018.
5. Andrade Moreno, R. (2017). Manual de estandarización y elaboración de quesos de pasta hilada, frescos, semimaduros y maduros en la granja del tío Mario, ubicada en la parroquia de Pomasqui de la ciudad de Quito (Doctoral dissertation, Quito: Universidad de los hemisferios, 2017).
6. Arango, O., Trujillo, A. J., & Castillo, M. (2018). Monitoring the effect of inulin, protein, and calcium on milk coagulation phases using a fibre optic sensor. *International Dairy Journal*, 81, 80-86.
7. Ardö, Y., McSweeney, P. L., Magboul, A. A., Upadhyay, V. K., & Fox, P. F. (2017). Biochemistry of cheese ripening: proteolysis. In *Cheese* (pp. 445-482). Academic Press.
8. Asaduzzaman, M., Kerschbaumer, M., Bodner, M., Haman, N., & Scampicchio, M. (2020). Short-wave near infrared spectroscopy for the quality control of milk. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 28(1), 3-9.

- 
9. Aydinol, P., & Ozcan, T. (2018). Production of reduced-fat Labneh cheese with inulin and  $\beta$ -glucan fibre-based fat replacer. *International Journal of Dairy Technology*, 71(2), 362-371.
  10. Azán Pinta, I. M., & Rodas Heredia, C. V. (2016). Evaluación del grado de desnaturalización de la proteína, calcio y fósforo de la leche durante el calentamiento utilizando un número de combinaciones de tiempo/temperatura y su influencia en la calidad y rendimiento del queso fresco elaborado (Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.).
  11. Bacigalupe, A., He, Z., & Escobar, M. M. (2017). *Effects of rheology and viscosity of biobased adhesives on bonding performance* (pp. 293-309). Boca Raton (FL): CRC Press.
  12. Baque López, E. J., & Chugchilán Veintimilla, K. P. (2019). *Evaluación de la calidad microbiológica de quesos frescos comercializados en un mercado de la provincia del Guayas y producidos en una quesera artesanal de la provincia de Chimborazo* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
  13. Blanco Cilleros, M. (2021). Modificación de la microbiota intestinal como causa de la obesidad y su tratamiento mediante el uso de probióticos y prebióticos.
  14. Bogomolov, A., y Melenteva, A. (2013). Scatter-based quantitative spectroscopic analysis of milk, fat and total protein in the region 400-1100 nm in the presence of fat globule size variability. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 126, 129-139.
  15. Boiani, M., Fenelon, M., FitzGerald, R. J., & Kelly, P. M. (2018). Use of  $^{31}\text{P}$  NMR and FTIR to investigate key milk mineral equilibria and their interactions with micellar casein during heat treatment. *International Dairy Journal*, 81, 12-18.
  16. Borràs-Novell, C., Herranz Barbero, A., Aldecoa-Bilbao, V., Feixas Orellana, G., Balcells Esponera, C., Sánchez Ortiz, E., ... & Iglesias Platas, I. (2020). Infrared analyzers for the measurement of breastmilk macronutrient content in the clinical setting. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, 20(9), 867-887.

- 
17. Budelli, E., Pérez, N., Negreira, C., & Lema, P. (2017). Evaluation of ultrasonic techniques for online coagulation monitoring in cheesemaking. *Journal of Food Engineering*, 209, 83-88.
  18. Castillo, M., Payne, F. A., Hicks, C. L., & Lopez, M. B. (2000). Predicting cutting and clotting time of coagulating goat's milk using diffuse reflectance: effect of pH, temperature and enzyme concentration. *International Dairy Journal*, 10(8), 551-562.
  19. Curbelo, Y. G. (2016). Fructanos de Agave: aditivos prebióticos con potencialidades de uso en la nutrición y salud animal. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*.
  20. Curbelo, Y. G., Iglesias, J. L., Pérez, J. T., Dorta, N. A., Salabarría, R. B., Fraga, Y. A., & Villafranca, M. H. (2017). Efecto prebiótico de fructanos de Agave fourcroydes en indicadores productivos de alevines de tilapias del Nilo GIFT (*Oreochromis niloticus*).
  21. Curti, E., Pardu, A., Del Vigo, S., Sanna, R., & Anedda, R. (2019). Non-invasive monitoring of curd syneresis upon renneting of raw and heat-treated cow's and goat's milk. *International Dairy Journal*, 90, 95-97.
  22. Darwish, A. A., Tawfek, M. A., & Baker, E. A. (2020). Texture, Sensory Attributes and Antioxidant Activity of Spreadable Processed Cheese with Adding Date Seed Powder. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 11(12), 377-383.
  23. De Guzmán, G. N. A., Fang, M. H., Liang, C. H., Bao, Z., Hu, S. F., & Liu, R. S. (2020). Near-infrared phosphors and their full potential: a review on practical applications and future perspectives. *Journal of Luminescence*, 219, 116944.
  24. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. *Industrial Enzyme Applications*, 143-166.
  25. Del Olmo, A., Picon, A., & Nuñez, M. (2018). Cheese supplementation with five species of edible seaweeds: Effect on microbiota, antioxidant activity, colour, texture and sensory characteristics. *International Dairy Journal*, 84, 36-45.

- 
26. Desglose del consumo lechero mundial (2018); Observatorio de la cadena Láctea Argentina: <http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=8>
27. Dos Santos Pereira, E. V., de Sousa Fernandes, D. D., de Araújo, M. C. U., Diniz, P. H. G. D., & Maciel, M. I. S. (2020). Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms. *LWT*, 127, 109427.
28. El sector lechero mundial: Datos; Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO): <http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>
29. El-Siddig, E. E., Abdelgadir, W. S., Kabeir, B. M., Koko, M. Y., & Ibrahim, R. A. (2018). Quality of White Cheese Made Using Moringa oleifera Leaf Extract. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 7(1), 7.
30. Espinoza-Arellano, J. D. J., Fabela-Hernández, A. M., López-Chavarría, S., & Martínez-Gómez, F. (2019). Impacto de las importaciones de leche en polvo y derivados lácteos en el precio al productor de leche de bovino en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 16(1), 123-139.
31. Foldager, L., Gaillard, C., Sorensen, M. T., Larsen, T., Matthews, E., O'flaherty, R., Carter F., Crowe, M. A., Grelet C., Salavati M., Hostens M., Ingvarsten K. L., Krogh M. A. & GplusE Consortium. (2020). Predicting physiological imbalance in Holstein dairy cows by three different sets of milk biomarkers. *Preventive veterinary medicine*, 179, 105006.
32. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2000). *Fundamentals of cheese science* (pp. 185-229). New York: Springer.
33. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2017). *Fundamentals of cheese science* (pp. 185-229). Boston, MA, USA:: Springer.
34. García-Gómez, B., Vázquez-Odériz, M. L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M. Á., & Vázquez, M. (2019). Interaction between rennet source and

- 
- transglutaminase in white fresh cheese production: Effect on physicochemical and textural properties. *LWT*, 113, 108279.
35. Gasaly, N., Riveros, K., & Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista chilena de nutrición*, 47(2), 317-327.
36. Giha, V., Ordoñez, M. J., & Villamil, R. A. (2021). How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile?. *Journal of Food Science*.
37. Grassi, S., Strani, L., Casiraghi, E., & Alamprese, C. (2019). Control and Monitoring of Milk Renneting Using FT-NIR Spectroscopy as a Process Analytical Technology Tool. *Foods*, 8(9), 405.
38. Gulati, A., Hennessy, D., O'Donovan, M., McManus, J. J., Fenelon, M. A., & Guinee, T. P. (2019). Dairy cow feeding system alters the characteristics of low-heat skim milk powder and processability of reconstituted skim milk. *Journal of dairy science*, 102(10), 8630-8647.
39. Informe SIAP, Gobierno, 2020.  
<http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20Bolet%20C3%ADn%20de%20Leche%203er%20trimestre%202019%20PDF.pdf>
40. Informe SIAP, Gobierno, 2019.  
[http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche\\_Marzo2019.pdf](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Brochure%20leche_Marzo2019.pdf)
41. Jiménez, A., Rufo, M., Paniagua, J. M., Crespo, A. T., Guerrero, M. P., & Riballo, M. J. (2017). Contributions to ultrasound monitoring of the process of milk curdling. *Ultrasonics*, 76, 192-199.
42. Katz, G., Merin, U., Bezman, D., Lavie, S., Lemberskiy-Kuzin, L., & Leitner, G. (2016). Real-time evaluation of individual cow milk for higher cheese-milk quality with increased cheese yield. *Journal of dairy science*, 99(6), 4178-4187.
43. Lara-Castellanos, M. J., Azuara, E., Jimenez-Fernandez, V. M., Luna-Solano, G., & Jimenez, M. (2021). Effect of casein replacement by modified casein on physicochemical, textural, sensorial properties and microbiological stability of fresh cheese. *International Dairy Journal*, 112, 104864.

- 
44. Lepesioti, S., Zidou, E., Lioliou, D., Moschopoulou, E., & Moatsou, G. (2021). Quark-Type Cheese: Effect of Fat Content, Homogenization, and Heat Treatment of Cheese Milk. *Foods*, 10(1), 184.
  45. Li, Q., & Zhao, Z. (2019). Acid and rennet-induced coagulation behavior of casein micelles with modified structure. *Food chemistry*, 291, 231-238.
  46. Liang, W., Zhu, Z., Yang, B., Zhu, X., & Guo, W. (2021). Detecting melamine-adulterated raw milk by using near-infrared transmission spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering*, e13685.
  47. Lin, Y., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A., & Guinee, T. P. (2017). Effect of heat treatment during skim milk powder manufacture on the compositional and processing characteristics of reconstituted skim milk and concentrate. *International Dairy Journal*, 78, 53-64.
  48. Lin, Y., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A., & Guinee, T. P. (2018). Effects of milk heat treatment and solvent composition on physicochemical and selected functional characteristics of milk protein concentrate. *Journal of dairy science*, 101(8), 6799-6813.
  49. Lin, Y., O'Mahony, J. A., Kelly, A. L., & Guinee, T. P. (2017). Seasonal variation in the composition and processing characteristics of herd milk with varying proportions of milk from spring-calving and autumn-calving cows. *Journal of Dairy Research*, 84(4), 444-452.
  50. Lucey, J. A. (2020). Milk protein gels. In *Milk proteins* (pp. 599-632). Academic Press.
  51. Lyndgaard, C. B., Engelsen, S. B., & van den Berg, F. W. (2012). Real-time modeling of milk coagulation using in-line near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 345-352.
  52. Mbye, M., Sobti, B., Al Nuami, M. K., Al Shamsi, Y., Al Khateri, L., Al Saedi, R., Saeed, M., Ramachandran T., Hamed F., & Kamal-Eldin, A. (2020). Physicochemical properties, sensory quality, and coagulation behavior of camel versus bovine milk soft unripened cheeses. *NFS Journal*, 20, 28-36.

- 
53. Milani, E., Shahidi, F., Mortazavi, S. A., & Saeedi, M. (2017). Isolation and identification of lactic acid bacteria in Kurdish cheese during ripening using 16S rRNA gene sequence analysis. *Journal of food processing and preservation*, 41(4), e13009.
54. Mohamed, H., Nagy, P., Agbaba, J., & Kamal-Eldin, A. (2021). Use of near and mid infra-red spectroscopy for analysis of protein, fat, lactose and total solids in raw cow and camel milk. *Food Chemistry*, 334, 127436.
55. Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L., Cuq, B., Desobry, S., & Scher, J. (2011). Comparative study of particle structure evolution during water sorption: skim and whole milk powders. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 87(1), 1-10.
56. NOM-155-SCFI-2012,  
URL:<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>
57. NOM-243-SSA1-2010  
URL:[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5160755](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5160755)
58. Palatnik, D., Rinaldoni, N., Corrales, D., Rolon, M. L., Montero, H., Aranibar, G., Castells M. L., Zaritzky N. & Campderrós, M. E. (2019). Development of Functional Cheeses with Fructooligosaccharides. In *Current Issues and Challenges in the Dairy Industry*. IntechOpen.
59. Panikuttira, B., Payne, F. A., O'Shea, N., Tobin, J. T., O'Callaghan, D. J., & O'Donnell, C. P. (2020). Investigation of an in-line prototype fluorescence and infrared backscatter sensor to monitor rennet-induced coagulation of skim milk at different protein concentrations. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 175-182.
60. Parmar, P., Lopez-Villalobos, N., Tobin, J. T., Murphy, E., McDonagh, A., Crowley, S. V., Kelly A. L. & Shalloo, L. (2020). The effect of compositional changes due to seasonal variation on milk density and the determination of season-based density conversion factors for use in the dairy industry. *Foods*, 9(8), 1004.

- 
61. Patil, K. R., & O'Donnell, C. P. (2018). Prediction of gel strength and cutting time during enzyme induce milk coagulation using NIR spectroscopy. *Biosystems and Food Engineering Research Review*, 23, 84.
62. Pérez Peña, T. A. (2016). Estudio reológico de quesos frescos, semimaduros y maduros con mayor presencia en autoservicios en la ciudad de Cuenca (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
63. Pérez-Soto, E., Cenobio-Galindo, A. D. J., Espino-Manzano, S. O., Franco-Fernández, M. J., Ludeña-Urquizo, F. E., Jiménez-Alvarado, R., Zepeda-Velázquez A. P. & Campos-Montiel, R. G. (2021). The Addition of Microencapsulated or Nanoemulsified Bioactive Compounds Influences the Antioxidant and Antimicrobial Activities of a Fresh Cheese. *Molecules*, 26(8), 2170.
64. Regalado Rentería, E., Godínez-Hernández, C. I., Aguirre Rivera, J. R., Camacho Ruíz, R. M., & Juárez Flores, B. I. (2021). Caracterización de fructanos de tallos de Agave salmiana Otto ex Salm Dyck y A. tequilana FAC Weber en madurez fisiológica plena. *Botanical Sciences*, 99(2), 388-397.
65. Rioluti, R., Gullifa, G., & Materazi, S. (2020). Assessing the Quality of Milk Using a Multicomponent Analytical Platform MicroNIR/Chemometric. *Frontiers in Chemistry*, 8.
66. Riu, J., Gorla, G., Chakif, D., Boqué, R., & Giussani, B. (2020). Rapid analysis of milk using low-cost pocket-size NIR spectrometers and multivariate analysis. *Foods*, 9(8), 1090.
67. Rodríguez Caballero, P. H. (2017). Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche fresca en el sector Urisanya-Qollana en época de secas, Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco, Facultad de Ciencias Agrarias, Perú.
68. Schäfer, J., Sebald, K., Dunkel, A., Hofmann, T., Rosenthal, I., Schuster, R. & Hinrichs, J. (2019). A feasibility study on the pilot scale manufacture of fresh cheese from skim milk retentates without acid whey production: Effect of calcium content on bitterness and texture. *International dairy journal*, 93, 72-80.

- 
69. Sert, D., Mercan, E., Dinkul, M., & Aydemir, S. (2021). Processing of skim milk powder made using sonicated milk concentrates: A study of physicochemical, functional, powder flow and microbiological characteristics. *International Dairy Journal*, 120, 105080.
70. Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S., & Heise, H. M. (Eds.). (2008). *Near-infrared spectroscopy: principles, instruments, applications*. John Wiley & Sons.
71. Soto, K. M., Hernández-Iturriaga, M., Loarca-Piña, G., Luna-Bárceñas, G., & Mendoza, S. (2019). Antimicrobial effect of nisin electrospun amaranth: pullulan nanofibers in apple juice and fresh cheese. *International journal of food microbiology*, 295, 25-32.
72. Strani, L., Grassi, S., Alamprese, C., Casiraghi, E., Ghiglietti, R., Locci, F., Pricca N. & De Juan, A. (2021). Effect of physicochemical factors and use of milk powder on milk rennet-coagulation: Process understanding by near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Control*, 119, 107494.
73. Strani, L., Grassi, S., Casiraghi, E., Alamprese, C., & Marini, F. (2019). Milk renneting: study of process factor influences by FT-NIR spectroscopy and chemometrics. *Food and Bioprocess Technology*, 12(6), 954-963.
74. Surber, G., Jaros, D., & Rohm, H. (2020). Shear and extensional rheology of acid milk gel suspensions with varying ropiness. *Journal of texture studies*, 51(1), 111-119.
75. Think USA Dairy, U.S. Dairy Council, (2017) Productos lácteos estadounidenses, leches en polvo, categorías en leche en polvo. URL: <https://www.thinkusadairy.org/es/inicio/productos-lacteos-estadounidenses/leches-en-polvo/categorias-de-leche-en-polvo/leche-deshidratada-sin-grasa-y-leche-descremada-en-polvo>
76. Tomar, O. (2019). The effects of probiotic cultures on the organic acid content, texture profile and sensory attributes of Tulum cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 72(2), 218-228.

- 
77. Villegas Soto, N. R., Hernández Monzón, A., & Díaz Abreu, J. A. (2018). Optimización de pasteurización de la leche y momento de corte de la cuajada para queso fresco enzimático artesanal. *Tecnología Química*, 38(2), 386-397.
78. Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy science and technology*. CRC press.
79. Wan, Z., Misra, N. N., Li, G., & Keener, K. M. (2021). High voltage atmospheric cold plasma treatment of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* K-12 on queso fresco (fresh cheese). *LWT*, 146, 111406.
80. Wang, C., Reis, M. G., Waterhouse, G. I., Hemar, Y., & Reis, M. M. (2021). Prediction of dairy powder functionality attributes using diffuse reflectance in the visible and near infrared (Vis-NIR) region. *International Dairy Journal*, 117, 104981.
81. Wang, H., Pampati, N., McCormick, W. M., & Bhattacharyya, L. (2016). Protein nitrogen determination by kjeldahl digestion and ion chromatography. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 105(6), 1851-1857.
82. Wilson, B., & Whelan, K. (2017). Prebiotic inulin-type fructans and galacto-oligosaccharides: definition, specificity, function, and application in gastrointestinal disorders. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 32, 64-68.
83. Wu, J., Chen, S., Doost, A. S., A'yun, Q., & Van der Meeren, P. (2021). Dry heat treatment of skim milk powder greatly improves the heat stability of recombined evaporated milk emulsions. *Food Hydrocolloids*, 112, 106342.
84. Zavala, A. C., Juárez-Flores, B. I., Rivera, J. R. A., Elena, R., & Portales, D. (2012). BQP-131 Extracción y purificación de fructanos de Agave Salmiana y su efecto como prebiótico, *Mixim*, 105
85. Bisig Walter and Everett David W. (2021), *Cheese and Varieties Part I: What is Cheese?* IDF Standing Committee on Dairy Science and Technology.

- 
86. Bonafede, M. F. (2017). Coagulantes en la industria láctea artesanal: análisis del cuajo de cabrito en la tecnología quesera del noroeste argentino (Doctoral dissertation).
  87. Pu, Y., Pérez-Marín, D., O'Shea, N., & Garrido-Varo, A. (2021). Recent advances in portable and handheld NIR spectrometers and applications in milk, cheese and dairy powders. *Foods*, 10(10), 2377.
  88. Strani, L., Grassi, S., Alamprese, C., Casiraghi, E., Ghiglietti, R., Locci, F., Pricca N. & De Juan, A. (2021). Effect of physicochemical factors and use of milk powder on milk rennet-coagulation: Process understanding by near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Control*, 119, 107494.
  89. Khan, A., Munir, M. T., Yu, W., & Young, B. R. (2021). Near-infrared spectroscopy and data analysis for predicting milk powder quality attributes. *International Journal of Dairy Technology*, 74(1), 235-245.
  90. Uusitalo, S., Diaz-Olivares, J., Sumen, J., Hietala, E., Adriaens, I., Saeys, W., Utriainen M., Frondelius L., Pastell M., & Aernouts, B. (2021). Evaluation of MEMS NIR Spectrometers for On-Farm Analysis of Raw Milk Composition. *Foods*, 10(11), 2686.
  91. Tang, S., Johnson, J. C., Jarto, I., Smith, B., & Morris, S. (2021). Milk Components by In-Line Fiber Optic Probe-Based FT-NIR: Commercial Scale Evaluation of a Potential Alternative Measurement Approach for Milk Payment. *Journal of AOAC International*, 104(5), 1328-1337.
  92. Ramirez-Morales, I., Aguilar, L., Fernandez-Blanco, E., Rivero, D., Perez, J., & Pazos, A. (2021). Detection of Bovine Mastitis in Raw Milk, Using a Low-Cost NIR Spectrometer and k-NN Algorithm. *Applied Sciences*, 11(22), 10751.
  93. Mohamed, H., Nagy, P., Agbaba, J., & Kamal-Eldin, A. (2021). Use of near and mid infra-red spectroscopy for analysis of protein, fat, lactose and total solids in raw cow and camel milk. *Food Chemistry*, 334, 127436.

- 
94. Zhao, X., Wang, Y., Liu, X., Jiang, H., Zhao, Z., Niu, X., ... & Li, Y. (2022). Single- and Multiple-Adulterants Determinations of Goat Milk Powder by NIR Spectroscopy Combined with Chemometric Algorithms. *Agriculture*, 12(3), 434.
  95. Chen, H., Tan, C., Lin, Z., & Wu, T. (2021). Classification of different liquid milk by near-infrared spectroscopy and ensemble modeling. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 251, 119460.
  96. Tsenkova, R., & Muncan, J. (2022). Influence of Sample Thickness and Individual Characteristics of Each Cow on Milk Composition Measurement in the Spectral Region from 700 to 1,100 nm. In *Aquaphotomics for Bio-diagnostics in Dairy* (pp. 149-158). Springer, Singapore.
  97. Lara-Castellanos, M. J., Azuara, E., Jimenez-Fernandez, V. M., Luna-Solano, G., & Jimenez, M. (2021). Effect of casein replacement by modified casein on physicochemical, textural, sensorial properties and microbiological stability of fresh cheese. *International Dairy Journal*, 112, 104864.
  98. Giha, V., Ordoñez, M. J., & Villamil, R. A. (2021). How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile?. *Journal of food science*, 86(7), 2802-2815.
  99. Handbook, D. P., & Teknotext, A. B. (1995). Tetra Pak Processing System. *AB S-221*, 86.