

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE ATENAS

ÁREA DE TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

ELABORACIÓN DE SUERO DESHIDRATADO A PARTIR DEL SUERO
RESULTANTE DEL QUESO FRESCO, FABRICADO EN LA PLANTA DE LÁCTEOS
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL, PARA CARACTERIZARLO COMO
MATERIA PRIMA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.

GABRIELA MÉNDEZ HERRERA.

GABRIELA VÍQUEZ ROMERO.

JENNIFER ARIAS ROBLES.

ATENAS, COSTA RICA

2016.

DECLARACIÓN JURADA

Nosotras Gabriela Méndez Herrera, Gabriela Víquez Romero y Jennifer Arias Robles, portadoras de la cédula de identidad número 2-07000395, 1-14730565 y 1-14220194, estudiantes de la Universidad Técnica Nacional, Sede Atenas; en la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, conocedora (s) de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio y el delito de perjurio que pueda ocasionarse ante el (la) Director (a) de Carrera y quienes constituyen el Tribunal Examinador de este trabajo de investigación, juramos solemnemente que este trabajo de investigación es una obra original respetando las leyes y que ha sido elaborada siguiendo las disposiciones exigidas por la Universidad Técnica Nacional, UTN así como con los derechos de autor.

En fe de lo anterior, firmamos en la ciudad de Atenas, al primer día del mes de setiembre del dos mil dieciséis.

Gabriela Méndez Herrera.

Cédula 2-07000395

Gabriela Víquez Romero

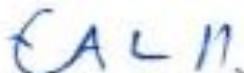
Cédula 1-14730565

Jennifer Arias Robles

Cédula 1-14220194

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Evaluador como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Tecnología de Alimentos.



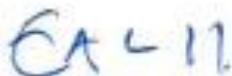
Eduardo Barrantes Guevara
Director Investigación Sede Atenas



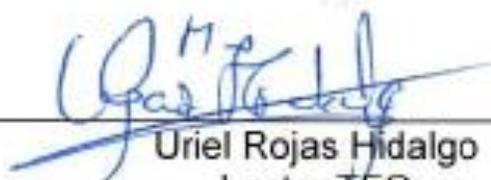
Ana Maria Bárcenas Parra
Directora de Carrera



Alejandro Corrales Azofeifa
Tutor del TFG



Eduardo Barrantes Guevara
Lector TFG



Uriel Rojas Hidalgo
Lector TFG

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la culminación de la tesis, tan importante para nuestro crecer profesional. En especial a los señores Lic. Alejandro Corrales y Lic. Jimmy Rodríguez (profesor de estadística), por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este proceso.

De igual manera agradecemos a las siguientes personas: Licda. Mauren Espinoza, a los colaboradores Alex Ortiz, Carlos Salazar, Bach. Henry Rojas, Bach. Yuliana Madrigal, Lic. Adrián Roda, Licda. Ana María Bárcenas, MSc. Uriel Rojas y MSc. Eduardo Barrantes. Por toda la colaboración y apoyo brindado.

Asimismo, se le agradece a la Universidad Técnica Nacional sede de Atenas, por la confianza y el apoyo brindado durante todo este largo camino; por ser parte importante en nuestra formación profesional de una especialidad que hoy en día ejercemos orgullosamente.

De igual forma le agradecemos a las compañías en las cuales laboramos por permitirnos ejercer esta profesión; así como brindarnos los espacios para culminar con la tesis.

DEDICATORIA.

Jennifer Arias Robles

Primero que todo le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, por ser mi fuerza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mis padres Jeannette Robles Parra y Marvin Alfaro Quirós, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una educación a pesar de las circunstancias en el transcurso de nuestras vidas y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir. De igual manera les agradezco a mis hermanas Laura Alfaro Robles y Kassandra Alfaro Robles, por estar en todo momento a mi lado y representar la unión familiar. Espero que esto sea un ejemplo para ellas en el futuro profesional.

Con el mismo amor le agradezco a mi esposo Andrés Carmona Durán, por ser parte importante en mi vida y por estar en los momentos que más lo necesito, por toda la paciencia y comprensión durante este duro camino y sobre todo le doy gracias por nuestro hermoso hijo Andrés Santiago Carmona Arias, que ha sido nuestro mayor triunfo y bendición, y es a Él a quien dedicamos cada día de nuestras vidas.

Gabriela Méndez Herrera

Primero agradecerle a Dios y a la Virgen de los Ángeles por darme salud para realizar esta tesis, a mis mayores ejemplos, los dueños de mi corazón: mi familia. Gracias, por tanto, por ser los mejores y darme tanto amor día a día, apoyarme en todo, creer en mí y decirme la palabra perfecta para salir adelante, familia los amo con todo el corazón, gracias por todo, seguiremos compartiendo y cosechando éxitos todos juntos.

Gabriela Víquez Romero

Primeramente, le agradezco profundamente a Dios por permitirme llegar a esta etapa importante de mi vida.

A mis padres, Marvin Víquez y Alexia Romero, por su increíble apoyo incondicional, y enseñarme el valor de la perseverancia, diligencia y excelencia.

A mi abuela, quien estaría orgullosa, pues fue la responsable de brindarme la virtud del esfuerzo y disciplina.

A mi novio Brayan Cordero Cruz por su colaboración, paciencia y dedicación.

Por último, a cada uno de mis familiares y amigos quienes formaron parte y brindaron el apoyo necesario para este gran logro.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>DECLARACIÓN JURADA</u>	ii
<u>HOJA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL</u>	iii
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	iv
<u>DEDICATORIA</u>	v
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	xii
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	xiii
<u>ÍNDICE DE GRÁFICOS</u>	xiv
<u>RESUMEN</u>	xv
<u>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</u>	2
<u>1.1. Justificación</u>	2
<u>1.2. Antecedentes</u>	3
<u>1.3. Objetivos</u>	8
<u>1.3.1. Objetivo General</u>	8
<u>1.3.2. Objetivos Específicos</u>	8
<u>1.4. Hipótesis</u>	9
<u>1.5. Alcances y limitaciones de la investigación</u>	10
<u>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</u>	11
<u>2.1. Queso Fresco</u>	11
<u>2.2. Proceso de elaboración de quesos</u>	12
<u>2.3. El suero</u>	14
<u>2.3.1. Tipos de Suero</u>	15
<u>2.3.1.1. Suero dulce</u>	15
<u>2.4. Suero deshidratado</u>	16

<u>2.5. El quipo deshidratador de suero modelo "35-50 LITROS"</u>	17
<u>2.5.1. Descripción del equipo</u>	18
<u>2.5.2. Inspección pre-operacional del equipo</u>	20
<u>2.5.3. Procedimiento de Operación</u>	20
<u>2.6. Secado por aspersión</u>	22
<u>2.6.1. Elementos de un desecador por aspersión</u>	25
<u>2.7. Caracterización de las propiedades físico-químicas</u>	26
<u>2.7.1. Grasa total</u>	26
<u>2.7.2. La proteína en el suero</u>	28
<u>2.7.3. Lactosa</u>	29
<u>2.7.4. Humedad</u>	33
<u>2.7.5. Cenizas</u>	34
<u>2.7.6. Nivel de pH</u>	35
<u>2.7.7. Acidez</u>	35
<u>2.8. Parámetros de calidad de proceso</u>	36
<u>2.8.1. Índice de Solubilidad</u>	36
<u>2.8.2. Partículas quemadas</u>	40
<u>2.8.3. Humectabilidad</u>	41
<u>2.9. Métodos Estadísticos</u>	43
<u>2.9.1. Intervalos de confianza</u>	44
<u>2.9.2. Desviación estándar</u>	44
<u>2.9.3. Media</u>	45
<u>2.9.4. Mediana</u>	45
<u>2.9.5. Diagramas de cajas y bigotes</u>	46
<u>2.9.6. Diagramas lineales</u>	47

2.9.7. Diagrama de columnas:	47
2.9.8. Teorema de Chebyshev:	47
2.9.9. Teorema Tstudent	48
2.9.10. Correlaciones entre variables.	49
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.	52
3.1. Localización.	52
3.2. Materia Prima.	52
3.3. Flujo grama de proceso.	53
3.4. Condiciones de Proceso.	54
3.4.1. Almacenaje:	54
3.4.2. Filtración:	54
3.4.3. Caracterización de Materia Prima:	54
3.4.4. Pre-calentamiento:	54
3.4.5. Deshidratación:	54
3.4.6. Almacenamiento:	55
3.5. Caracterización de Suero Deshidratado:	55
3.5.1. Cantidad de Grasa:	55
3.5.2. Cantidad de Proteína:	55
3.5.3. Cantidad de Lactosa:	56
3.5.4. Cantidad de Humedad:	56
3.5.5 Cantidad de Cenizas:	56
3.5.6. Nivel de pH:	56
3.5.7. Cantidad de Acidez:	57
3.5.8. Índice de Insolubilidad:	57
3.5.9. Cantidad de Partículas Quemadas:	57

<u>3.5.10. Humectabilidad:</u>	57
<u>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</u>	58
<u>4.1 Caracterización de Materia Prima</u>	58
<u>4.2. Proceso de Deshidratación de Suero lácteo</u>	58
<u>4.2.1. Temperatura de Entrada:</u>	59
<u>4.2.2. Temperatura de Salida</u>	60
<u>4.2.3. Velocidad de disco de aspersor</u>	61
<u>4.2.4. Velocidad de Alimentación</u>	62
<u>4.2.5. Velocidad de Entrada y de salida de la turbina</u>	62
<u>4.3. Caracterización del Suero Deshidratado</u>	63
<u>4.3.1. Cantidad de Grasa</u>	63
<u>4.3.2. Cantidad de Proteína</u>	64
<u>4.3.3. Cantidad de Lactosa</u>	65
<u>4.3.4. Cantidad de Humedad</u>	66
<u>4.3.5. Cantidad de Cenizas</u>	67
<u>4.3.6. Nivel de pH</u>	68
<u>4.3.7. Cantidad de Acidez</u>	69
<u>4.3.8. Cantidad de Partículas Insolubles</u>	70
<u>4.3.10. Humectabilidad</u>	71
<u>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	72
<u>5.1. Conclusiones</u>	72
<u>5.2. Recomendaciones</u>	73
<u>VI. REFERENCIAS</u>	75
<u>VII. ANEXOS</u>	81

<u>7.1. Caracterización de las propiedades físico - químicas del suero de queso fresco</u>	81
<u>7.1.1. Procedimiento de la determinación de grasa según (VELP Científica, 2016)</u>	81
<u>7.1.2. Procedimiento de la proteína según (VELP Científica, 2016)</u>	82
<u>7.1.3. Procedimiento para la determinación de lactosa</u>	85
<u>7.1.5. Procedimiento de análisis de cantidad de cenizas totales</u>	92
<u>7.1.6. Procedimiento de la determinación de acidez</u>	93
<u>7.3. Datos de pruebas de campo y resultados de laboratorio</u>	94
<u>7.3.1. Prueba de Campo A</u>	94
<u>7.3.4. pH del suero líquido</u>	102
<u>7.3.5. Análisis de Sólidos Totales en Suero Líquido</u>	103
<u>7.4. Resultados de análisis de laboratorio</u>	104
<u>7.4.1. Caracterización de las propiedades físico – químicas del suero de queso fresco</u>	104
<u>7.4.2. Variables de Proceso</u>	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción Animal de la Leche de Vaca en Costa Rica	3
Tabla 2. Descripción de variables para el desarrollo de suero deshidratado.	9
Tabla 3. Composición de Suero en Polvo	16
Tabla 4. Criterios de Composición para denominar el suero como dulce.	17
Tabla 5. Pruebas de Campo.	52
Tabla 6. Características de suero como materia prima.	58
Tabla 7. Información del proceso de deshidratación A.	94
Tabla 8. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo A.	95
Tabla 9. Información del proceso de deshidratación B.	98
Tabla 10. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo B.	98
Tabla 11. Información del proceso de deshidratación B.	100
Tabla 12. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo C.	100
Tabla 13. Resultados de pH en suero líquido.	102
Tabla 14. Resultados de análisis de sólidos totales en suero líquido.	103
Tabla 15. Resultados de análisis de grasa en suero en polvo.	104
Tabla 16. Resultados de análisis de proteína en suero en polvo.	105
Tabla 17. Resultados de análisis de lactosa en suero en polvo.	106
Tabla 18. Resultados de análisis de porcentaje de Humedad en suero en polvo.	107
Tabla 19. Resultados de análisis de cenizas en suero en polvo.	108
Tabla 20. Resultados de análisis de acidez titulable en suero en polvo.	109
Tabla 21. Resultados de análisis de pH en suero en polvo.	110
Tabla 22. Resultados de análisis partículas insolubles en suero en polvo.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de deshidratación de la UTN.....	18
Figura 2. Esquema ciclo abierto.....	24
Figura 3. Perfil típico de temperaturas dentro de un secador	24
Figura 4. Elementos de un secador por aspersión.....	26
Figura 5. Lactosa Anhídra.....	31
Figura 6. Partícula típica del secado de una etapa	38
Figura 7. Partícula típica sobre calentada.....	38
Figura 8. Partícula sobrecalentada, Secado de una etapa	39
Figura 9. Determinación de Índice de Insolubilidad.....	40
Figura 10. Digestor de Proteína.....	83
Figura 11. Unidad de Destilación.....	84
Figura 12. Resultados de análisis partículas quemadas en suero en polvo....	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Temperatura de entrada en el proceso de deshidratación	59
Gráfico 2. Temperatura de salida en el proceso de deshidratación	60
Gráfico 3. Velocidad del disco de aspersion en el proceso de deshidratación	61
Gráfico 4. Velocidad de alimentación en el proceso de deshidratación.	62
Gráfico 5. Cantidad de grasa en suero deshidratado.	63
Gráfico 6. Cantidad de proteína en suero deshidratado.	64
Gráfico 7. Cantidad de lactosa del suero deshidratado.	65
Gráfico 8. Cantidad de humedad en suero deshidratado.	66
Gráfico 9. Cantidad de cenizas en suero deshidratado.	67
Gráfico 10. Nivel de pH de Suero Deshidratado.	68
Gráfico 11. Cantidad de Acidez en Suero Deshidratado.	69
Gráfico 12. Índice de partículas insolubles en suero deshidratado.	70
Gráfico 13. Cantidad de partículas quemadas en suero deshidratado.	71

RESUMEN

La metodología utilizada para la elaboración de suero deshidratado a partir de queso fresco producido en la planta de lácteos de la Universidad Técnica Nacional (UTN) sede Atenas, propone el desarrollo para caracterizarlo como materia prima en la industria alimentaria, con el fin de aprovechar los nutrientes del lactosuero y prevenir la disposición, así como el posterior impacto de este subproducto en el ambiente.

Dicho objetivo se logra mediante la utilización de una máquina deshidratadora por aspersión, obteniendo suero en polvo. La misma fue ajustada con diferentes parámetros de control, partiendo de los establecidos en el manual del equipo para deshidratar leche. Una vez deshidratado el suero se realizaron análisis por triplicado en el producto terminado de cada repetición, las cuales se efectuaron en el laboratorio de la UTN y de una empresa dedicada a la industria láctea; dentro de los cuales se dio a conocer el contenido de grasa, proteína, lactosa, humedad, ceniza, pH, acidez, índice de solubilidad, partículas quemadas y humectabilidad, para lo cual se emplearon diferentes métodos para cada uno de los análisis.

Los datos obtenidos en los análisis de laboratorio, se compararon contra la Norma para Sueros en Polvo, CODEX STAN 289-1995 (2011); para observar el cumplimiento de la misma, ya que ésta establece las especificaciones de la composición esencial del suero en polvo. De igual manera se realizó la comparación de los resultados de parámetros de calidad, contra la teoría, para dar a conocer si el suero elaborado en la máquina de la UTN es de buena calidad.

A partir de lo anterior y utilizando los parámetros recomendados para la deshidratación, se concluye que el producto del queso fresco elaborado en la Universidad Técnica Nacional sede Atenas, cumple con las especificaciones establecidas en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995. Además, aunque el equipo de deshidratación de la universidad es de una sola etapa; se concluye que el suero en polvo es de buena calidad, siendo un potencial ingrediente en la industria alimentaria.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

Aproximadamente el 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera a nivel mundial es eliminada como lactosuero el cual retiene cerca de 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Algunas posibilidades en la utilización de este residuo han sido propuestas, pero las estadísticas indican que una importante porción de este residuo es descartada como efluente el cual crea un serio problema ambiental. (Huertas, 2009)

Es por ello que en la actualidad se busca darle un valor agregado, debido a una serie de factores que favorecen su valoración, logrando que se utilice como materia prima de productos de alto valor nutritivo y no sea únicamente desecho industrial altamente contaminante.

Según Rubio (2013), el suero que no es tratado con la tecnología de concentrar la proteína, siempre tiene lugar en diferentes industrias, por ejemplo: en elaboración de bebidas, yogur, quesos untables, embutidos, panificación, confitería e inclusive, en la industria farmacéutica.

Cabe mencionar, que la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, por semana genera aproximadamente, cerca de 3500 litros de suero en temporada alta (julio a noviembre) y 1080 litros en temporada baja (diciembre a junio), los cuales se desechan en su totalidad en la laguna de oxidación. Esto representa al año 70 mil litros de suero en temporada alta y 30 mil litros en temporada baja, para un total anual de unos 100 mil litros de suero de queso al año aproximadamente. (Espinoza, 2016)

Es por ello que esta investigación propone la utilización de los distintos nutrientes como: proteínas solubles, lactosa, grasa, vitaminas y minerales que se encuentran en el suero, esto mediante la elaboración de suero deshidratado en la planta de Lácteos de la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas y su posterior caracterización para su aprovechamiento como materia prima en otros productos de la industria alimentaria.

1.2. Antecedentes

La producción de leche se convierte en una actividad de gran impacto socio-económico para el país, tomando en cuenta su aporte al valor agregado y a la producción del sector agropecuario. Se estima que el país produjo hace seis años aproximadamente 2,4 millones de litros al día, lo que significa un total de 890 millones de litros al año, según datos suministrados por la Cámara de Productores de Leche y el Banco Central de Costa Rica. (Ministerio Agricultura y Ganadería - SEPSA, 2010)

Tabla 1. Producción Animal de la Leche de Vaca en Costa Rica

Costa Rica: Producción Anual de la leche de vaca. Valores en miles de Kg. 2004 – 2008		
Año	Producción (Miles de Kg)	Variación Anual (%)
2004	752,310.60	4.2
2005	774,621.80	3.0
2006	823,799.60	6.3
2007	864,295.40	4.9
2008	889,957.80	3.0

Fuente: Cámara Nacional de Productores de Leche de Costa Rica, con datos de BCCR. 2009. (Ministerio Agricultura y Ganadería - SEPSA, 2010)

Por otra parte, el promedio de consumo de lácteos por persona en Centroamérica no llega a los 100 kilos al año, sin embargo en el caso de los costarricenses consumen el doble en el mismo tiempo. Según la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER) del 2009 al 2013, las importaciones de lácteos crecieron un 80%. Los derivados lácteos con mejor incorporación al mercado son los quesos, debido a la diversificación del producto, la actitud positiva del consumidor nacional ante nuevos sabores y la alta resistencia del producto al transporte y distribución. (El Financiero, 2014)

Según el estudio, estas cifras de alto consumo por parte de los ticos hacen que en el mercado nacional siempre haya oportunidad para comercializar un producto nuevo. Del 2008 al 2013, las ventas de lácteos en el país crecieron un 53%, de acuerdo con datos de la consultora Euromonitor. El incremento se debe a una mayor producción nacional y también a un aumento en la oferta de productos importados. (El Financiero, 2014)

Es por ello, que el consumo anual por persona pasó de 182 litros en 2005 a 202 litros en el 2013, mientras que la producción nacional creció 18% entre 2008 y el año 2009. El mayor consumo de yogur, helados, quesos, natilla y leches saborizadas explica gran parte del incremento en las ventas de productos lácteos en general durante los últimos años y el alza en la producción lechera nacional, que pasó de 890 mil toneladas en 2009 a 1.055.000 toneladas en 2013, según datos de la Cámara Nacional de Productores de Leche. (El Financiero, 2014).

Un derivado de la leche es el queso, que es consumido a nivel mundial, cuyas características nutritivas, funcionales, textuales y sensoriales difieren entre cada tipo. Se estima más de 2000 variedades de queso entre maduros, semi-maduros y frescos. Por otra parte, la práctica en torno a la elaboración del queso ha sufrido importantes cambios, transformándola de un arte empírico, a una tecnología industrial con fuertes bases científicas. Así mismo, el queso fresco es el tipo de queso que más se consume en Costa Rica, siendo de un 90% la preferencia sobre otros tipos de quesos que se producen como el palmito, seco, maduro, entre otros. (Sánchez martínez, 2015)

El suero de queso, representa un severo impacto para el ambiente, ya que es el desecho más contaminante de la industria quesera debido a sus características físico-químicas. Las proteínas, grasa, lactosa y minerales hacen que su DBO y DQO tengan valores muy altos (40 - 60 g/L y 50 - 80 g/L respectivamente) y causa efectos nocivos como exceso en el consumo de oxígeno, eutrofización y toxicidad en cuerpos de agua, al mismo tiempo provoca impermeabilización en suelos. (Córdoba, 2013)

Por otra parte, la aplicación de suero de queso tanto líquido como en polvo, para formulación de productos va en aumento, entre los cuales se encuentran: la

formulación de cosméticos y productos farmacéuticos, leches reconstituidas, productos bajos en grasa, productos simuladores de grasa que traen como función la gelatinización, la reducción de agua, la emulsión, mejora la viscosidad y la adhesión, fórmulas de más queso para aumentar el rendimiento, en la formulación de alimento animal entre otros. El suero en polvo se comercializa en diferentes presentaciones: 12%, 34% y 80% de proteína; dulce o desmineralizado según la aplicación destinada; siendo el suero más comercial el del 12%. (Teniza, 2008)

Debido a lo anterior, se han realizado una serie de investigaciones profundas al respecto, relacionados con la tecnología de alimentos, por ejemplo: la reutilización del suero de queso a base de derivados de la industria cañera, la cual propone el desarrollo de un método para generar un producto tipo “dulce de leche”, con el fin de aprovechar los nutrientes del lactosuero y prevenir el posterior impacto que genera este subproducto al ambiente. Dicha investigación demostró que los análisis hechos al lactosuero se encuentran dentro de los parámetros físicos - químicos, para ser considerado como una materia prima de buena calidad. (Córdoba, 2013).

En el presente, se están desarrollando nuevas y diversas aplicaciones que aprovechan las propiedades funcionales de sus proteínas, especialmente aquellas relativas a su composición química. Estas propiedades son: gelificación, retención de agua, solubilidad, emulsificación, espesado, espumado, absorción y retención de lípidos, y ciertos aromas y sabores (Rubio, 2013).

Utilizando el método de deshidratación por aspersion, en el cual se demostró que el suero deshidratado podía ser utilizado como materia prima para la fabricación de bebidas, productos lácteos, panificación e incluso para volver a convertirse en queso demostrando que el uso de suero en polvo, para la formulación de queso tipo Oaxaca como sustituto de la leche en polvo, trae como beneficios aumentar el rendimiento, el cual se verá reflejado en las ganancias de la empresa y la disminución del consumo de leche en polvo. (Teniza, 2008)

Lo mencionado anteriormente, se logra por el secado por aspersion de productos líquidos, comenzando a finales del siglo 19 con las primeras patentes emitidas para el

secado de los ovoproductos. La producción de leche en polvo fue un gran paso adelante en un período en donde el uso de frigoríficos no era muy generalizado y la vida útil de la leche en consecuencia era muy baja. (Thousig & Fredsted, 2013)

En los años pioneros del secado por aspersion, se limitó el énfasis a la eliminación del agua sin tomar mucho en cuenta la deformación por calor y obteniendo de este modo un polvo seco con buenas propiedades. El secado por aspersion demostró ser una tecnología excelente para este proceso de secado. Con la pulverización de líquidos que tienen una superficie muy grande, la transferencia de calor y el transporte de masa es muy rápido y el producto sólido está protegido contra sobrecarga térmica por la evaporación del agua. (Thousig & Fredsted, 2013)

Ahora bien, no solo el secado por aspersion tiene la función de deshidratar, también están por tambor y por congelación:

a. El secado en tambor consiste en aplicar una película fina de leche sobre la superficie de un tambor previamente calentado que permite evaporar el agua y los sólidos restantes son raspados y pulverizados. (Ramos, 2014)

b. El secado por congelación consiste en el congelamiento de la leche y posteriormente pasarlo a una cámara de vacío para la sublimación. El tratamiento térmico es aplicar calor a la leche líquida para evaporar el agua presente, sin embargo este método altera las propiedades de la leche si las temperaturas o el tiempo de almacenamiento no son los adecuados. (Ramos, 2014)

Debido al poco tiempo de exposición de la leche a temperaturas altas, el secado por aspersion es el proceso más usado en la industria láctea. La leche en polvo juega un papel muy importante dentro de la industria, principalmente en los lugares donde la producción no es uniforme todo el año, es un método de elección para las regiones de difícil comunicación que no tienen mercados con productos específicos, en los países en desarrollo este producto se ha hecho muy codiciado, además de que es el producto lácteo que más se asemeja a la leche fluida (después de reconstituirla), por su composición, aroma, sabor y valor nutritivo. Sin embargo este producto es poco

producido en los países en desarrollo debido a la falta de equipos, lo que explica que este alimento tenga que ser importado de los países desarrollados (Ramos, 2014)

Por otra parte, existe un código alimentario conocido como Codex Alimentarius (por la palabra en latín), el cual se ha convertido en un punto de referencia mundial para los consumidores, los productores y elaboradores de alimentos, los organismos nacionales de control de los alimentos y el comercio alimentario internacional. Además, contribuye, a través de sus normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales, a la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos. (FAO, 2016)

En este código existe una norma para sueros en polvo, CODEX STAN 289-1995, que contiene las especificaciones de la composición esencial del suero deshidratado, las cuales fueron utilizadas en esta investigación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Elaborar suero deshidratado a partir del suero resultante de la producción de queso fresco, fabricado en la planta de lácteos de la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas, para caracterizarlo como materia prima en la industria alimentaria.

1.3.2. Objetivos Específicos.

1.3.1.1. Establecer los parámetros de proceso para lograr el deshidratado del suero producto del queso fresco, en la máquina deshidratadora de leche de la planta de lácteos de la UTN, partiendo de los parámetros de control establecidos en el manual del equipo para la deshidratación de leche.

1.3.1.2. Caracterizar las propiedades físico-químicas del producto final, tales como: pH, acidez, cenizas, grasa total, lactosa, proteína, y humedad, de acuerdo con lo establecido por la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

1.3.1.3. Analizar los parámetros de índice de insolubilidad, partículas quemadas y humectabilidad como variables de proceso.

1.4. Hipótesis.

Tabla 2. Descripción de variables para el desarrollo de suero deshidratado.

Componentes	Definición Operacional	Variables	Unidad de Medida	Hipótesis
Establecer parámetros de proceso para deshidratar suero de queso.	Establecer los parámetros de proceso partiendo de las especificaciones indicadas en el manual del equipo de secado de la Universidad.	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de entrada. • Velocidad de salida. • Alimentación. • Velocidad de Disco. • Temperatura de entrada. • Temperatura de Salida. 	<ul style="list-style-type: none"> • 30 Hz. • 40 Hz. • 14-20 Hz. • 60 Hz. • 140-220 °C. • Menor a 100°C. 	Se logra deshidratar suero de queso fresco, utilizando los parámetros establecidos en pruebas preliminares.
Caracterización del Suero deshidratado.	<p>Análisis de laboratorio para la caracterización del suero deshidratado, utilización de métodos de laboratorio establecidos.</p> <p>Análisis de laboratorio para la caracterización del suero deshidratado, adecuando los métodos de estudio de leche en polvo para análisis de suero deshidratado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de grasa. • Cantidad de Proteína. • Cantidad de humedad. • Cantidad de cenizas. • pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje (%). • Porcentaje (%). • Porcentaje (%). • Porcentaje (%). • pH 	El suero obtenido cumple con las especificaciones indicadas en el <i>CODEX STAN 289-1995 Norma para Sueros en Polvo</i> .
Estimación de indicadores de calidad de proceso.	Análisis de laboratorio para determinar las variables de calidad de proceso.	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de Partículas Insolubles. • Partículas Quemadas. • Humectabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mililitros (mL). • Miligramos (mg). • Segundos (s). 	El suero elaborado en la máquina de la UTN, cumple con los parámetros de calidad.

1.5. Alcances y limitaciones de la investigación

La presente investigación se concretó en la deshidratación y caracterización del suero producto del queso fresco de la Universidad Técnica Nacional, por lo cual se establecieron primeramente los límites de trabajo del equipo, partiendo de los parámetros de control indicados en el manual de la máquina para la deshidratación de leche; con el fin de caracterizar el producto en el laboratorio de Ciencias Básicas de la universidad, utilizando los métodos de análisis de leche en polvo. Adicionalmente se realizaron análisis en el laboratorio de una empresa dedicada a la industria láctea, adecuando uno de los métodos de leche en polvo para analizar el suero. Todo esto con el fin de dar a conocer si el suero deshidratado, producto del queso fresco elaborado en la planta de lácteos de la universidad y procesado en la máquina de secado que posee; cumple con las especificaciones estipuladas en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

Además, es importante señalar que es la primera experiencia que se realiza en la UTN con suero en el equipo existente, lo cual genera un valor agregado al comprobar que el suero producido cumple con los parámetros establecidos y además se pueden generar otro tipo de estudios a partir de este.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

La presente investigación analiza las propiedades del suero deshidratado, mediante pruebas de campo a partir de queso fresco fabricado en la planta de lácteos de la Universidad Técnica Nacional, Sede Atenas, para caracterizarlo como materia prima en la industria alimentaria.

Partiendo de ello se hace necesario ubicar al lector en aspectos esenciales que permitan comprender con mayor facilidad los elementos relacionados con el objeto de estudio de este trabajo.

2.1. Queso Fresco

Se le llama queso fresco al producto obtenido por coagulación de la leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada y descremada), constituido esencialmente por caseína de la leche en forma de gel más o menos deshidratado. Mediante este proceso se logra preservar el valor nutritivo de la mayoría de los componentes de la leche, incluidas las grasas, proteínas y otros constituyentes menores generando un sabor especial y una consistencia sólida o semisólida en el producto obtenido. (Vélez & Ramírez , 2012)

El queso fresco se obtiene por separación del suero, después de la coagulación de la leche. Su estructura consiste en una fase discreta o discontinua de materia de grasa dentro de una matriz continua de proteína altamente hidratada, tiene un pH alto, entre 6.2 y 6.5 ligeramente. Tiene alto contenido de humedad (50%-56%), debido a estas características es un producto altamente perecedero. Es elaborado con leche entera, coagulada con enzimas, también se designa como queso blanco. (Moreano, 2003)

Según Vélez y Ramírez (2012), desde el punto de vista fisicoquímico es un sistema tridimensional tipo gel, formado por caseína integrada en un complejo caseinato fosfato cálcico, el cual, por coagulación, engloba glóbulos de grasa, agua, lactosa, albúminas, globulinas, minerales, vitaminas y otras sustancias menores de la

leche, las cuales permanecen absorbidas en el sistema o se mantienen en la fase acuosa.

Hoy en día, los quesos son elaborados por razones de preservación, versatilidad, conveniencia y reducción de costos. Con los avances en la tecnología de lácteos, nuevos ingredientes como la leche en polvo, suero en forma de polvo o concentrados de proteína de suero (WPC) están disponibles, para la incorporación dentro del procesamiento del queso a través de métodos como: osmosis inversa, ultrafiltración, evaporación y tratamiento de calor, sin embargo, hay pocas investigaciones en las que el suero crudo es utilizado en dicho proceso. (Córdoba, 2013)

La práctica en torno a la elaboración del queso ha sufrido importantes cambios, transformándola de un arte empírico a una tecnología industrial con fuertes bases científicas. Dicho esto, se han identificado diversos factores como causantes de modificaciones en las propiedades del queso (propiedades fisicoquímicas, texturales, reológicas y sensoriales), entre ellos la formulación, las condiciones de proceso, almacenamiento y alteraciones provocadas por microorganismo. (Vélez & Ramírez , 2012)

2.2. Proceso de elaboración de quesos

En Costa Rica el origen del queso tipo fresco, nace de las faldas del Volcán Turrialba, esta zona es reconocida por la elaboración de quesos tipo frescos, las condiciones propias del distrito, tales como, altitud, clima y suelos han determinado el florecimiento de una cultura ganadera lechera, desde hace más de un siglo, de la cual depende más del 90% de la población. (Blanco, 2007)

El proceso de elaboración de queso es bastante simple, no obstante, involucra fenómenos físicos y químicos muy complejos ya que se trata esencialmente de un proceso de la concentración, a partir de la coagulación de la proteína mayoritaria de la leche (caseína) por la acción enzimática (cuajo) u otro coagulante de tipo ácido (comúnmente ácido lácteo). (Vélez & Ramírez , 2012)

Ahora bien, la elaboración de queso fresco en nuestro país se registra desde hace 135 años, siguiendo una técnica artesanal que ha cambiado poco a poco con los años, estipulando algunas tipologías dependiendo de la persona que lo elabore, como las características organolépticas del queso debido a los factores de; altitud, suelos, alimentación del ganado y técnicas de elaboración. (Blanco, 2007)

Por otra parte, el proceso de desuerado del queso es un elemento importante en la industria quesera, debido a que el residuo se tomará como materia prima para la deshidratación. El mismo se realiza a partir de la coagulación láctica o ácida y enzimática; según Domínguez (2007), se le dice ácida cuando es realizada por bacterias lácticas, presentes en la leche cruda o procedentes del fermento que transforma la lactosa en ácido láctico haciendo descender el pH de la leche, lo que produce la alteración de la caseína hasta la formación de un coágulo.

La coagulación enzimática se produce cuando se añade cuajo a la leche. Durante siglos se ha utilizado en quesería cuajo animal, es decir, la enzima renina extraída del cuarto estómago de los rumiantes lactantes. Esta actúa desestabilizando a la caseína, lo que da lugar a la formación de un "gel" o coágulo que engloba al suero y a los glóbulos grasos en su interior. Igualmente, su actividad proteolítica conduce a la formación de compuestos que serán utilizados por las bacterias del fermento para su multiplicación. (Domínguez, 2007)

La adición del cuajo a la leche es un punto de considerable importancia en la fabricación del queso. En los quesos frescos de coagulación fundamentalmente láctica, se utilizan pequeñas cantidades de cuajo y se opera a temperaturas bajas (15-20°C) para evitar la actividad óptima de la enzima. En este caso, el cuajo se emplea más bien para facilitar el desuerado, que por su acción coagulante o por su capacidad proteolítica a lo largo de la maduración. La leche deberá contener los fermentos lácticos para asegurar la acidificación. (Domínguez, 2007)

Dicho lo anterior, Domínguez (2007) indica que el desuerado consiste en la separación del suero que impregna el coágulo, obteniéndose entonces la parte sólida que constituye la cuajada. Para permitir la salida del suero retenido en el coágulo es

preciso recurrir a acciones de tipo mecánico, como son el cortado y el removido, cuya acción se completa mediante el calentamiento y la acidificación.

Existen tipos de desuerados, uno de ellos es el desuerado del gel ácido o láctico que al ser un coágulo cuya proteína está fuertemente desmineralizada y unida entre sí por enlaces débiles y formando redes estratificadas, su cohesión muy permeable permite que el desuerado se haga espontáneamente (sinéresis) pero no es lo intenso que en ocasiones se desea por no ser contráctil y porque su pequeña porosidad disminuye con el paso del tiempo de desuerado. (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2016)

También, es común en la industria el desuerado de gel enzimático, el cual se produce tras la formación de la red o entramado de proteínas en la coagulación enzimática, donde se forman nuevas uniones entre las fibras de proteína, sobre todo al calcio, que hacen que se acerquen unas a otras. Esto lleva a que se retraiga el coágulo y por ello sale el lactosuero que hay en el interior del entramado de proteína formado, este fenómeno se llama sinéresis, es un fenómeno espontáneo pero esta pérdida de lactosuero no es suficiente y el gel queda con mucha agua en el interior porque es poroso, sin embargo no es permeable y con el paso del tiempo de desuerado lo es menos. (Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, 2016)

2.3. El suero

El suero, lactosuero o suero de queso, es el líquido que resulta de extraer la parte del agua del gel formado en la etapa de coagulación de la leche para la elaboración de queso, según Córdoba (2013); a partir de esta definición tomamos de referencia que el suero es el sobrante de procesar la leche para producir o elaborar un producto lácteo.

Según Córdoba (2013), la cantidad de suero residual es aproximadamente de 5 a 10 veces mayor a la del queso producido, rico en proteínas (6gr de proteínas por cada litro). Sus proteínas son muy valiosas para la industria alimentaria y farmacéutica. Puesto que la producción de queso a nivel mundial origina cantidad tal de suero que equivale a 660.000 toneladas anuales de estas proteínas. Dicho lo anterior, es

importante buscar un medio de aprovechamiento del suero, por tanto, darle una finalidad efectiva y útil.

2.3.1. Tipos de Suero

Es importante conocer que el suero se clasifica en dos tipos, según su composición los cuales se describen seguidamente.

2.3.1.1. Suero dulce

Este suero se genera debido a la coagulación enzimática. Una vez que la leche alcanza la temperatura para la coagulación, se adiciona una enzima proteolítica en cantidad suficiente para que la coagulación se produzca en un tiempo determinado, tanto la temperatura y el tiempo de coagulación dependerán del tipo de queso. (Córdoba, 2013)

El efecto que ocasiona la enzima en la caseína en su división en dos partes, una hidrófila (caseinomacropéptido) y una hidrófoba (paracaseína); hace que la paracaseína forme micelas que se unan en forma de fibrillas, así establecen un conjunto o retículo de estas que aprisionan en su interior los componentes de la leche. (Córdoba, 2013)

2.3.1.2. Suero ácido

Este se produce por la coagulación ácida, se adiciona un ácido mineral u orgánico o por la acción de los microorganismos propios de la leche. Cuando el pH llega a 4.6, que corresponde al punto isoeléctrico de las caseínas, estas flocculan formando un precipitado más o menos granuloso, pero si la acidificación se da lentamente, se formará un coágulo liso y homogéneo que ocupará el volumen inicial de la leche. (Córdoba, 2013)

Los factores que participan en la coagulación ácida son: el cultivo de bacterias lácticas de la leche, la temperatura y el tiempo de duración de la coagulación, estos están íntimamente relacionados. El cultivo utilizado para la acidificación condiciona la temperatura de coagulación, si la temperatura es inferior a la óptima, el tiempo de coagulación será mayor. (Córdoba, 2013)

2.4. Suero deshidratado

Es conocido también como suero en polvo y se obtiene a través de la eliminación del agua del suero de queso. La norma para sueros en polvo CODEX (2010) define, que “Los polvos de suero son productos lácteos obtenidos del secado del suero”.

En la siguiente tabla se describen las especificaciones del suero en polvo o deshidratado, según la Norma CODEX-STAN 289-1995, por el cual, se basa la presente investigación.

Tabla 3. Composición de Suero en Polvo

Criterios	Contenido Mínimo	Contenido de Referencia	Contenido Máximo
Lactosa	n.s	61,1% (m/m)	n.s
Proteína Láctea	10,0% (m/m)	n.s	n.s
Grasa Láctea	n.s	2,0% (m/m)	n.s
Agua	n.s	n.s	5,0% (m/m)
Ceniza	n.s	n.s	9,5% (m/m)
pH (en una solución al 10%)	> 5,1	n.s	n.s

Fuente: Norma del Codex para sueros en polvo CODEX-STAN 289-1995 (Codex Alimentarius, 2010)

La denominación de los sueros cuyo contenido de grasa o lactosa estén por debajo o por encima de los niveles de contenido de referencias estipulados en la Norma para Sueros en Polvo, estará acompañada por una denominación adecuada que describa la modificación efectuada y el contenido graso, respectivamente, ya sea como parte del nombre o en un lugar prominente en el mismo campo visual. (Codex Alimentarius, 2010)

El término dulce, según CODEX (2010) deberá agregarse al nombre del suero en polvo, siempre y cuando el suero en polvo reúna los siguientes criterios en su composición:

Tabla 4. Criterios de Composición para denominar el suero como dulce.

Lactosa mínima	65%
Proteína mínima	11%
Ceniza máxima	8,5%
pH (solución al 10%)	>6,0
Acidez titulable de un máximo del 0,16%(calculado como ácido láctico)	

Fuente: Norma del Codex para sueros en polvo CODEX-STAN 289-199. (Codex Alimentarius, 2011)

Con fundamento en lo anterior, la finalidad de esta investigación es deshidratar suero resultante de la elaboración de queso, con el fin de conocer sus propiedades físico-químicas y establecer parámetros para la deshidratación de suero en el equipo que posee la sede Atenas de la UTN.

2.5. El quipo deshidratador de suero modelo "35-50 LITROS"

Fue diseñada por el Lic. Leiman Sánchez Muñoz, desarrollador de proyectos. El equipo deshidratador básicamente se compone de varias unidades funcionales que permiten extraer un alto porcentaje de agua (80-88%) al suero para entregarla deshidratada con una presentación similar a los productos en polvo que conocemos. (Sánchez, 2015)

Figura 1. Equipo de deshidratación de la UTN.



2.5.1. Descripción del equipo

Las partes que componen el equipo deshidratador que posee la sede de Atenas de la UTN, indicados en el manual según Sánchez (2015), se detallan a continuación:

a. Horno: el horno es una unidad intercambiadora indirecta en la que se calienta el aire que ingresa a la cámara de secado a una temperatura que puede oscilar 160 y 180 grados Celsius, la energía calórica requerida para extraer el agua a la leche es proporcionada por intercambiador de vapor que calienta una cámara y tuberías por la que en forma indirecta se calienta el aire que es introducido al sistema por turbinas de entrada y de salida.

b. Cámara de secado: consiste en un recipiente con las medidas adecuadas para que el aire caliente ingrese y envuelva las partículas de leche que, por ser de tamaños tan pequeños, desprenden el agua que las compone, transfiriéndose la humedad al aire

caliente, dejando las partículas con bajos porcentajes de agua que le permiten obtener una presentación seca o en polvo. La humedad es liberada al ambiente por la chimenea de salida ubicada en la turbina de salida, que se ubica sobre el ciclón. Las temperaturas de entrada y salida del secador deben ser controladas para lograr un proceso adecuado y obtener el producto con las características que se requieren.

c. **Aspersor rotativo:** sobre la cámara se ubica un disco giratorio con agujeros donde se alimenta la leche por medio de bombeo, este disco gira a muy altas revoluciones del orden superior a 10000 revoluciones por cada minuto, el objetivo de este disco es dividir la leche en partículas muy pequeñas en la que el agua se desplaza a la corteza de la partícula y el sólido en el núcleo, al entrar el agua en contacto con el aire caliente, se evapora y se desplaza con el aire hasta el medio ambiente, dejando la parte sólida de la leche casi sin humedad. Los rodamientos del aspersor son enfriados por medio de agua recirculada la que es bombeada desde el depósito del enfriador a través de una tubería de cobre, esta unidad debe encenderse desde el inicio de la puesta en marcha del equipo para mantener los rodamientos a una temperatura inferior a 80 grados Celsius.

d. **Ciclón:** el ciclón es un recipiente cónico que se ubica en la salida del secador, su objetivo es atrapar las partículas sólidas que son llevadas hasta su interior por la corriente de aire caliente, estas partículas se depositan en el recipiente del recolector o cápsulas de recolección las que deben ser vaciadas cada vez que se llenen.

e. **Unidad de alimentación de producto:** consiste en dos tanques y una bomba peristáltica. Es la encargada de realizar la alimentación de leche líquida hasta el aspersor rotativo. El tanque de mayor tamaño almacena la leche líquida para procesar, tiene una capacidad aproximada de 70 a 80 litros, el tanque pequeño almacena agua que es utilizada para realizar el arranque del equipo y para la estabilización de las temperaturas de entrada y salida del secador. La bomba peristáltica consiste en un disco giratorio en el que se disponen 4 rodillos que desplazan la leche dentro de una manguera hasta el aspersor, en este tipo de bomba la leche nunca toca partes mecánicas o impulsores con lo que no hay contaminación del producto.

f. Gabinete de control: es la unidad encargada de controlar todos los dispositivos electromecánicos que integran el equipo deshidratador. Desde el gabinete se realizan el arranque, la parada del equipo, el ajuste de las velocidades de las turbinas y del aspersor, así como el control de la alimentación del producto. En el gabinete de control están instalados los monitores de la temperatura de entrada y salida a la cámara secadora, los variadores de velocidad de cada motor y el control de marcha y paro de la unidad de calor u horno. El gabinete de control cuenta con las protecciones eléctricas de cada sistema instalado. El gabinete es alimentado con una red trifásica de 208-220 voltios con una potencia demandada de 12 kilovatios.

2.5.2. Inspección pre-operacional del equipo

Para iniciar el proceso de deshidratación en este equipo, se deben seguir diferentes indicaciones para asegurar que la deshidratación sea efectiva, dentro de las cuales, se debe realizar una inspección visual para verificar que todos los elementos están en condiciones físicas normales, de acuerdo al plan de mantenimiento. Antes de encender la máquina se debe verificar que el suministro de vapor tenga las condiciones normales para la operación, caldera encendida e intercambiador drenado, es decir, purgado; además, verificar que la presión de vapor se encuentre en 6 BAR. También, se debe realizar una inspección visual de: fajas, rodamientos del aspersor, sello de compuertas, empaques de tuberías de aire y visor de vidrio; así mismo, comprobar el nivel del agua en el tanque de suministro, verificar el estado de las mangueras, bomba peristáltica y por último posición de las llaves.

2.5.3. Procedimiento de Operación

Una vez realizada la verificación, se procede a encender la máquina, de acuerdo con los siguientes pasos:

- a. Proceder a energizar el panel de control mediante la activación del disyuntor trifásico ubicado en el tablero de distribución eléctrica y enseguida se acciona el botón verde de marcha.
- b. Realizar el encendido de la bomba del sistema de enfriamiento del aspersor, se debe comprobar la recirculación del agua abriendo la tapa del tanque para

- agua, con la llave de paso acortado se ajusta la cantidad de agua enviada hasta el aspersor para el enfriamiento de la unidad de rodamientos.
- c. Realizar el arranque de los abanicos o compresores (turbina) de salida y entrada, llevándolas hasta la velocidad requerida según las especificaciones del proceso.
 - d. Realizar el arranque del motor del aspersor, ajustando el variador de velocidad a una frecuencia de salida de 30 Hz que corresponde al 50% de la velocidad nominal de operación (RPM = 168). Esta velocidad se debe mantener hasta que la temperatura de entrada alcance el 50% o 60% de la temperatura de operación del aire de entrada a la cámara de secado, en este punto subir la frecuencia de salida hasta 65Hz, correspondiente a la velocidad nominal del aspersor.
 - e. Encender la unidad de potencia eléctrica para lograr una temperatura de entrada al secador superior a 140 grados Celsius, entre mayor sea esta temperatura (sin superar los 220 grados Celsius) mayor será la capacidad de secado del equipo.
 - f. Encendido de la bomba peristáltica suministrando agua al aspersor, cuando la temperatura de salida se aproxime a 90 grados Celsius, se alimenta agua al aspersor encendiendo la bomba y ajustando el suministro al mínimo, ir subiendo gradualmente el suministro de agua hasta que la temperatura de salida de cámara de secado se estabilice en alrededor de 70- 80 grados Celsius respectivamente. La temperatura de salida no debe superar los 100 grados Celsius.
 - g. Se realiza el cambio de agua a leche abriendo primero la llave de leche y de inmediato cerrando la llave del tanque de agua para alimentar producto al aspersor. Realizar el ajuste de la alimentación para que la temperatura se mantenga en los parámetros establecidos previamente.
 - h. Verificar la aglomeración de partículas de leche seca en el visor del ducto de salida de la cámara de secado lo que garantiza que el proceso de secado se inició correctamente.

- i. Aplicar vibración mediante mazo de hule al fondo cónico de la cámara de secado y a los ductos de salida al ciclón con una frecuencia preestablecida en procesos de prueba anteriores.
- j. Intercambiar las cápsulas de recolección de la leche seca colocada en el fondo del ciclón con una frecuencia preestablecida en los procesos de prueba y ajuste anteriores (Este dato debe ser establecido por los responsables del proceso).
- k. Monitorear constantemente todas las condiciones de las variables sujetas a control para detectar desviaciones del proceso y realizar los reajustes de manera oportuna.

Una vez concluido el proceso de secado se debe realizar la parada del equipo, esta se realiza en el sentido inverso en que se dio marcha al equipo, realizando el cambio de alimentación de leche a alimentación de agua para realizar la limpieza del disco rotativo de mangueras y tuberías de alimentación sin que se dañe el producto dentro de la cámara, se baja la velocidad del disco rotativo, se espera a que la temperatura de entrada esté en 70°C y se procede a apagar todas las unidades, procediendo a la recuperación de producto.

2.6. Secado por aspersión

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó el método para la deshidratación del suero de queso, denominado secado por aspersión, también llamado atomización, rocío o spray; es ampliamente utilizada en la industria procesadora de alimentos. La transformación de una materia en forma líquida en forma seca se logra mediante la generación de gotas minúsculas que poseen una gran área superficial para la evaporación de su humedad, el medio secante suele ser un gas caliente en gran volumen; con la suficiente energía para completar la evaporación del líquido. (Yanza, 2003)

Cualquiera que sea el sistema y el proceso, la aspersión experimenta tres fases distintas: en la primera el gas atomizante se expande adiabáticamente de la boquilla a

la cámara de secado (atmósfera), el gas sufre el efecto Joule-Thomson (proceso en el cual la temperatura de un sistema disminuye o aumenta al permitir que el sistema se expanda libremente manteniendo la entalpía constante) en este caso la temperatura cae. (Yanza, 2003)

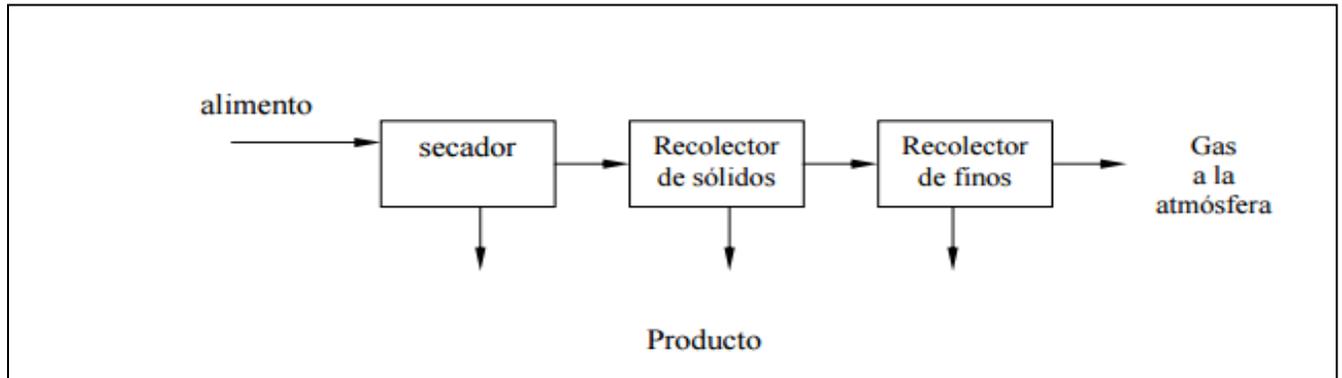
En la segunda el líquido forma gotas, durante la aspersion el área superficial específica se incrementa mil veces. Teóricamente se requiere poca energía para formar las gotas. Sin embargo, la ineficiencia mecánica, la presión y la inercia además de la perdida por viscosidad causan un elevado consumo de energía. (Yanza, 2003)

En la tercera etapa las gotas están formadas para convertirse en materia seca, durante esta fase el solvente se evapora y el diámetro de la gota decrece. La primera fase ocurre instantáneamente, la segunda dura más, calmadamente y firme (cerca de 0.1 s o menos), la tercera puede sostener un tiempo relativamente grande dependiendo de las condiciones de la aspersion, el líquido disperso y la saturación relativa del aire ambiente. El secado es controlado por medio del producto y las condiciones del aire a la entrada (flujo y temperatura). (Yanza, 2003)

Finalmente, el producto es recuperado del aire. El secador por aspersion más común es el de ciclo abierto, este sistema tiene entrada continua de aire que es calentado y usado como medio secante, limpiado por medio de ciclones o agotadores y luego liberado al ambiente. Un segundo tipo es el de ciclo cerrado, donde el aire es calentado, usado como agente secante, limpiado, secado y de nuevo usado. (Yanza, 2003)

En la siguiente imagen muestra el sistema de deshidratación de un alimento por medio del método de aspersion.

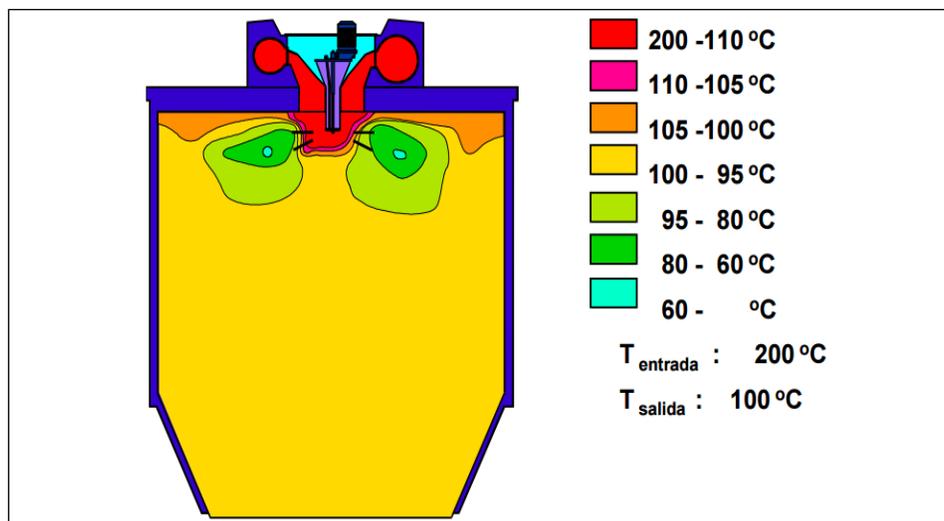
Figura 2. Esquema ciclo abierto



Fuente: (Yanza, 2003)

La siguiente imagen muestra un típico comportamiento de temperatura en un desecador donde se está realizando la deshidratación por aspersion, es importante mencionar que la temperatura de entrada puede estar entre 140°C y 220°C mientras que la temperatura de salida no puede superar los 100°C, según el manual diseñado por (Sánchez, 2015).

Figura 3. Perfil típico de temperaturas dentro de un secador



Fuente: (ANHYDRO PTS, 2016)

Un punto a controlar durante el proceso de secado es el acondicionamiento de la materia prima al incorporar el encapsulante adecuado. Estos encapsulantes deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado por aspersión y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo de la oxidación. Una ventaja adicional es que un compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado y se obtienen productos alimenticios con mejores características sensoriales y nutricionales. (Morales, Medina, Andrade, Guzmán, & Hernández, 2010)

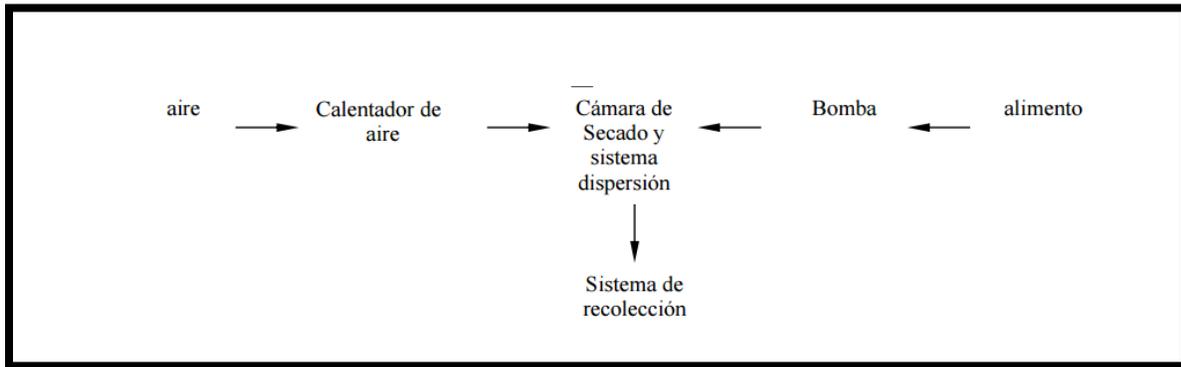
Actualmente esta operación unitaria es de gran importancia puesto que elimina casi toda el agua presente en el producto por medio de la evaporación o sublimación, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas. Además de la conservación, la reducción de peso y volumen de productos secos, con el secado también se reducen los costos y / o dificultades de embalaje de productos para su manipulación, almacenamiento y distribución. (Ramos, 2014)

2.6.1. Elementos de un desecador por aspersión

Básicamente un sistema de atomización tiene cinco elementos esenciales: un calentador de aire, una cámara de secado, un dispositivo para dispersar el material que se va a secar (boquilla), una bomba para impulsar el líquido hacia la cámara de secado y un sistema de recolección de las partículas secas en el seno del aire. (Yanza, 2003)

A continuación, se muestra una imagen representando los elementos de un desecador por aspersión.

Figura 4. Elementos de un secador por aspersión



Fuente: (Yanza, 2003)

Según muestra la figura 6, el aire entra iniciando con el aumento de temperatura, la cual debe de estar entre los 140°C y 200°C, este puede ser calentado de dos formas: indirecta o directa. Hablamos de indirecta cuando se calienta por medio de vapor, fuel, gas o aceite caliente y de directa cuando se da por medio del gas o electricidad, la forma utilizada para deshidratar el suero de queso fue el indirecto, utilizando vapor por medio de una caldera. (Yanza, 2003)

Una vez alcanzada la temperatura adecuada, es bombeado el alimento a la cámara de secado donde se fusiona con el aire y las partículas se rompen en partes diminutas hasta convertirse en polvo, según Yanza (2003) "La principal función de la cámara es encerrar el spray que se produce y asegurar que las gotas son secadas con el flujo de gas caliente, para suministrar un tiempo de residencia suficiente para evaporar la humedad" luego de esta operación son expulsadas por el sistema de dispersión al tanque, cayendo en el sistema de recolección logrando la obtención del alimento secado.

2.7. Caracterización de las propiedades físico-químicas

2.7.1. Grasa total

En la fase lipídica de la leche se encuentran tres clases de sustancias asociadas, los lípidos neutros, la materia grasa propiamente dicha, constituida por glicéridos; los

lípidos polares, fosfolípidos de naturaleza compleja; las sustancias lipóidicas o “insaponificables”, insolubles en agua, entre ellas se encuentran las vitaminas y están dispersos en la leche en forma globular. Esta dispersión es inestable y las sustancias que la componen son más fáciles de extraer. (Córdoba, 2013)

La materia grasa en la leche, es el componente que varía en mayor proporción, diversos factores influyen sobre el porcentaje graso. Su composición también varía, no son fijas las proporciones de los diferentes ácidos grasos, los fosfolípidos y las sustancias saponificables. La materia grasa se altera más lentamente que la lactosa, sus modificaciones no provocan grandes cambios en la estructura físico-química de la leche, pero son importantes por ser causa de la aparición de sabores desagradables (Córdoba, 2013).

Por tanto, para la determinación de contenido de grasa del suero deshidratado de la presente investigación, se utilizó el equipo con el que cuenta el Laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN. Este es un extractor por solvente de marca VELP, el cual trabaja de acuerdo al método de Randall.

Este método surge de la extracción Soxhlet, pues (VELP Científica, 2016) indica que es una de las técnicas analíticas más difundidas. El extractor Soxhlet ha sido modificado en distintos aspectos, en algunos casos tratando de aumentar la temperatura del solvente que entra en contacto con la mezcla a extraer, con el fin de reducir el tiempo de extracción. Las modificaciones introducidas por el químico americano Edward L.Randall se encuentran entre las más eficaces para este propósito. (VELP Científica, 2016).

Dicho método opera en dos fases, más una de recuperación del solvente destilado, permite reducir los tiempos de extracción (solvente caliente), salvaguardar la contaminación atmosférica y reducir el costo de los análisis. (VELP Científica, 2016)

El instrumento, diseñado para optimizar la operatividad manual, está equipado con un microprocesador que permite almacenar hasta 29 programas de operación; los parámetros de cada programa serán desarrollados secuencialmente, con visualización

continua de la temperatura y el tiempo restante, simultáneamente en dos displays. (VELP Scientifica, 2016)

Los principales campos de aplicación incluyen el análisis de productos alimenticios, alimentos balanceados, detergentes, formulaciones de gomas y plásticos, productos farmacéuticos, suelos y por otro lado, para el análisis del contenido de productos solubles como, por ejemplo: grasas, tensoactivos, plastificantes y pesticidas. (VELP Scientifica, 2016)

2.7.2. La proteína en el suero

La mezcla de proteínas en el suero, posee amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales, concretamente, suponen alrededor del 20% de las proteínas de la leche, siendo su principal componente la β -lactoglobulina con cerca de 10% y α -lactoalbúmina con 4% de toda la proteína láctea, además, contiene otras proteínas como albúminas séricas, proteopeptonas, inmunoglobulinas y otras. (Córdoba, 2013)

A pesar de que el suero líquido contiene un bajo porcentaje de ellas (0.6%), poseen una calidad nutritiva superior a las de la caseína que conforman el queso, ya que son ricas en aminoácidos azufrados, con un buen porcentaje de grupos sulfhídrico, triptófano y lisina. (Córdoba, 2013)

Además, estas proteínas son fuente de aminoácidos esenciales en comparación con proteínas de otros alimentos, posee >400 mg de aminoácidos por gramo de proteína con respecto al huevo (400 mg/g), la carne y la soya (<400 mg/g). Contienen aminoácidos de cadena larga como la valina, leucina e isoleucina, estos juegan un rol muy importante en el control del peso, ya que actúan como reguladores metabólicos en la homeostasis de proteínas, glucosa y en el metabolismo de las grasas del cuerpo. (Córdoba, 2013)

Por otra parte, para dicha investigación se determinó la cantidad de proteína en el suero deshidratado, con el equipo que posee el Laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN, marca VELP Scientifica, el cual utiliza el método de Kjeldahl.

El primer paso en el análisis de Kjeldahl es la digestión. El objetivo es romper los lazos que mantienen juntos los polipéptidos y los convierten en moléculas más simples. Estas reacciones se pueden acelerar con la temperatura (cuanto mayor es la temperatura utilizada, más rápida será la digestión que se puede conseguir) con la presencia de ácido, sal y catalizadores. (VELP Scientifica, 2016).

En esta técnica se digieren las proteínas y otros componentes orgánicos de los alimentos en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte mediante esta digestión en sulfato de amonio. La mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato así formado se titulan con H₂SO₄ estandarizado para determinar el nitrógeno contenido en la muestra. (ver anexo 7.1.2). (JP SELECTA S.A, 2012)

2.7.3. Lactosa

La lactosa, el llamado azúcar de la leche, es un disacárido natural con peso molecular de 342 g/mol. La lactosa está formada por la unión β (1-4) de la β -D-galactopiranososa (galactosa) y la α o β -D-glucopiranososa (glucosa). Existe bajo dos formas isómeras: α y β , que se diferencian estructuralmente sólo en la posición del -OH en el carbono monomérico de la glucosa. Sin embargo, difieren apreciablemente en sus propiedades físicas, lo que conduce a que tengan distintas aplicaciones. (Kreczmann, y otros, 2015)

La lactosa en el suero tiene varias propiedades interesantes, presenta poder edulcorante (20 a 30% del poder edulcorante de la sacarosa), capacidad de fijación de aromas y de adsorción de pigmentos, temperatura de caramelización superior a la de otros azúcares, poder emulsificante y agregante, solubilidad en agua, reducida

higroscopicidad, aumento de la presión osmótica, alta estabilidad (química, física y microbiológica) ante la humedad. Estos aspectos le brindan a la lactosa amplios usos industriales. (Córdoba, 2013).

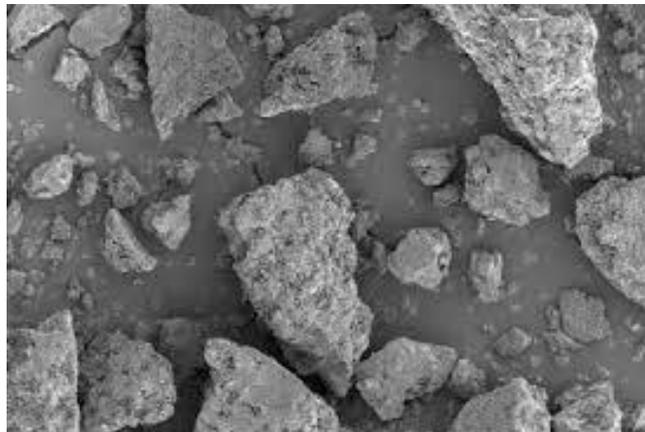
En la industria farmacéutica, su propiedad agregante es aprovechada como excipiente en la elaboración de píldoras y grageas, como aditivo para medio de cultivos y en leches maternizadas. En la industria química y alimentaria se emplea para incrementar la viscosidad y mejorar la textura, como soporte de salsas y sopas, en productos de repostería, panadería, confitería, bebidas, cárnicos, alimentos infantiles, alimentos bajos en calorías y como fuente de galactosa (azúcar que entra a formar parte en los cerebróxidos, lípidos presentes en gran cantidad en el tejido nervioso) en alimentos infantiles. (Córdoba, 2013).

Existen tres tipos de lactosa, las cuales se describen a continuación:

2.7.3.1. Lactosa anhidra

Este tipo de lactosa se seca rápidamente a altas temperaturas para obtener lactosa en estado anhidra. La misma proporciona la mejor compactibilidad de todos los grados de lactosa, y es muy adecuada para aplicaciones de compresión directa. Debido a la ausencia de agua de cristalización, la lactosa anhidra también es adecuada en formulaciones que contienen fármacos sensibles a la humedad. Es la modalidad de lactosa recomendada para la granulación por vía seca, porque su carácter quebradizo permite volver a compactarla sin perder compresibilidad. (Pharma, DFE, 2012)

Figura 5. Lactosa Anhídra.



Fuente: (Pharma, DFE, 2012)

2.7.3.2. Lactosa monohidrato

La forma más común de obtener la lactosa en forma sólida es cristalizando una solución sobresaturada. Cuando la cristalización se realiza a temperaturas inferiores a 93,5°C, se obtienen cristales de α -lactosa monohidratada, es decir que cada molécula de lactosa está asociada con una molécula de agua, la cual no se elimina durante los procesos normales de secado. Este tipo de lactosa se usa en la industria farmacéutica como excipiente. La lactosa en estado sólido puede presentarse en estado cristalino o

en estado amorfo. La lactosa en estado cristalino puede existir en diferentes formas. Las más conocidas son la α -lactosa y β -lactosa. (Kreczmann, y otros, 2015)

2.7.3.3. Lactosa amorfa

Es cuando una solución de lactosa altamente concentrada se seca muy rápidamente, como por ejemplo el secado por pulverización, obteniéndose una masa de lactosa en estado vítreo la cual es muy higroscópica. Este estado vítreo es una forma de lactosa amorfa que contiene tanto α - y β -lactosa. Una aplicación de la lactosa amorfa es la formación de comprimidos por compresión directa. (Kreczmann, y otros, 2015)

Por otra parte, la determinación de cantidad de lactosa en el suero deshidratado, se realizó en un laboratorio de una empresa dedicada a la industria láctea, debido a que el laboratorio de Ciencias Básicas de la universidad, no cuenta con precedentes de análisis de este disacárido ni posee el equipo requerido.

Para ello se aplicó el método enzimático, el cual es una herramienta valiosa para identificar muchas sustancias presentes en los alimentos y sus derivados. Para este método se utilizó el test kit Boehringer Mannheim Enzymatic BioAnalysis and Food Analysis, el cual contiene reactivos seleccionados y multi-probados en cantidades apropiadas. Las ventajas de usar kits de prueba de esta naturaleza (es decir, reactivos listos para usar) incluyen aspectos de ahorro de tiempo y un alto grado de seguridad analítica. Numerosos métodos enzimáticos han sido recomendados por agencias internacionales de estandarización. Las pruebas mismas son medidas con un espectrofotómetro, en este caso, un equipo UV-visible marca AGILENT, modelo 8453, con 350nm de longitud de onda. (R-Biopharm Latinoamérica S.A. , 2016).

El método enzimático está basado en reacciones acopladas, que se inician con la hidrólisis enzimática de la lactósica contenida en la muestra a pH 6,6 y la oxidación de la D-galactosa liberada a ácido D-galactónico con NAD⁺ a pH 8,6 en presencia de la enzima b-galactosa deshidrogenasa. La cantidad de lactosa y D-galactosa es estequiométrica a la cantidad de NADH formado, cuyo incremento es medido por su absorbancia a 340nm. El método propuesto adapta la etapa de tratamiento o

preparación de la muestra (suero en polvo), encontrándose una calidad óptima de los reactivos clarificantes para precipitar las proteínas, obteniéndose después de una etapa de filtrado una solución transparente, lista para continuar con la determinación. La adición de los reactivos clarificantes a una muestra acuosa forma un precipitado parcialmente soluble al cual por adsorción se unirán a los compuestos de alto peso molecular (interferentes) y precipitarán; se ajusta el pH para lograr una precipitación completa. El sedimento formado es separado de la solución por filtración. (Robles, 1998) para conocer el procedimiento ver el anexo 7.1.3

2.7.4. Humedad

Todos los alimentos, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido en agua varían entre un 60 y un 95% en los alimentos naturales. En los tejidos vegetales y animales, puede decirse que existe en dos formas generales: “agua libre” y “agua ligada”. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad. El agua ligada se halla combinada o absorbida. Se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las proteínas, a las moléculas de sacáridos y absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales. (UNAM, 2007-2008)

En los alimentos, según Córdoba (2013), la humedad debe mantenerse dentro de unos límites establecidos, por lo que su determinación es un análisis importante en el control de calidad de los mismos. Adicionalmente, uno de los objetivos importantes del presente trabajo, es deshidratar suero de queso y determinar el cumplimiento de la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995, Codex (2010), el cual indica un porcentaje de humedad como máximo. Por lo tanto, es un análisis fundamental que se determinó en la presente investigación.

Por otro lado, Westergaard (2004), indica que el exceso de humedad puede afectar en el producto, debido a que se producen aglomeraciones. Además, se ha reconocido que los alimentos con un mayor contenido de humedad son los más

perecederos, de tal manera que el control en el contenido de humedad en un producto es una herramienta para su conservación, según Contreras (2006).

Ahora bien, ya que el control en el contenido de humedad es un indicador vital para el suero en polvo, se realizaron los análisis en el laboratorio de Ciencias Básicas de la UTN, utilizando el método por estufa, el cual se basa, según Castillo (2015), en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. La eliminación parcial de la muestra requiere que la presión del agua en la fase de vapor sea inferior a la que alcanza la muestra; de ahí que sea necesario cierto movimiento de aire; en la estufa que se logra abriendo parcialmente la ventilación. Para conocer dicho procedimiento ver anexo 7.1.4.

2.7.5. Cenizas

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica, las cenizas normalmente, no son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o las interacciones químicas en los constituyentes. (UNAM, 2007-2008)

El valor principal de la determinación de cenizas, también de cenizas solubles en agua, la alcalinidad de las cenizas y las cenizas insolubles en ácido se supone que es un método sencillo para determinar la calidad de ciertos alimentos, por ejemplo, en las especias y en la gelatina es un inconveniente un alto contenido de cenizas. Las cenizas de los alimentos deberán estar comprendidas entre ciertos valores, lo cual facilitará en parte su identificación. (UNAM, 2007-2008)

El método utilizado en el presente trabajo para determinar la cantidad de cenizas, es por medio de mufla, donde la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550-600°C; el material inorgánico que se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza. (UNAM, 2007-2008). En el anexo

7.1.5. se encuentra el procedimiento, tomado del Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I elaborado por Castillo (2015).

2.7.6. Nivel de pH

Según Negri (2005), el pH representa la acidez actual (concentración de H⁺ libres), cuya ecuación es: $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$, donde a_{H^+} es la actividad de H⁺. Para soluciones diluidas es posible utilizar concentración de H⁺ en lugar de actividad. El pH es altamente dependiente de la temperatura. Las variaciones de la temperatura causan muchos cambios en el sistema buffer de la leche, principalmente se ve afectada la solubilidad del fosfato de calcio. El pH disminuye en promedio 0,01 unidades por cada °C que aumenta, fundamentalmente a causa de la insolubilización del fosfato de calcio. Esta variación es muy importante considerando el estrecho rango de variación del pH de la leche.

La medición potenciométrica del pH con un “pH-metro” es la única medida precisa. La regulación de estos aparatos se hace con soluciones buffer de pH conocido, en general se usan dos soluciones: una de pH 7 para la zona neutra y otra de pH 4 para la zona ácida. (Negri, 2005)

En el caso de suero de analizado, se midió el nivel de pH a una solución al 10%, según lo indicado por la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995. (Codex Alimentarius, 2010).

2.7.7. Acidez

Es el contenido total de ácido en un producto, que es la suma de la acidez natural y la adquirida. La acidez natural de la leche se debe a la reacción ácida de las proteínas (caseína, lactoalbúmina y lactoglobulina) disuelta en fosfatos. La acidez real o adquirida es la debida al ácido láctico producida por la acción bacteriana. (Reyes, 2005)

La acidez de los productos lácteos es debida a la fermentación de la lactosa en ácido láctico, en la que intervienen bacterias acidificadoras. Durante la fermentación de la lactosa ocurren otras fermentaciones que dan origen a olores o aromas característicos y por esto se dice que la leche posee un olor característico a pesar de

que el ácido láctico es inodoro. En la determinación de la acidez de la leche se utilizan diferentes métodos, los cuales dan diferentes interpretaciones (Reyes, 2005).

Los análisis del suero de la presente investigación, se realizaron conforme al método del Manual de Procedimientos, Química de Alimentos I, por Castillo (2015). Ver anexo 7.1.6.

2.8. Parámetros de calidad de proceso

2.8.1. Índice de Solubilidad

Es evidente que el suero en polvo tiene que ser soluble en agua. Sin embargo, no todos los componentes de un polvo son solubles al reconstituirse en agua. Con los secadores modernos la cantidad es muy pequeña, y se aproxima a una solubilidad del 100%. No obstante, todavía se producen polvos de baja solubilidad, y cualquier secador manejado incorrectamente puede producir así un polvo de baja solubilidad. (Westergaard, 2004)

El volumen del sedimento es expresado en ml y se llama el índice de insolubilidad. Normalmente es inferior a 0,2 ml para un polvo producido partiendo de leche de buena calidad y secado en modernos evaporadores y secadores del más reciente diseño. (Westergaard, 2004)

Las causas de un alto índice de insolubilidad (es decir, baja solubilidad) en un polvo, pueden ser muchas según (Westergaard, 2004). Normalmente se debe a caseínas desnaturalizadas o combinaciones muy complejas de proteínas de caseína-suero y lactosa, cuya química no es totalmente entendida.

Según Westergaard (2004), los factores más influyentes son:

a. Una leche de baja calidad con un alto desarrollo de ácido láctico, es decir alta actividad bacteriológica, provocará un alto índice de insolubilidad, ya que cualquier

tratamiento intenso de calor causará una desnaturalización irreversible de las proteínas, especialmente de la caseína.

b. Una alta temperatura del concentrado durante la evaporación dará un fuerte espesamiento por envejecimiento, dando lugar a un aumento de la viscosidad y una mala atomización, es decir altas temperaturas durante el secado.

c. Generalmente, se puede decir que cuanto mayor sea la temperatura y la viscosidad durante el tratamiento, mayor será el índice de insolubilidad a obtener. Los polvos con un alto contenido de lactosa, como por ejemplo los alimentos infantiles, no tendrán prácticamente nunca un alto índice de insolubilidad, ya que la lactosa parece proteger las proteínas contra una desnaturalización.

d. Los productos secados de acuerdo con el principio de secado en una etapa obtendrán más fácilmente un alto índice de insolubilidad que los del secado en dos etapas.

e. No es solamente el secador que el provoca un alto índice de insolubilidad. También el evaporador puede dañar el concentrado. Pero esto se mide muy rara vez. No obstante, si en una fábrica se experimentan problemas insolubles se recomienda investigar el concentrado.

Figura 6. Partícula típica del secado de una etapa



Fuente: Tecnología de la Leche en polvo, evaporación y secado por atomización.
(Westergaard, 2004)

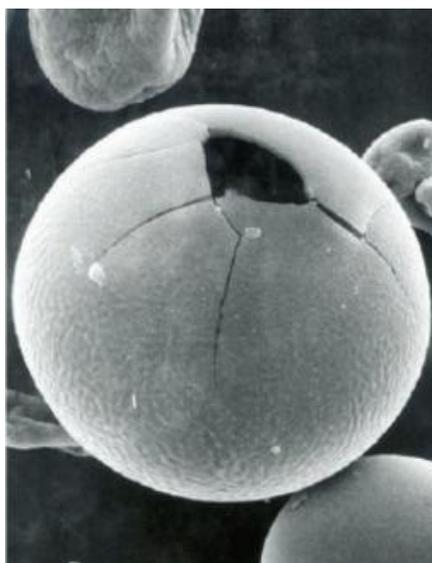
Figura 7. Partícula típica sobrecalentada



Fuente: Tecnología de la Leche en polvo, evaporación y secado por atomización.

(Westergaard, 2004)

Figura 8. Partícula sobrecalentada, secado de una etapa

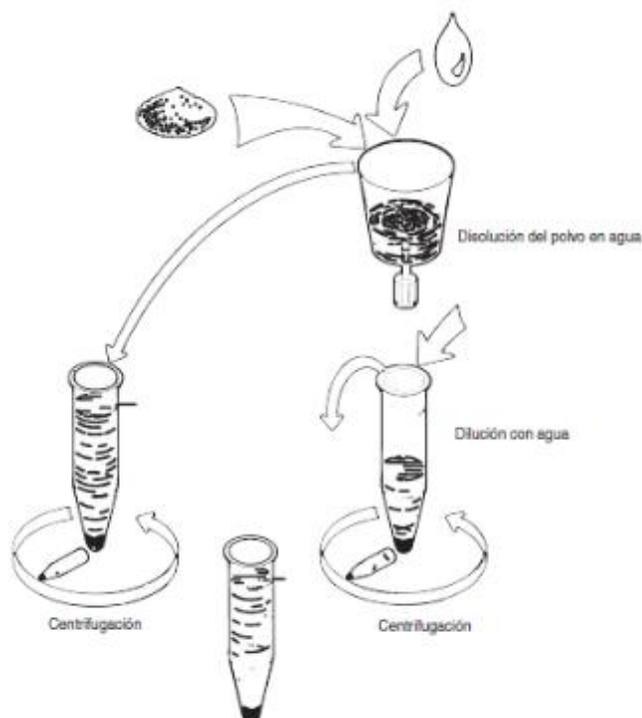


Fuente: Tecnología de la Leche en polvo, evaporación y secado por atomización.
(Westergaard, 2004)

Para determinar este índice en el suero deshidratado, se utilizó el método que establece Westergaard (2004), en el libro Tecnología de la Leche en Polvo, pág. 209, el cual lo describe de la siguiente manera:

Mezclar 6 g de suero en polvo (o una cantidad equivalente de concentrado dependiendo del contenido en sólidos) con 100 ml de agua de aprox. 24°C en un vaso mezclador a alta velocidad durante 90 segundos. La leche se deja durante 15 min. después de lo cual es agitada con una espátula. Se transfiere 50 ml de la solución en un vaso centrífugo de 50 ml con fondo cónico calibrado. El vaso se coloca en una centrífuga durante 5 minutos, el líquido libre de sedimento es extraído, se nivela con agua (para facilitar la lectura) y se agita el contenido. El vaso se coloca nuevamente en la centrífuga durante 5 minutos, y finalmente se registra el volumen de sedimento. Ver Figura 11.

Figura 9. Determinación del índice de insolubilidad.



Fuente: (Westergaard, 2004).

2.8.2. Partículas quemadas

Es generalmente aceptado que las partículas quemadas son resultado de los depósitos formados en la cámara de secado que han sido expuestos a altas temperaturas quedando así quemados, sin el color típico y al mismo tiempo insolubles. Sin embargo, no es solamente el secador el que contribuye a la formación de partículas quemadas, ya que incluso la leche cruda puede contener alguna suciedad o sedimento y si no se clarifica en un separador, estas partículas aparecerán más tarde en el polvo. (Westergaard, 2004)

Sin embargo, no es solamente el secador el que contribuye a la formación de partículas quemadas, ya que incluso la leche cruda puede contener alguna suciedad o

sedimento, y si no se clarifica en un separador, estas partículas aparecerán más tarde en el polvo. (Westergaard, 2004)

También en el evaporador pueden aparecer grumos gelatinosos, insolubles y de color marrón que pueden dar lugar a partículas quemadas, si se han formado depósitos en los tubos debido a una superficie insuficiente de los mismos. (Westergaard, 2004)

Si se ha demostrado que las partículas quemadas proceden del secador, la causa es frecuentemente la presencia de depósitos en la rueda atomizadora, alrededor de las tuberías o en el dispersor de aire. La solución al problema puede variar de caso a caso, pero un ajuste del dispersor de aire generalmente ayuda en muchos casos. (Westergaard, 2004)

Por otra parte, según Westergaard (2004), el suero en polvo no puede contener cantidades apreciables de partículas quemadas.

El método que se utilizó para determinar este parámetro en el presente trabajo escrito para suero en polvo es por Westergaard (2004), en el libro de Tecnología de la leche en Polvo, pág. 213. El cual lo describe de la siguiente manera:

Mezclar 15 g de suero en polvo (o una cantidad equivalente de concentrado dependiendo del contenido en sólidos) con 250 ml de agua a 18-28°C durante 60 segundos en el mismo mezclador que se utilizó para el índice de insolubilidad. La solución de leche es filtrada y el disco filtrante es comparado con un estándar de clasificación. Las partículas quemadas se expresan como A, B, C, o D, dependiendo de la intensidad y color de las partículas retenidas en el filtro. Comparando con la tabla ADMI: Normas de partículas quemadas para leche en polvo. Por otra parte, según (Westergaard, 2004), en el suero en polvo no puede contener cantidades apreciables de partículas quemadas. Ver anexo 7.4.3.2.

2.8.3. Humectabilidad

La humectabilidad de un polvo refleja su capacidad de absorber agua a una determinada temperatura. Este método de análisis se usa solamente para polvo

instantáneo. Es evidente que la humectabilidad depende de la superficie de los aglomerados o de las partículas: ¿Repelerán el agua o la absorberán tan rápidamente que se formará una película a través de la cual el agua no pueda penetrar? (Westergaard, 2004)

Generalmente, la humectación es un proceso en el cual la fase gaseosa en la superficie de la fase sólida es reemplazada por una fase líquida; las tres fases coexisten durante algún tiempo, de manera que es posible cierta cantidad de entremezclado y soluciones (principalmente de las fases sólida y líquida), e incluso a menudo inevitable. (Westergaard, 2004)

El factor que decide el grado de humectación es la tensión interfacial entre la superficie de la partícula y el agua. Las partículas de leche descremada normalmente serán humectadas con facilidad (siempre que el contenido de grasa en la superficie sea inferior a 0,03%), ya que los componentes principales del polvo son la lactosa que se encuentra en una fase amorfa, y la proteína, ambos con una absorción rápida del agua. (Westergaard, 2004)

Sin embargo, las partículas de suero en polvo están siempre cubiertas con una capa de grasa, haciéndolas repelentes al agua. La cantidad de esta grasa libre en la superficie varía entre el 0,5 y el 3% del polvo. Mediante la adición de un agente tenso activo a la grasa libre en la superficie, se puede anular la impermeabilidad de las partículas al agua debido a su capa de grasa, y se obtiene así una tensión interfacial que facilita la humectación. Es conocido que los fosfolípidos, como p.ej. la lecitina, son muy apropiados para este fin. La lecitina tiene la ventaja de ser un producto natural e incluso un componente natural de la leche, y siendo tanto lipofílico como hidrofílico, es capaz de absorber agua. (Westergaard, 2004)

Una vez humectadas las partículas, los componentes individuales de la leche empiezan a disolverse y dispersarse, formando una solución concentrada de leche alrededor de las partículas. Al mismo tiempo las partículas empiezan a caer al fondo, con lo cual, la densidad de dichas partículas tiene que ser mayor que la del agua. La densidad de una partícula depende de su composición y contenido de aire ocluido.

Durante las primeras etapas de la reconstitución, la densidad de las partículas disminuye, principalmente debido a que la lactosa y los minerales, siendo los componentes más pesados, empiezan a disolverse más rápidamente que los demás componentes. (Westergaard, 2004)

Para analizar la humectabilidad del suero en polvo desarrollado en el presente trabajo, se utilizó el método para leche descrito en el libro de Tecnología de Leche en Polvo, por Westergaard (2004). El método de análisis es simple y fácil de llevar a cabo:

Se agregan 10 g de leche descremada o 13 g de leche entera en polvo en 100 ml de agua a una determinada temperatura, normalmente 20°C. El tiempo que se necesita para una humectación total del polvo se mide con un cronómetro. IDF prescribe el uso de 10 g de leche descremada o leche entera en polvo en 250 ml de agua a una temperatura de 25°C.

Para ser instantánea, la leche descremada en polvo debe ser humectada en 15 segundos. Para leche entera en polvo no existen requisitos precisos, pero normalmente la leche entera instantánea en polvo es producida de acuerdo con la norma para leche descremada en polvo. Sin embargo, para el proceso posterior de dispersión, especialmente para leche entera en polvo, se prefiere una humectabilidad de alrededor de 30-60 segundos, ya que facilita la dispersión subsiguiente del polvo en agua.

2.9. Métodos Estadísticos

La estadística es una ciencia que estudia la recolección, análisis e interpretación de datos, ya sea para ayudar en la toma de decisiones o para explicar condiciones regulares o irregulares de algún fenómeno o estudio aplicado. Sin embargo, la estadística es más que eso, en otras palabras, es el vehículo que permite llevar a cabo el proceso relacionado con la investigación científica. (Ministerio de Hacienda, 2013)

La Estadística tiene por objeto recolectar, organizar, resumir, presentar y analizar datos relativos a un conjunto de objetos, personas, procesos, etc. A través de la cuantificación y el ordenamiento de los datos intenta explicar los fenómenos

observados, por lo que resulta una herramienta de suma utilidad para la toma de decisiones. (Ministerio de Hacienda, 2013)

En la investigación, la finalidad de la estadística es utilizar datos obtenidos en una muestra de sujetos, para realizar inferencias válidas hacia una población más amplia de individuos de características similares. La validez y utilidad de estas inferencias dependen de cómo el estudio ha sido diseñado y ejecutado, por lo que la estadística debe considerarse como una parte integrante del método científico. (Jimenez, 2007)

Con base en lo anterior, para el análisis de resultados se emplearon fundamentos y herramientas estadísticas, de manera que le confiara la seriedad y objetividad requerida a una investigación de suma importancia como la llevada a cabo; así como el logro de los objetivos propuestos.

2.9.1. Intervalos de confianza

Las diferentes técnicas de la estadística inferencial se fundamentan en que esta variabilidad inherente al proceso de muestreo sigue unas leyes conocidas y puede ser cuantificada. Si la variable es cuantitativa, la media m y la desviación estándar s observadas en la muestra son la mejor estimación que se dispone de los verdaderos valores de los parámetros poblacionales. (Jimenez, 2007)

2.9.2. Desviación estándar

La desviación estándar o desviación típica (σ) es una medida de centralización o dispersión para variables de razón (ratio o cociente) y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva. Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Junto con este valor, la desviación típica es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable. Se caracteriza por ser el estadígrafo de mayor uso en la actualidad. (Universidad Nacional de Callao, 2008)

2.9.3. Media

Es la medida de posición central más utilizada, la más conocida y la más sencilla de calcular, debido principalmente a que sus ecuaciones se prestan para el manejo algebraico, lo cual la hace de gran utilidad. Su principal desventaja radica en su sensibilidad al cambio de uno de sus valores o a los valores extremos demasiado grandes o pequeños. La media se define como la suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones. (FREE, 2015).

2.9.4. Mediana

Según FREE (2015), con esta medida podemos identificar el valor que se encuentra en el centro de los datos, es decir, nos permite conocer el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de datos después que las observaciones se han ubicado en serie ordenada. Esta medida nos indica que la mitad de los datos se encuentran por debajo de este valor y la otra mitad por encima del mismo. Para determinar la posición de la mediana se utiliza la fórmula:

$$\text{Posición de la mediana} = \frac{n+1}{2}$$

Para comprender este concepto vamos a suponer que tenemos la serie ordenada de valores (2, 5, 8, 10 y 13), la posición de la mediana sería:

$$\text{Posición de la mediana} = \frac{n+1}{2} = \frac{5+1}{2} = 3$$

Lo que nos indica que el valor de la mediana corresponde a la tercera posición de la serie, que equivale al número (8). Si por el contrario contamos con un conjunto de datos que contiene un número par de observaciones, es necesario promediar los dos valores medios de la serie. Si en el ejemplo anterior le anexamos el valor 15, tendríamos la serie ordenada (2, 5, 8, 10, 13 y 15) y la posición de la mediana.

$$\text{Posición de la mediana} = \frac{n+1}{2} = \frac{6+1}{2} = 3,5$$

Es decir, la posición tres y medio. Dado que es imposible destacar la posición tres y medio, es necesario promediar los dos valores de las posiciones tercera y cuarta para producir una mediana equivalente, que para el caso corresponden a $(8 + 10)/2 = 9$. Lo que nos indicaría que la mitad de los valores se encuentra por debajo del valor 9 y la otra mitad se encuentra por encima de este valor.

En conclusión, la mediana nos indica el valor que separa los datos en dos fracciones iguales con el cincuenta por ciento de los datos cada una. Para las muestras que cuentan con un número impar de observaciones o datos, la mediana dará como resultado una de las posiciones de la serie ordenada; mientras que para las muestras con un número par de observaciones se debe promediar los valores de las dos posiciones centrales. (FREE, 2015)

Por otro lado, para representar los resultados en el presente trabajo, se utilizaron diferentes diagramas, los cuales se describen a continuación.

2.9.5. Diagramas de cajas y bigotes

Los diagramas de Caja-Bigotes (boxplots o box and whiskers) son una presentación visual que describe varias características importantes al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría. Para su realización se representan los tres cuartiles y los valores mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineado horizontal o verticalmente. Una gráfica de este tipo consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero (recordemos que el segundo cuartil coincide con la mediana). Esta caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes. Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente, al que se le llama valor atípico. (Liceo Marta Donoso Espejo, 2007)

2.9.6. Diagramas lineales

Se pueden trazar datos que se organizan en columnas o filas de una hoja de cálculo en un gráfico de líneas. Los gráficos de línea pueden mostrar datos continuos en el tiempo, establecidos frente a una escala común y, por tanto, son ideales para mostrar tendencias en datos a intervalos iguales. En un gráfico de líneas, los datos de categoría se distribuyen uniformemente en el eje horizontal y todos los datos de valor se distribuyen uniformemente en el eje vertical. (Microsoft, 2015)

2.9.7. Diagrama de columnas

Permite el trazado de datos que se organizan en columnas o filas de una hoja de cálculo en un gráfico de columnas. Este tipo de gráfico es útil para mostrar cambios de datos en un período de tiempo o para ilustrar comparaciones entre elementos. En los gráficos de columnas las categorías se suelen organizar a lo largo del eje horizontal, mientras que los valores lo hacen a lo largo del vertical. (Microsoft, 2015)

2.9.8. Teorema de Chebyshev

La probabilidad de que cualquier variable aleatoria X tome un valor dentro de k desviaciones estándar de la media es de al menos $1-1/k^2$. Es decir:

$$P(k\sigma - \mu \leq x \leq k\sigma + \mu) \geq 1 - \frac{1}{k^2}$$

Para $k=2$ el teorema establece que la variable aleatoria X tiene una probabilidad de al menos $1-1/2^2 = 3/4$ de caer dentro de las desviaciones estándar a partir de la media; es decir que tres cuartas partes o más de las observaciones de cualquier distribución se localizan en el intervalo $\mu \pm 2\sigma$. De manera similar, el teorema afirma que al menos ocho novenos de las observaciones de cualquier distribución caen en el intervalo $\mu \pm 3\sigma$. (Walpole, 2012)

El teorema de Chebyshev tiene validez para cualquier distribución de observaciones, por lo cual los resultados generalmente son débiles. El valor que proporciona el teorema es solo un límite inferior, es decir, sabemos que la probabilidad de una variable aleatoria que cae dentro de dos desviaciones estándar de la media no puede ser menor que $3/4$, pero nunca sabemos cuánto podría ser realidad. Solo cuando conocemos la distribución de la probabilidad exactas. Por esta razón llamamos al teorema resultado de distribución libre. Cuando se supongan distribuciones específicas, los resultados serán menos conservadores. El uso del teorema de Chebyshev se restringe a situaciones donde se desconoce la forma de la distribución. (Walpole, 2012).

2.9.9. Teorema Tstudent

La distribución T student se utiliza cuando nos encontramos con la dificultad de no conocer la desviación típica poblacional y nuestra muestra es menor de 30. Es similar a la curva normal, pero la distribución t tiene mayor área a los extremos y menos en el centro. (Job Torres, 2013)

Esta fue descubierta por un especialista en estadística de una empresa irlandesa, este señor cuyo nombre es William S. Gossel hizo inferencias acerca de la media cuando la desviación poblacional fuese desconocida. Sus funciones se basan en establecer un intervalo de confianza, utilizando un nivel de confianza y los grados de libertad, obteniendo valores de una tabla con respecto a estas variables y aplicarla en la fórmula. (Job Torres, 2013)

T student es utilizado para determinar el intervalo de confianza dentro del cual se puede estimar la media de una población a partir de muestras pequeñas ($n < 30$), además prueba hipótesis cuando una investigación se base en muestreo pequeño y prueba dos muestras que provienen de una misma población. (Job Torres, 2013)

En muchas ocasiones no se conoce el número de observaciones en la muestra $n < 30$. En estos casos, se pueden utilizar la desviación estándar de la muestra como

una estimación de σ , pero no es posible usar la distribución de Z como estadístico de prueba. El estadístico de prueba adecuado es la distribución t. Sus aplicaciones en la inferencia estadística son para estimar y probar una media y una diferencia de medias. (Independiente y parada). (Job Torres, 2013)

2.9.10. Correlaciones entre variables.

Cuando se desee evaluar el grado de asociación o independencia de dos variables cuantitativas debe recurrirse a técnicas de correlación y/o regresión, aunque también es posible transformar una de ellas en una variable categórica u ordinal. (Aguayo & Lora, 2007)

Por tanto, en el presente trabajo, se aplicaron técnicas de correlación para determinar si existían dependencia entre variables de proceso y resultados de análisis del producto terminado. Para esto se utilizó el R-Commander, siendo este un software estadístico, el cual ha surgido con fuerza en los últimos años, según (Antonio, 2010).

Según Aguayo y Lora (2007), la correlación es una técnica matemática que evalúa la asociación o relación entre dos variables cuantitativas, tanto en términos de direccionalidad como de fuerza o intensidad, proporcionando un coeficiente de correlación. Por tanto, el índice resumen para evaluar la correlación entre dos variables cuantitativas es el coeficiente de correlación. Hay varios coeficientes, siendo el más conocido el llamado r de Pearson, cuyo cálculo es “paramétrico”, esto es, se basa en la media y la varianza, y asume varios supuestos:

a) Que las variables analizadas son simétricas (no hay una dependiente y otra independiente) y, por tanto, son intercambiables mutuamente.

b) Lo que mide es el grado de ajuste de los puntos o pares de valores a una hipotética línea recta (explora la relación lineal). Esto quiere decir que podría existir otro tipo de asociación (curvilínea, exponencial, etc.) y no ser detectada por este coeficiente.

c) Que las variables se distribuyen normalmente (criterio de normalidad) en la población de la que proviene la muestra.

d) Que las variables exploradas provienen de observaciones independientes (esto es, solo debe haber un valor para cada variable en cada individuo de la muestra), para evitar lo que se conoce como autocorrelación.

e) En este mismo sentido, la correlación lineal no es aplicable cuando una variable forma parte de la otra o su cálculo incluye la otra variable (por ejemplo, no es correcto evaluar la correlación entre la variable "IMC" –índice de masa corporal- y la variable "talla"). Cuando las condiciones b) y c) anteriores no se cumplen, o cuando una de las variables es ordinal, debe emplearse una aproximación no paramétrica.

Ahora bien, al realizar las correlaciones correspondientes, es necesario definir los intervalos en los cuales dichos datos tienen un valor práctico que los haga realmente significantes. Se pueden establecer parámetros en los cuales si la correlación se encuentra entre 0 y 0,19 es muy débil (o entre -0,19 y 0 negativamente muy débil), si la correlación está entre 0,20 y 0,39 entonces es débil (entre -0,39 y -0,20 entonces es negativamente débil), para el caso en que la correlación se encuentre ubicada entre 0,40 y 0,69 se considera moderada (es moderadamente negativa si está entre -0,69 y -0,40), en caso que se encuentre entre 0,70 y 0,89 se dice que existe una fuerte correlación (si se encuentra entre -0,89 y -0,70 es negativamente fuerte) y finalmente si la correlación está entre 0,90 y 1 es muy fuerte (entre -1 y -0,90 negativamente muy fuerte), recordando que, para cada uno de los coeficientes de correlación, los valores extremos de -1 y 1 significan la correlación perfecta (o correlación negativamente perfecta, según sea el caso). (Rodríguez, 2014)

El coeficiente de correlación toma valores entre cero y uno. Al acercarse este valor a cero, se considera que las variables son independientes entre sí, y cuanto más cercanas a uno mayor será su grado de relación. (Rodríguez, 2014)

Para establecer el grado de significancia de dichos parámetros de correlación, mediante R-Commander, se estipula que si dicho grado es menor o igual que 0,05 entonces se rechaza la hipótesis nula. Además, indican que la hipótesis nula es lo

contrario de nuestra hipótesis de investigación teniendo validez para el coeficiente de Pearson. (Rodríguez, 2014)

Finalmente se realiza una regresión lineal con las variables correlacionadas a las observaciones del suero en polvo. (Muestras de suero en polvo).

Se dice que la regresión lineal es un proceso en el cual se estima los coeficientes de la ecuación lineal, con una o más variables independientes, que mejor prediga el valor de la variable dependiente. (Rodríguez, 2014)

Además, la regresión lineal simple explora la dependencia entre dos variables cuantitativas (supone que en el modelo una es la variable dependiente y otra la independiente), tratando de verificar si la citada relación es lineal y aportando unos coeficientes (a y b) que sirven para construir la ecuación de la recta de predicción. Ambas técnicas, basadas en la media y en la varianza de las variables evaluadas, tienen importantes condiciones de aplicación, entre las que destacan la independencia de las observaciones y la normalidad, disponiéndose de alternativas no paramétricas para la correlación cuando estas no se cumplen. (Aguayo & Lora, 2007)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Localización.

El proyecto se desarrolló en la planta de lácteos de la Universidad Técnica Nacional, sede Atenas; ubicada en Balsa de Atenas, Alajuela. La planta se dedica a producir lácteos como quesos maduros, quesos frescos, yogurt, natilla y dulce de leche. Cuenta con un equipo deshidratador de leche, en el cual se realizaron las pruebas de campo. Los análisis de cantidad de grasa, proteína, humedad, cenizas, pH y acidez, se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad; y los análisis de partículas quemadas, índice de insolubilidad, humectabilidad y lactosa en el laboratorio de una empresa dedicada a la industria láctea, debido a que la Universidad no cuenta con el recurso requerido. Las pruebas de campo se ejecutaron entre los meses de enero y febrero del 2016.

Tabla 5. Pruebas de Campo.

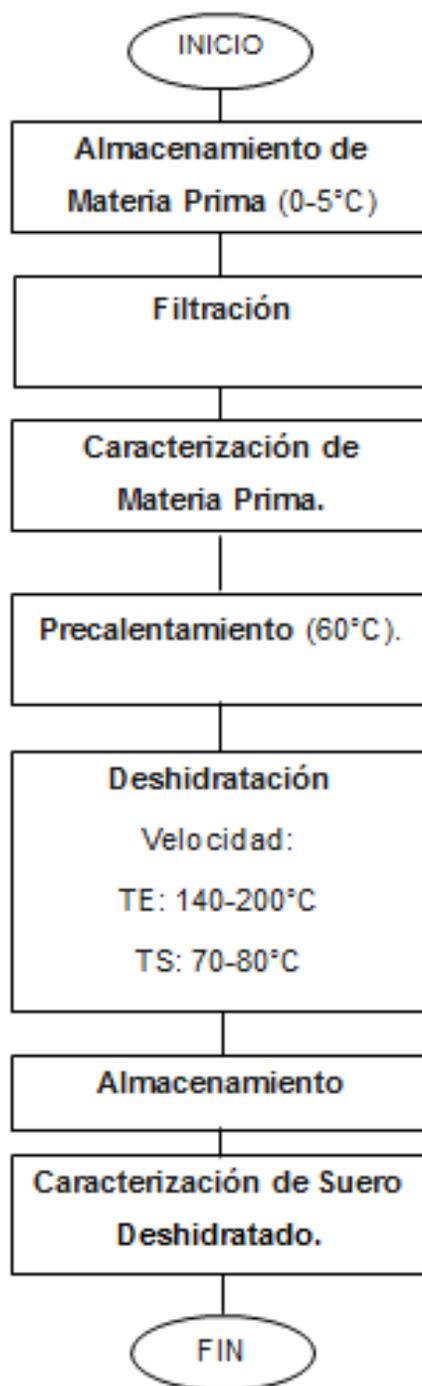
PRODUCCIÓN	FECHA DE PROCESO.
A	31-1-16
B	13-2-16
C	27-2-16

3.2. Materia Prima.

Para el proceso de deshidratación de suero se utilizó el producto del queso fresco al 2% de grasa, el mismo fue elaborado en la planta de lácteos de la Universidad Técnica Nacional. Como se indicó anteriormente, los sueros son desechados por la planta, los cuales se envían a la laguna de oxidación de la misma institución.

En cada prueba de campo el suero líquido se caracterizó, determinando el pH con el fin de asegurar que no es suero ácido; y sólidos totales para efectos de proceso. Se realizaron tres repeticiones de deshidratado, para analizar sus propiedades, esto de acuerdo con el diseño experimental de T-student.

3.3. Flujo grama de proceso



3.4. Condiciones de Proceso.

3.4.1. Almacenaje:

Posterior a los procesos de elaboración del queso, se recolectó el suero almacenándolos en recipientes de acero inoxidable en una cámara de refrigeración de 0-5 °C guardándose los días previos al proceso de deshidratación, máximo dos días antes.

3.4.2. Filtración:

El suero procesado se filtró utilizando mallas plásticas, para eliminar residuos de queso y finos.

3.4.3. Caracterización de Materia Prima:

En las diferentes repeticiones se analizaron por triplicado las siguientes variables:

- a. pH: se determinó con el instrumento de medición pH-metro, marca Hanna, modelo HI 2211 pH/ORP Meter.
- b. Sólidos totales: para determinar los sólidos se analizaron utilizando la balanza de humedad del laboratorio, marca OHAUS, modelo MB45. Tomando el resultado por diferencia.

3.4.4. Pre-calentamiento:

Previo a la deshidratación se realizó un pre-calentamiento a la materia prima, previamente filtrada, a una temperatura de 60 °C, en una marmita de 100 litros de capacidad, con la finalidad de facilitar el proceso de deshidratación.

3.4.5. Deshidratación:

El equipo con el que cuenta la Universidad Técnica Nacional, es un deshidratador para leche; básicamente se compone de varias unidades funcionales que

permiten extraer un alto porcentaje de agua (80-88%) para entregarla deshidratada con una presentación similar a los productos en polvo que conocemos.

Dicho equipo está compuesto por un horno, cámara de secado, aspersor rotativo, ciclón, unidad de alimentación y gabinete de control.

Para cada prueba se utilizaron 20 kilos de suero. A lo largo del proceso se controlaron cada 5 minutos las siguientes variables: suministro de vapor (presión de 6 BAR), temperatura de entrada (140-200°C), temperatura de salida de la cámara (70-90°C), velocidad de alimentación (14-20 Hz), y la velocidad de aspersor (60 Hz), velocidad de entrada de turbina (30 rpm), velocidad de salida de compresor (40 rpm).

3.4.6. Almacenamiento:

Una vez que se obtuvo el producto terminado se almacenó la mezcla de finos y producto regular al vacío en bolsas plásticas, en un lugar seco y lejos de la luz solar, para evitar que se humedezca y/o se oxide el producto.

3.5. Caracterización del Suero Deshidratado:

En cada una de las pruebas de campo se caracterizó el producto terminado, analizando por triplicado la mezcla de los finos y gruesos; en los siguientes análisis:

3.5.1. Cantidad de Grasa:

Se analizó utilizando el equipo de Unidad de Extracción por Solvente del laboratorio de la Universidad. Modelo SER 148 Marca VELP Científica. utilizando el método de Randall. Ver anexo 7.1.1.

3.5.2. Cantidad de Proteína:

Para la determinación de proteína se utilizó el método de Kjeldahl, con el equipo que se cuenta en el Laboratorio de la Universidad de marca VELP Científica. Cuenta con un destilador, un scrubber y el determinador de proteína. Ver anexo 7.1.2.

3.5.3. Cantidad de Lactosa:

Se analizó enzimáticamente utilizando el kit de ensayo Boehringer Mannheim de Biopharm, en el laboratorio de una empresa de la industria láctea. Con un equipo UV-visible marca AGILENT, modelo 8453, con 350nm de longitud de onda. El equipo utilizado tiene capacidad de lectura hasta 22% de lactosa, por lo que se adecuó el método reduciendo la cantidad de muestra para lograr leer la cantidad de lactosa del suero deshidratado. Ver anexo 7.1.3.

3.5.4. Cantidad de Humedad:

Para determinar la humedad en cada una de las repeticiones se analizó por el método de estufa, utilizando una balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo AB04, con una incertidumbre de 0,0001g. El método es de acuerdo al Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I, elaborado por María Alejandra Castillo (2015). Ver anexo 7.1.4.

3.5.5 Cantidad de Cenizas:

Se determinó por medio de la calcinación, utilizando una mufla marca Gallenkamp y una balanza analítica marca METTLER TOLEDO modelo AB04, con una incertidumbre de 0,0001g. El método fue tomado del Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I, elaborado por María Alejandra Castillo (2015). Ver anexo 7.1.5.

3.5.6. Nivel de pH:

Se analizó en solución al 10%, utilizando el equipo marca Hanna, modelo HI 2211 pH/ORP Meter, del Laboratorio de Ciencias Básica de la Universidad, previamente calibrado.

3.5.7. Cantidad de Acidez:

Se analizó por titulación con Hidróxido de sodio utilizando como indicador fenolftaleína, a una solución al 10%. Se utilizará la balanza ADAM PW 254 para la dosificación de las muestras. Los resultados se expresan como porcentaje de acidez, según el método que menciona el Manual de Procedimientos Laboratorio de Química de Alimentos I, elaborado por María Alejandra Castillo (2015). Ver anexo 7.1.6.

3.5.8. Índice de Insolubilidad:

Se analizó en el laboratorio de una empresa de la industria láctea, utilizando el método para suero en polvo que indica Vang Westergaard en el libro Tecnología de la Leche en Polvo (2004), pág. 209.

3.5.9. Cantidad de Partículas Quemadas:

Se analizó en el laboratorio de la empresa de industria láctea, comparando con la tabla de ADMI: Normas de partículas quemadas para leche en polvo, utilizando el método descrito por Vang Westergaard en el libro Tecnología de la Leche en Polvo (2004), pág. 213.

3.5.10. Humectabilidad:

Se analizó en el laboratorio de la empresa de la industria láctea, utilizando el método descrito en el libro de Tecnología de la Leche en Polvo, (2004), pág. 221 por Vang Westergaard.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los resultados de la presente investigación se plasmaron de diferentes maneras, utilizando diagramas y tablas. Además, para el análisis de resultados se utilizó el programa R-commander, con el fin de realizar cálculos y determinar la existencia de correlaciones entre variables, para ello se utilizó la T-student, coeficiente de Pearson y regresión lineal simple.

4.1 Caracterización de Materia Prima.

La Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995, indica que este producto debe tener pH mayor a 5,1. Para verificar que el suero como materia prima cumpliera con este valor se analizó antes de cada proceso de deshidratación. Además, el suero líquido presentó las características normales en cuanto a variables sensoriales, tales como el olor y color (verdusco). Por otra parte, se determinaron los sólidos totales para efectos de proceso y cálculo de cantidad de muestra requerida para los análisis posteriores.

Tabla 6. Características de suero como materia prima.

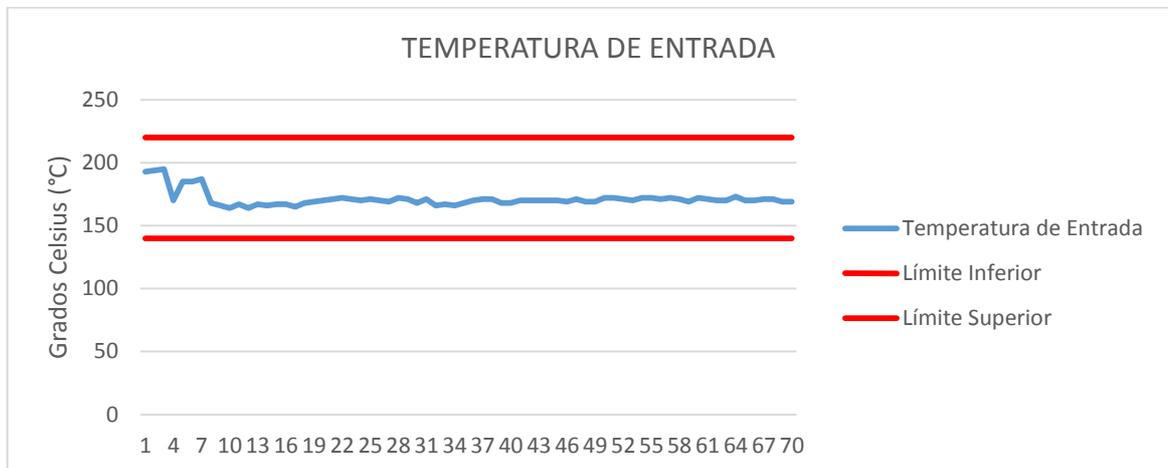
Producción	pH	Sólidos Totales (%)	Color	Olor
A	6.64	6.45	Característico	Característico
B	5.42	6.46	Característico	Característico
C	6.40	6.49	Característico	Característico

4.2. Proceso de Deshidratación de Suero lácteo.

Durante el proceso de deshidratación se controlaron las variables cada 5 minutos aproximadamente. A continuación, se detalla el comportamiento de las condiciones de las tres producciones de suero deshidratado.

4.2.1. Temperatura de Entrada:

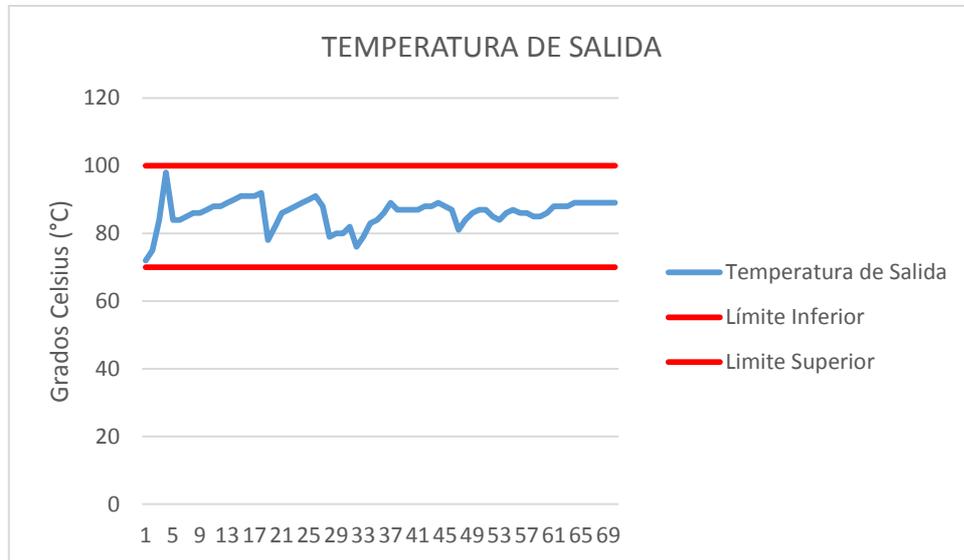
Gráfico 1. Temperatura de entrada en el proceso de deshidratación



En el gráfico anterior se observa el comportamiento de las temperaturas de entrada durante el proceso de las tres producciones de deshidratación del suero, en donde hasta el punto 18 es la producción A y hasta el punto 46 es la segunda observación. El promedio fue de 171,2 °C con una desviación estándar de 6,21 °C, el cual muestra que se mantuvieron dentro de las temperaturas recomendadas por el técnico de la máquina y lo indicado en el manual del equipo. De esta manera, se garantiza la temperatura adecuada para lograr la deshidratación del suero. Adicionalmente, existe la probabilidad de que al menos el 89% de las ocasiones en que se realice el proceso de deshidratación, las temperaturas de entrada se encuentren en el rango de 152,5 °C y 189,9°C, de acuerdo al Teorema de Chebyshev.

4.2.2. Temperatura de Salida.

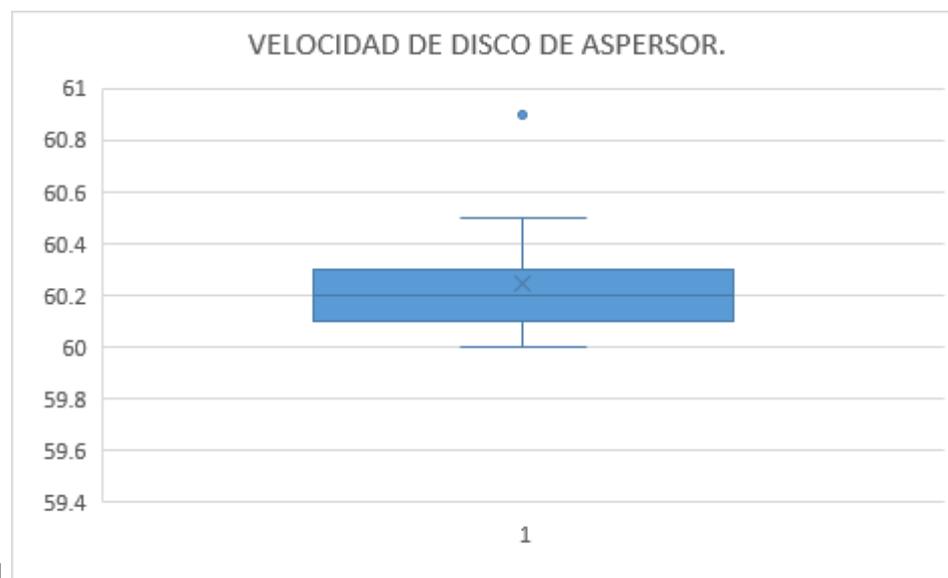
Gráfico 2. Temperatura de salida en el proceso de deshidratación



El promedio de temperatura obtenida fue de 86,11 °C, además, al utilizar el teorema de Chebyshev, se calculó que la probabilidad para que las temperaturas de salida oscilen entre 78°C y 94,4°C, es de al menos un 75%. Por lo tanto, se muestra que la temperatura de salida tuvo un comportamiento acorde con las especificaciones que indica el manual del equipo.

4.2.3. Velocidad de disco de aspersor.

Gráfico 3. Velocidad del disco de aspersor en el proceso de deshidratación

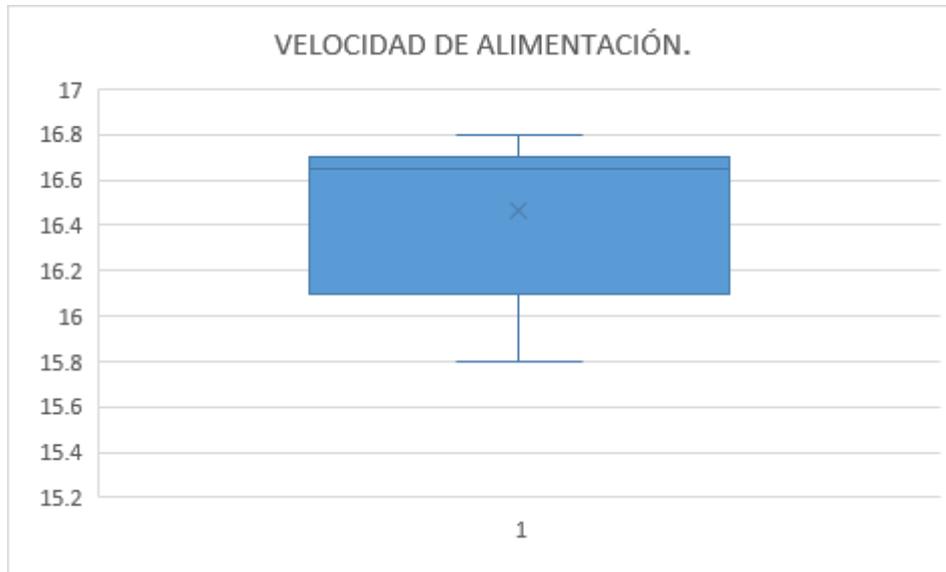


La velocidad de disco se estableció en 60 Hz como valor de trabajo, esto tras realizar varias pruebas preliminares, y por recomendaciones del técnico del equipo. En dichas pruebas se determinó que a mayores velocidades gran parte del líquido se adhiere a las paredes del ciclón sin lograr la deshidratación requerida. Por lo tanto, esta velocidad es constante para elaborar el suero en polvo.

En el gráfico anterior se evidencia que durante las tres producciones de deshidratación se logró mantener la velocidad del disco de aspersor con una mediana de 60,2 Hz, mostrando que hasta el 50% central de los datos están entre 60,1 y 60,3 Hz, sin embargo, se observa un valor atípico de 60,9 Hz, debido a un ajuste durante la producción B sin afectar el lote elaborado.

4.2.4. Velocidad de Alimentación.

Gráfico 4. Velocidad de alimentación en el proceso de deshidratación.



La velocidad de alimentación se controla de acuerdo al comportamiento de la temperatura de entrada y salida, buscando la estabilidad de proceso del equipo en cada corrida de producción. Por lo tanto, en la figura anterior se observa que en los tres lotes se concentraron hasta el 50% central de los datos entre 16,1 Hz y 16,7 Hz, con una desviación estándar de 0,33 Hz. Por lo anterior, los resultados reflejan que esta variable se mantuvo estable durante las tres observaciones.

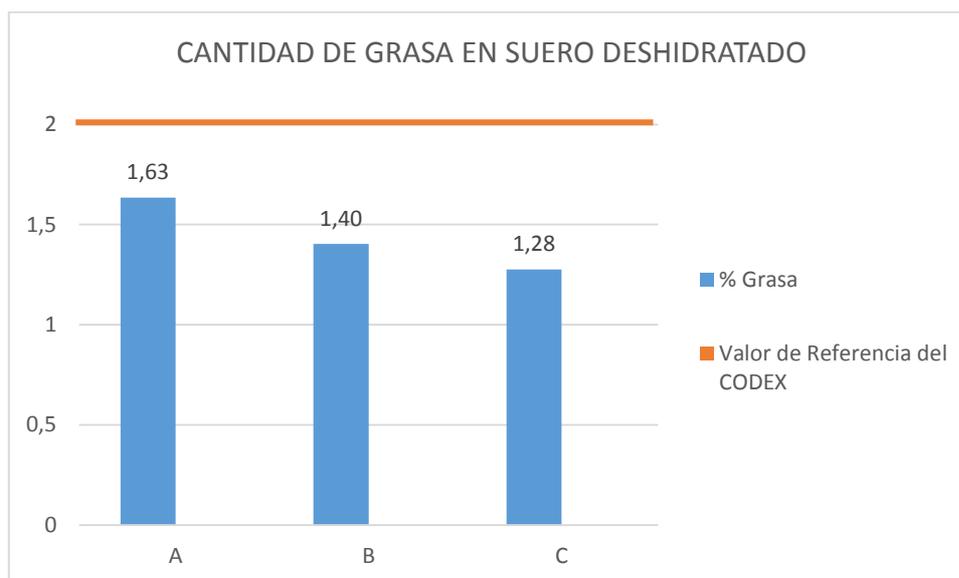
4.2.5. Velocidad de Entrada y de salida de la turbina.

Durante las tres producciones se programó la velocidad de entrada a 30 Hz y la velocidad de salida a 40 Hz como constantes, sin presentar desviaciones. Esto definido previamente en las pruebas preliminares del proyecto, además por recomendaciones del técnico del equipo.

4.3. Caracterización del Suero Deshidratado.

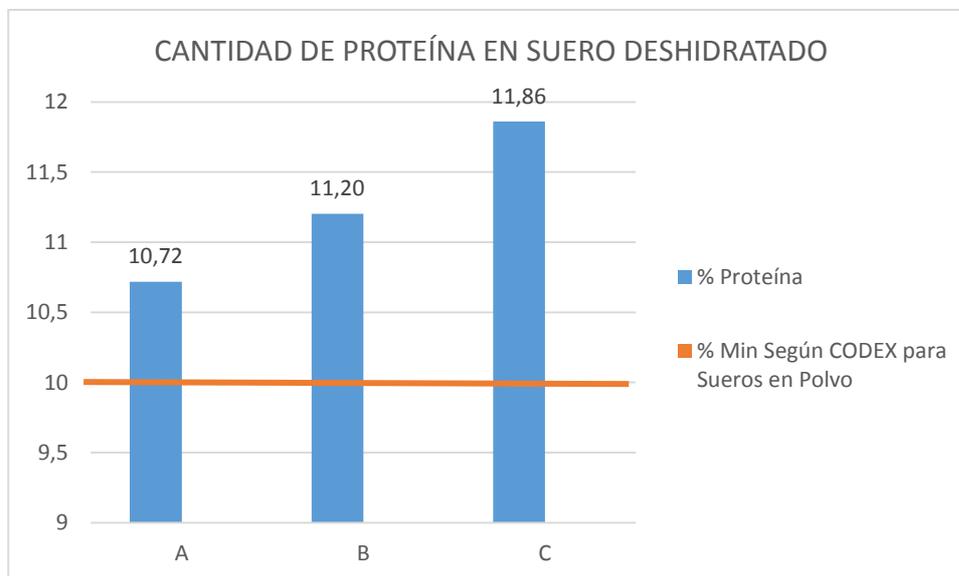
4.3.1. Cantidad de Grasa.

Gráfico 5. Cantidad de grasa en suero deshidratado.



El gráfico anterior refleja el comportamiento de las tres producciones, donde la media fue de 1,43% en los tres tratamientos. Adicionalmente, según la aplicación del teorema de Chebyshev, existe la probabilidad de que al menos el 75% de los datos en próximas producciones, el porcentaje de grasa presente un comportamiento entre 1,12% y 1,75%; siempre y cuando se elabore el queso fresco con el mismo porcentaje de grasa, ya que si este se modifica puede variar de igual forma en el suero como producto final. Por otro lado, el valor de referencia de la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995, es de 2% de grasa, sin embargo, en fichas técnicas de sueros en polvo revisadas, tales como la de Sociedad Industrial y Comercial de Lácteos y Energía. (2012), Parzanese (2016), e INTERFOOD (2011); indican como parámetro de 1% a 1,5%, por lo que los valores obtenidos de porcentaje de grasa son aceptables.

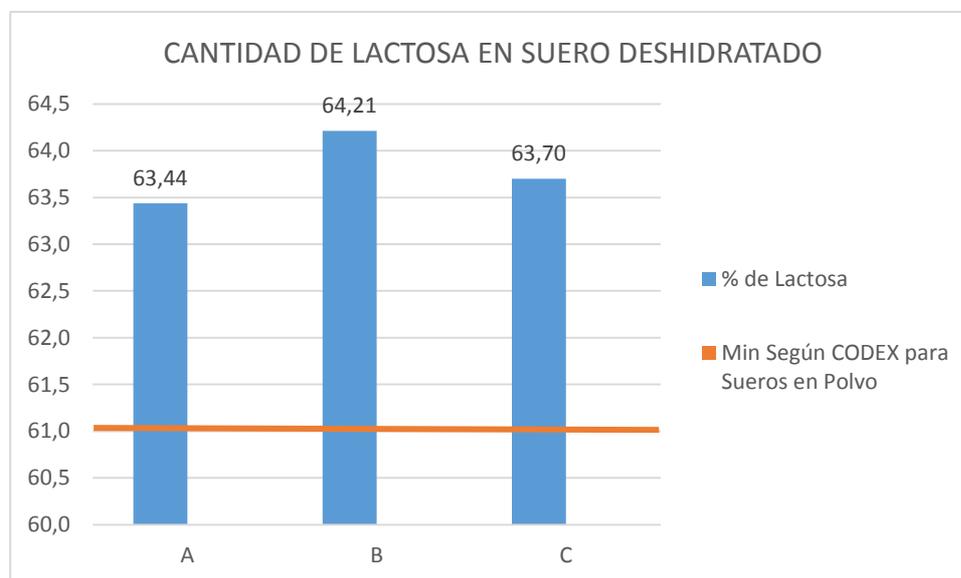
4.3.2. Cantidad de Proteína.

Gráfico 6. Cantidad de proteína en suero deshidratado.

Los resultados plasmados en el gráfico anterior, reflejan la media de cada una de las repeticiones de deshidratación, con un promedio de 11,24% y una desviación de 0,62%. Además, aplicando el teorema de Chebyshev, existe la probabilidad de que al menos el 75% de los datos en futuras producciones, oscilen entre 10% y 12% de proteína. Por consiguiente, los resultados obtenidos se comportaron por encima del 10%, siendo este el valor mínimo establecido por la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

4.3.3. Cantidad de Lactosa.

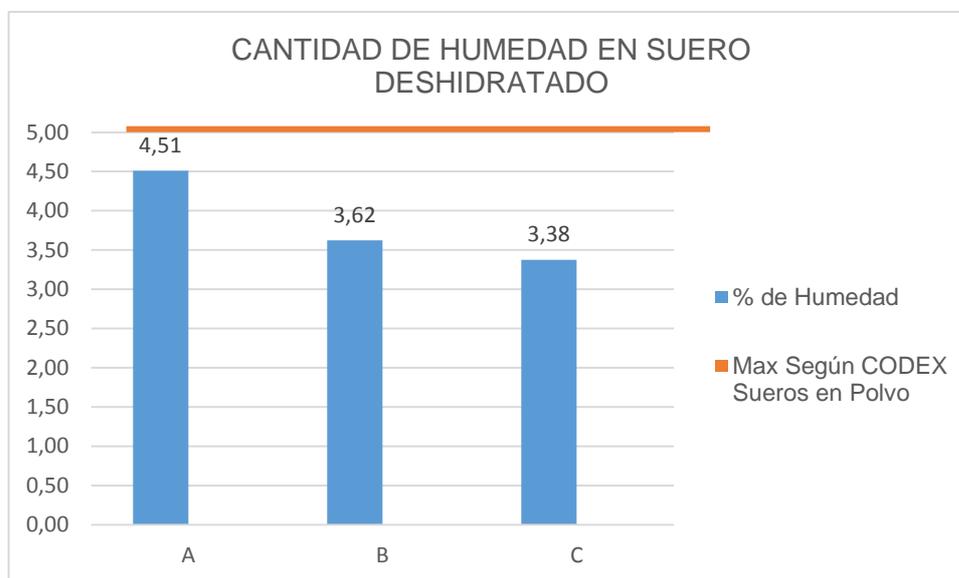
Gráfico 7. Cantidad de lactosa del suero deshidratado.



En el gráfico 7 se reflejan las medias de las tres observaciones de deshidratación de suero, con un promedio de 63,78%, y una desviación estándar de 0,93%. Por otro lado, preexiste la probabilidad de que al menos el 75% de los datos en futuros procesos, se comporten entre 61,9% y 65,6%, según el teorema de Chebyshev. Por lo tanto, los resultados cumplen con el mínimo establecido en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

A pesar de que los resultados cumplen al menos con el valor indicado en la norma mencionada, se consideraron estos datos como referencia, debido a que el método y equipo utilizado para la determinación de lactosa no está validado para sueros en polvo, por lo que, al adecuar el método, diluyendo las muestra para lograr las lecturas, pudo haber inducido al error en las mismas, siendo que los resultados no 100% confiables.

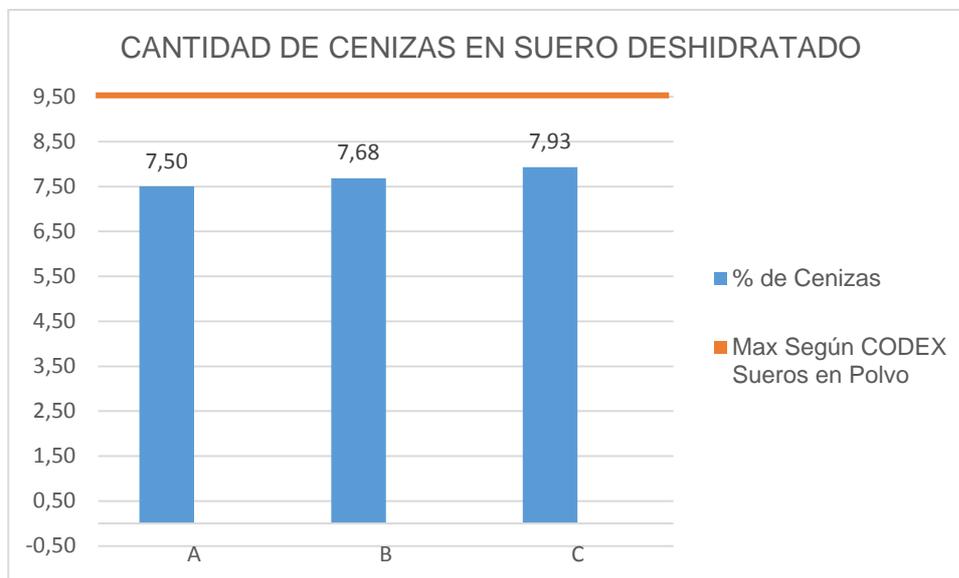
4.3.4. Cantidad de Humedad.

Gráfico 8. Cantidad de humedad en suero deshidratado.

En el gráfico anterior se muestran las medias de porcentaje de humedad de cada proceso de secado, las mismas obtuvieron un promedio de 3,38%, con una desviación estándar de 0,54%. Por otra parte, de acuerdo al teorema de Chebyshev, existe la probabilidad de que al menos el 75% de los datos, en futuros procesos de secado, presenten un comportamiento menor a 4,9% de humedad. Por lo tanto, se observa que los procesos de deshidratación elaborados estuvieron por debajo de 5%, cumpliendo con lo indicado en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

Se procedió a calcular el coeficiente de Pearson para las variables de temperatura mínima de salida y el porcentaje de humedad, dando como resultado -0,93, teniendo por lo tanto una muy fuerte correlación entre ambas variables. Además, se aplicó la T-student para determinar la dependencia entre ellas, dando un p-value de 0,0016, por lo que se acepta la hipótesis alternativa. Por último, se aplicó una regresión lineal simple, obteniendo un valor de p-value de 0,2403, resultando una relación no lineal entre las variables.

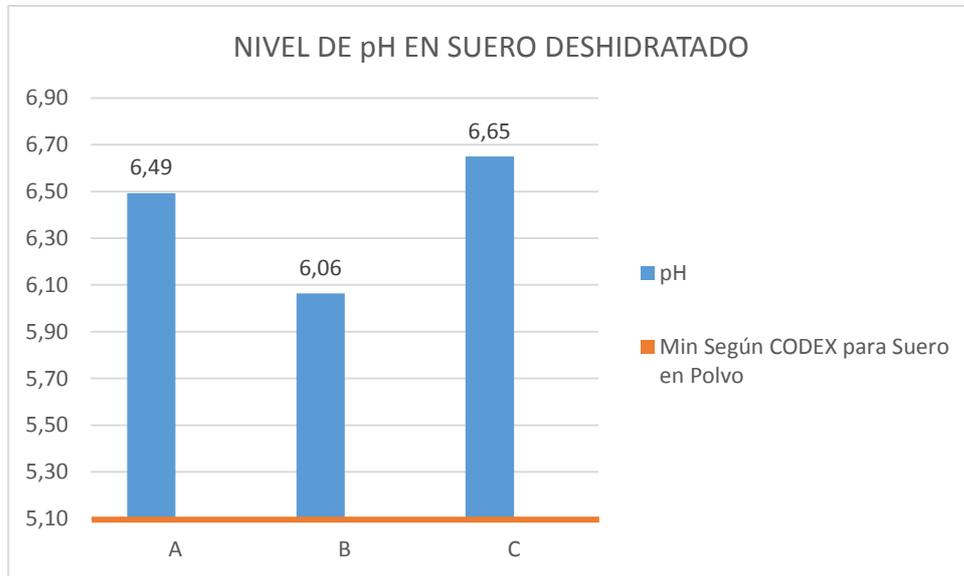
4.3.5. Cantidad de Cenizas.

Gráfico 9. Cantidad de cenizas en suero deshidratado.

Se detalla en el gráfico anterior los resultados del análisis de porcentaje de cenizas de las tres producciones. El promedio de las mismas es de 7,7% con una desviación estándar de 0,2%. Por ende, los resultados se mostraron por debajo del valor indicado en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-199, cumpliendo con la misma.

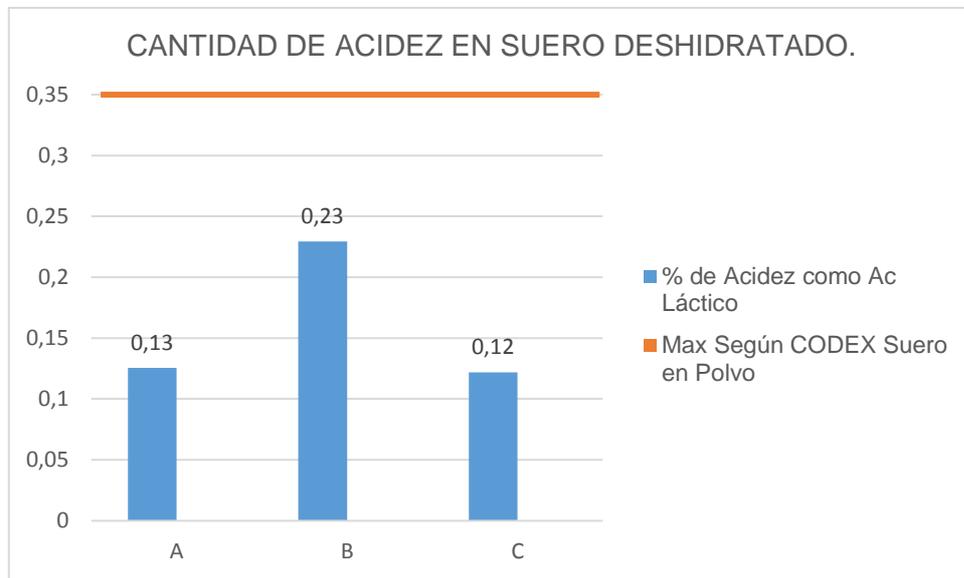
Por otro lado, de acuerdo al teorema de Chebyshev, coexiste la probabilidad de que al menos el 96% de los datos, en producciones futuras, los valores oscilen entre 6,7 y 8,7% de cenizas.

4.3.6. Nivel de pH

Gráfico 10. Nivel de pH de Suero Deshidratado.

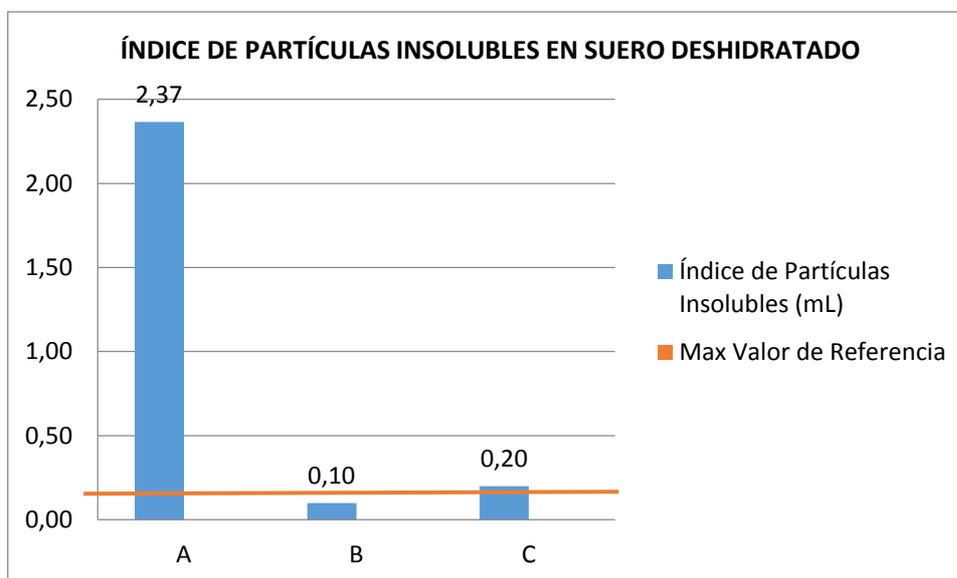
Se muestra en el gráfico 10 la media del pH de los tres procesos de deshidratación, con promedio de 6,4 y una desviación estándar de 0,26. Los resultados estuvieron por encima de 5,1, siendo este el valor mínimo indicado en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995, por ende, cumplen con la misma.

4.3.7. Cantidad de Acidez.

Gráfico 11. Cantidad de Acidez en Suero Deshidratado.

El promedio de las tres producciones fue de 0,15% con una desviación de 0,05%. Según la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995, la acidez del suero en polvo debe ser menor a 0,35% expresado como ácido láctico, por lo que se cumple con lo establecido.

4.3.8. Cantidad de Partículas Insolubles.

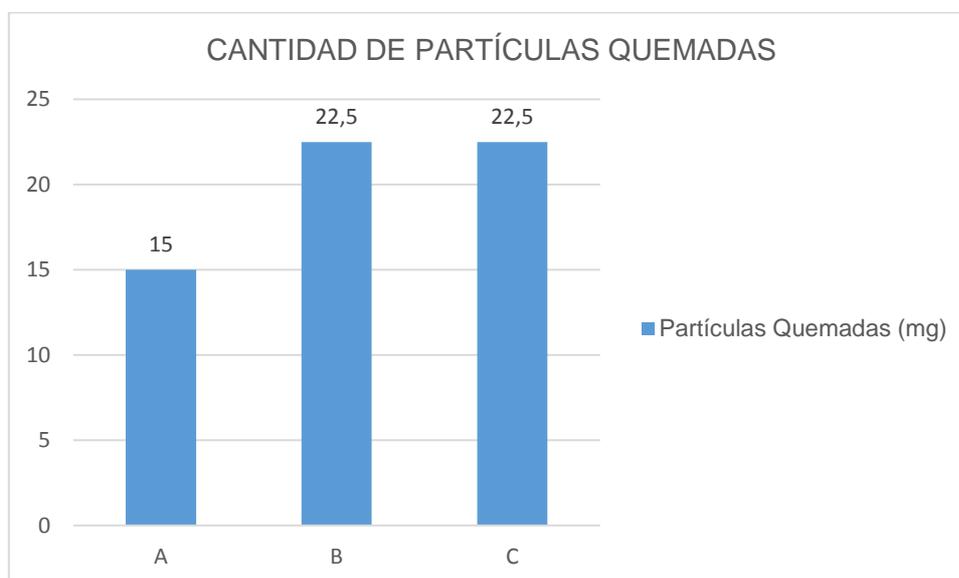
Gráfico 12. Índice de partículas insolubles en suero deshidratado.

El índice de partículas insolubles es un indicador del proceso de deshidratación, donde se puede determinar la calidad del suero en polvo, ya que indica la afectación a la partícula del suero por fuertes temperaturas y largos tiempos de secado; de esta forma influye en la permeabilidad de la partícula del mismo, (ver Figura 10). En el caso del suero deshidratado de la investigación, los resultados se ven reflejados en el gráfico anterior, donde los procesos B y C resultaron de buena calidad, mostrando datos de acuerdo con el valor teórico.

Por el contrario, la producción A presentó una media de 2,37 mL, por encima del valor de referencia 0,2 mL; por tanto, se procedió a calcular el coeficiente de Pearson para las variables de temperatura de salida y el índice de insolubilidad, para determinar si éste parámetro fue afectado por la temperatura de salida. El resultado fue de 0,968, teniendo a su vez una muy fuerte correlación entre ambas variables. Por consiguiente, se aplicó la T-student para determinar la dependencia entre ellas, dando un p-value de 0,0004, por lo que se acepta la hipótesis alternativa. Finalmente, se aplicó una regresión lineal simple, obteniendo un valor de p-value de 0.1606, resultando una relación no lineal entre las variables.

4.3.9. Cantidad de partículas quemadas.

Gráfico 13. Cantidad de partículas quemadas en suero deshidratado.



En el gráfico anterior se observa el comportamiento de partículas quemadas. En las tres producciones, se utilizó el equipo limpio, por lo que no habían residuos anteriores que afectaran la investigación. Sin embargo, se observa en los resultados presencia de partículas, siendo estas del ambiente (polvo), ya que se observan coloraciones oscuras; esto debido a falta de mejora en el equipo, especialmente, carencia de filtros en ventiladores de entrada; adicionalmente no posee equipo de vibración del cono contenedor, que permita desprender fácilmente las partículas que se adhieren a las mismas, siendo estas expuestas por mucho más tiempo al calor. (Ver anexo 7.4.3.2. Partículas Quemadas)

4.3.10. Humectabilidad.

Se realizó la prueba de humectabilidad en las diferentes producciones, con el fin de observar la capacidad de absorber agua en una temperatura determinada. Los resultados fueron mayores a 15 segundos, por lo tanto, no es un polvo instantáneo, esto debido a que las partículas se encuentran cubiertas de grasa, siendo repelentes al agua. Para lograr que el suero en polvo sea instantáneo es necesario la utilización de un tensoactivo, por ejemplo lecitina, para facilitar la humectación.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

5.1.1. Para la deshidratación del suero de queso, se establecieron los valores de trabajo en pruebas preliminares, partiendo de los parámetros de referencia del manual del equipo para deshidratar leche. Por lo que se puede concluir que los rangos de trabajo, especialmente el límite superior de la temperatura de salida, se debe utilizar más baja, debido a que existe una correlación entre las variables de temperatura de salida y el índice de partículas insolubles. Por lo tanto, se puede ultimar que en temperaturas de salida mayores a 98°C la presencia de partículas insolubles aumenta un promedio de diez veces más que para aquellas temperaturas de salidas próximas a los 90°C. Por otra parte, la humedad también posee dependencia con la temperatura de salida, en este caso con la mínima, ya que a temperaturas cercanas a 72°C se observa un incremento de un 25% en la cantidad de humedad. Por lo tanto, para la deshidratación de suero, es necesario trabajar las temperaturas de salida entre 80 y 90°C, de esta forma contrarrestar estos factores que pueden afectar la calidad del producto.

5.1.2. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que el suero deshidratado, producto del queso fresco elaborado en la Universidad Técnica Nacional, cumple con las especificaciones establecidas en la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995. Sin embargo, es importante realizar otros métodos de análisis de determinación de lactosa para verificar esta variable, debido a que el método y equipo utilizado no están validados para análisis de alto contenido de este parámetro. Por tanto, pudo existir algún error de método, que no haya logrado leer la totalidad del porcentaje de este disacárido, siendo los resultados no 100% confiables.

5.1.3. A pesar que el equipo de deshidratación de la universidad es de una sola etapa, y que el índice de insolubilidad en una producción resultó alto; se puede concluir que, utilizando el rango de temperatura de salida indicado anteriormente, el

suero en polvo es de buena calidad. Además, se puede suponer que las partículas quemadas fueron afectadas por factores ambientales (polvo) y/o por tiempo de exposición de partículas adheridas en las paredes del cono.

5.2. Recomendaciones

5.2.1. Es de vital importancia, deshidratar el suero con el pH adecuado, por lo que se recomienda procesar el suero no más de dos días posterior a la elaboración del queso (desuerado), y mantenerlo en estricta refrigeración; para que el pH y la acidez no se vean afectados.

5.2.2. Sería un gran aporte analizar sueros en polvo resultantes de quesos con mayor contenido de grasa, para determinar si el porcentaje de grasa se acerca aún más al valor de referencia que establece la Norma para Sueros en Polvo CODEX STAN 289-1995.

5.2.3. El método de lactosa se efectuó en un laboratorio externo, debido a que la sede de la universidad no cuenta con el equipo, el método, ni existían precedentes. Por lo tanto, se recomienda adquirir equipo para la determinación de este disacárido, pues sería un gran avance en la institución y provechoso para fines didácticos y de investigación en la industria alimentaria. Además que en los diferentes laboratorios del país existen dificultades para obtener resultados precisos de lactosa en suero.

5.2.4. Debido a la presencia de partículas quemadas en el suero, provenientes del ambiente (polvo), se recomienda la colocación de filtros en los ventiladores de entrada del equipo para contrarrestar este inconveniente. Además de mantener el área de deshidratación limpia y el equipo armado, para evitar que el polvo u otros contaminantes ingresen al equipo; también colocar equipo (vibrador) para facilitar el desprendimiento de las partículas de las paredes del deshidratador.

5.2.5. Si se desea que el suero en polvo sea humectable para la utilización como materia prima en otros productos, se recomienda aplicar un tensoactivo en el producto, por ejemplo, la lecitina, para facilitar esta propiedad.

5.2.6 Incentivar este tipo de investigaciones en la UTN a fin de que se genere conocimiento importante tanto para Universidad como para el país, que posibilite además la utilización del suero en polvo que se produce generando no solo un producto de gran utilidad, tanto desde el punto de vista industrial como por su contribución al ambiente.

VI. REFERENCIAS

- Aguayo, M., & Lora, E. (2007). *Cómo realizar “paso a paso” un contraste de hipótesis con SPSS para Windows: (III) Relación o asociación y análisis de la dependencia (o no) entre dos variables cuantitativas. Correlación y regresión lineal simple.* Obtenido de Fabis: http://www.fabis.org/html/archivos/docuweb/contraste_hipotesis_3r.pdf
- ANHYDRO PTS. (2016). *Temas básicos en el Secado por Aspersión.* México.
- Antonio, S. (2010). *Métodos Estadísticos con R y R Commander.* Universidad Jaén.
- Blanco, M. (2007). *Consultoría realizada por la FAO y IICA en el marco del estudio conjunto sobre los productos de calidad vinculado al origen del queso tipo Turrialba.* Cartago, Costa Rica.
- Castillo, M. (2015). *Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I.* Atenas, Alajuela: Universidad Técnica Nacional.
- Codex Alimentarius. (2010). *Norma para Suero en Polvo CODEX-STAN 289-1995.* Norma de CODEX. Obtenido de Codex: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCODEX%2B207-1999%252FCXS_207s.pdf
- Codex Alimentarius. (2011). *Leche y Productos Lácteos, Segunda Edición.* Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i2085s.pdf>
- Contreras, C. (2006). *Tesis Doctal: INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SECADO EN PARÁMETROS DE CALIDAD RELACIONADOS CON LA ESTRUCTURA Y EL COLOR DE MANZANA Y FRESA DESHIDRATADAS.* Universidad Politécnica de Valencia, Tecnología de Alimentos, Valencia.

- Córdoba, R. (2013). *Metodología alternativa para la reutilización del suero de queso en base a derivados de la industria cañera*. Tesis, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas., Veracruz, México.
- Domínguez, F. (2007). *Cámara Caseres*. Obtenido de Cámara Caceres: <http://www.camaracaceres.es/actividades/publicaciones/libros/completos/21/contenidos/etapas.htm>
- El Financiero. (05 de MAYO de 2014). *Central americana DATA.com*. Recuperado el 04 de JUNIO de 2016, de Auge del Mercado de Lácteos en Costa Rica: http://www.centralamericadata.com/es/article/home/Auge_del_mercado_de_lacteos_en_Costa_Rica
- Espinoza, M. (31 de 04 de 2016). Producción de Suero y tratamiento. (J. Arias, Entrevistador)
- FAO. (5 de 6 de 2016). *CODEX ALIMENTARIUS*. Obtenido de Normas Internacionales de los Alimentos: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/about-codex/codex-timeline/es/>
- FREE, S. (2015). *SPSS FREE*. Obtenido de SPSS FREE: <http://www.spssfree.com/curso-de-spss/analisis-descriptivo/media-mediana-moda-medidas-tendencia-central.html>
- Huertas, R. A. (2009). *WHEY: IMPORTANCE IN THE FOOD INDUSTRY*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.
- INTERFOOD . (2011). *Product Information Sheet*. Estados Unidos de América: INTERFOOD.
- Jimenez, J. (2007). Métodos Estadísticos. En J. Jimenez.
- Job Torres, M. C. (21 de 11 de 2013). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <http://es.slideshare.net/torimatcordova/distribucion-t-de-student-28545004>
- JP SELECTA S.A. (10 de 10 de 2012). *JP SELECTA S.A*. Obtenido de Fábrica de aparatos para laboratorio: <http://www.grupo-selecta.com/notasdeaplicaciones/sin-categoria/metodo-kjeldahl/>

- Kreczmann, B., Alonso, A., Liloia, M., Zamboni, E., Cerutti, R., Baroni, D., & Polujan, D. (2015). *Procesamiento del lactosuero: Elaboración de lactosa y aprovechamiento de proteínas*. Artículo Científico, Universidad Nacional de Litoral, Santa Fe, Argentina. Obtenido de <http://publitec.com.ar/contenido/objetos/Procesamientodellactosuero.pdf>.
- Liceo Marta Donoso Espejo. (2007). *Diagrama de Caja y Bigotes*.
- Microsoft. (4 de 06 de 2015). *Tipos de Gráficos Disponibles*. Obtenido de <https://support.office.com/es-es/article/Tipos-de-gr%C3%A1ficos-disponibles-a6187218-807e-4103-9e0a-27cdb19afb90>
- Ministerio Agricultura y Ganadería - SEPSA. (2010). *Sector Agropecuario, Cadena Productiva de Leche, Políticas y Acciones*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, SEPSA, Costa Rica. Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00079.pdf>
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2016). *Enciclopedia de Alimentos*. Obtenido de Alimentación.es: http://www.alimentacion.es/es/conoce_lo_que_comes/bloc/queso/default/el-queso/etapas-de-la-transformacion-de-leche-en-queso/desuerado-gel/
- Ministerio de Hacienda. (2013). *Conceptos Básicos y Métodos Básicos de Estadística*. El Salvador.
- Morales, J., Medina, M., Andrade, E., Guzmán, S., & Hernández, D. (27 y 28 de mayo de 2010). *EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL SECADO POR ASPERSIÓN SOBRE*. Universidad de Guanajuato, Ciencias Biológicas. Obtenido de file:///C:/Users/Gabriela/Downloads/FH119%20(1).pdf
- Moreano, A. (marzo de 2003). Tesis de Diseño para la implementación de la metodología seis sigma en una línea de producción de queso fresco. *Diseño para la implementación de la metodología seis sigma en una línea de producción de queso fresco*. Guayaquil, Ecuador.
- Negri, L. (2005). *Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad*. INTA.

- Parzanese, M. (2016). *Procesamiento de Lactosuero Ficha N°13*. Argentina: Alimentos Argentinos.
- Pharma, DFE. (2012). *pharma@dfepharma.com*. Obtenido de file:///C:/Users/Andr%C3%A9s/Documents/Downloads/DFE%20Pharma%20Lactose_ES%20(2).pdf
- Ramos, Y. (2014). *Programa educativo: Determinación de las condiciones de operación del secador por aspersión de la Facultad de Ciencias Químicas*. Universidad Veracruzana, Facultad Ciencias Químicas, Xalapa, México.
- R-Biopharm Latinoamérica S.A. . (2016). *Engormix* . Obtenido de Analisis y control de Lactosa/D-Galactosa: http://www.engormix.com/biopharm-latinoamerica/analisis-control-lactosa-galactosa-sh6718_pr12153.htm
- Reyes, M. (2005). *Trabajo de Graduación: Efecto de la acidez y cantidad de suero en las características físico-químicas y sensoriales del queso zamorano*. Honduras: Zamorano.
- Robles, S. (1998). *Centro Nacional de Alimentación y Nutrición* . Obtenido de Centro Nacional de Alimentación y Nutrición : http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/medicina_experimental/v15_n1-2/estan_metodo_lactosa.htm
- Rodriguez, J. (2014). *Tesis: Factores asociados con el rendimiento académico en Matemáticas de algunos estudiante de décimo año del Colegio Bilingue de Palmares en el tema de función lineal*. Palmares, Costa Rica: Marzo.
- Rubio, L. A. (2013). *Uso del suero de leche en alimentos y sus sustitutos*. Bogotá, Colombia: Superintendencia de Industria y Comercio .
- Sánchez martínez, R. (01 de Agosto de 2015). *Gestión de las aguas residuales de queseras artesanales utilizando producción más limpia y tratamiento anaerobio con RAFA-FAFA. El caso de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica*. Proyecto Final de Graduación., Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Química, Cartago. Recuperado el 04 de Junio de 2016, de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/6284/TFG_Reychel_Sanchez_Martinez_%20vf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sánchez, L. (2015). *Aspectos Técnicos. Equipo deshidratador para leche*. Alajuela.: Tecnomáquinas.
- Sociedad Industrial y Comercial de Lácteos y Energía. (2012). *Ficha Técnica Suero en Polvo Cristalizado*. Chile: L&E.
- Teniza, O. (2008). *ESTUDIO DEL SUERO DE QUESO DE LECHE DE VACA Y PROPUESTA PARA EL REUSO DEL MISMO*. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada, Tlaxcala, México.
- Thousig , J., & Fredsted, S. (01 de 08 de 2013). *Mario Libertucci*. Recuperado el 05 de Junio de 2016, de <http://mariolibertucci.blogspot.com/2013/08/secado-por-atomizacion.html>
- UNAM. (Marzo de 2007-2008). *Laboratorio de Alimentos I*. Obtenido de FUNDAMENTOS Y TECNICAS DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/FUNDAMENTOSYTENICASDEANALISISDEALIMENTOS_12286.pdf
- Universidad Nacional de Callao. (2008). *Desviación Estándar*. Callao, Perú.
- Vélez, J., & Ramírez , C. (01 de Mayo de 2012). *Quesos Frescos: propiedades, métodos de determinación, y factores que afectan su calidad*. Universidad de las Americas Puebla., Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Puebla, México: Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. Recuperado el 04 de Junio de 2016, de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Ramirez-Lopez-et-al-2012.pdf>
- VELP Scientifica. (2016). *VELP Scientifica*. Obtenido de <http://www.velp.com/es/>
- Villegas, O. B. (2010). <http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/Pol%C3%ADticas%20de%20la%20Leche.pdf>.
- Walpole, R. E. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* . México: Pearson .

Westergaard, V. (2004). *Tecnología de la leche en polvo*. Copenhague, Dinamarca: Niro.

Yanza, E. (2003). *Tesis: DISEÑO DE UN SECADOR POR ATOMIZACIÓN A NIVEL PILOTO PARA*. Universidad Nacional de Colombia, Ingeniería Química, Colombia. Obtenido de Bdigital: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1025/1/erickgermanyanzah..pdf>

VII. ANEXOS

7.1. Caracterización de las propiedades físico - químicas del suero de queso fresco

7.1.1. Procedimiento de la determinación de grasa según (VELP Científica, 2016).

Primeramente, se pesa 3g de muestra de suero en polvo en el dedal que se encuentra introducido en un beaker y se le agregan tres trozos de crisol, posteriormente se realizan los siguientes procedimientos:

Se agrega 70 mL de éter de petróleo en el vaso de vidrio de extracción en el cual son sumergidos los dedales a una temperatura de 40 a 60°C por un tiempo de 60 minutos, de igual forma dura 60 minutos realizando un lavado de reflujo. El recipiente de vidrio de extracción se mantiene en el equipo de extracción a una temperatura de 100°C durante 30 minutos y después se deja enfriando en un desecador hasta alcanzar una temperatura ambiente. Por último, se pesan los beaker con los dedales y se aplica la siguiente fórmula:

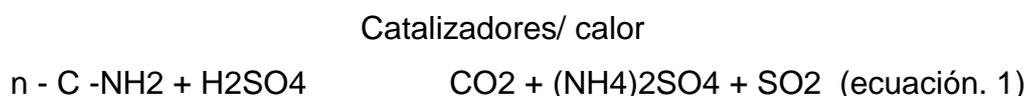
$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{peso del residuo}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

7.1.2. Procedimiento de la proteína según (VELP Científica, 2016).

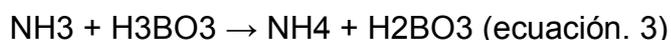
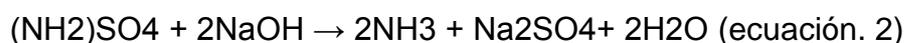
El método utilizado para la obtención de la proteína es el método Kjeldahl, el cual mide el contenido en nitrógeno de una muestra. El contenido en proteína se puede calcular seguidamente, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno para el alimento específico que está siendo analizado, tal y como se explicará más adelante.

Este método puede ser dividido, básicamente en 3 etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración. El procedimiento a seguir es diferente en función de si en la etapa de destilación el nitrógeno liberado es recogido sobre una disolución de ácido bórico o sobre un exceso conocido de ácido clorhídrico o sulfúrico patrón.

a. Etapa de digestión: consiste en un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador y la ebullición convierte el nitrógeno orgánico en ion amonio, según la ecuación 1.



b. Etapa de destilación: se alcaliniza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco (ecuación 2). El amoníaco destilado se recoge sobre un exceso desconocido de ácido bórico (ecuación 3).



c. Etapa de valoración: la cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ion borato formato, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno (ecuación 4). Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoníaco destilados.



7.1.2.1. Procedimiento:

7.1.2.1.1. Etapa de digestión

a. Se introducen 6 g de muestra en un tubo de mineralización y se ponen 7,2 g de catalizador que suele estar constituido por una mezcla de sales de cobre, óxido de titanio o/y óxido de selenio. De forma habitual se utiliza como catalizador una mezcla de K_2SO_4 (Ácido tetraoxosulfato): $CuSO_4$ (Sulfato de Cobre)

b. Después se adicionan 20 mL de H_2SO_4 (Ácido tetraoxosulfato) concentrado.

3. Posteriormente se digiere a $420\text{ }^\circ\text{C}$ durante un tiempo que depende de la cantidad y tipo de muestra.

c. Se sabe que la digestión ha terminado porque la disolución adquiere un color verde esmeralda característico o incoloro blancuzco.

d. En esta etapa, el nitrógeno proteico es transformado en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico en caliente.

Figura 10. Digestor de Proteína.



Fuente: (VELP Scientifica, 2016)

7.1.2.2. Etapa de destilación

a. Después de enfriar se adicionan al tubo de digestión 50 mL de agua destilada, se pone en el soporte del destilador y se adiciona una cantidad suficiente de hidróxido sódico 10 N, en cantidad suficiente (50 mL aproximadamente.) para alcalinizar fuertemente el medio y así desplazar el amoníaco de las sales amónicas.

b. El amoníaco liberado es arrastrado por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo durante la destilación, y se recoge sobre una disolución de ácido bórico (al 4 % p/v).

Figura 11. Unidad de Destilación.



Fuente: (VELP Scientifica, 2016)

c. Seguidamente, se valora la muestra contra ácido clorhídrico 0,1 N, hasta lograr que dicha muestra de suero en polvo de la solución de verde pase a solución rosada intenso. Esto se logra al titular con ácido clorhídrico 0,1 N y utilizando fenolftaleína como indicador.

d. Por último se realiza el cálculo utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{\text{mg N}}{\text{mg muestra}} \times 100 \times 6,38 \text{ (constante)}$$

$$\mathbf{N} = \text{mg consumido HCL} \times 14$$

7.1.3. Procedimiento para la determinación de lactosa.

Se analizó por el método enzimático, utilizando un kit de ensayo de Boehringer Mannheim de Biopharm. A continuación, se describe el procedimiento, según (R-Biopharm Latinoamérica S.A. , 2016).

Lactosa/D-Galactosa

BOEHRINGER MANNHEIM / R- BIOPHARM Enzymatic BioAnalysis/Food Análisis

Método UV

Para la determinación de lactosa y D- Galactosa en alimentos y otros materiales.

Para uso *in vitro* solamente

Almacenar a 2-

8°C

Cat. No. 0176 303

Test-Combinado para 32 determinaciones

Para recomendaciones de métodos y procedimientos estándares ver referencias (A 2, B 2)

A1) Principio (Ref.
La lactosa se hidroliza a D-glucosa y D-galactosa a pH 6.6 en presencia de la enzima β -galactosidasa y agua (1).

(1) Lactosa + agua $\xrightarrow{\beta\text{-galactosidasa}}$ D-glucosa + D-galactosa

La D-galactosa se oxida a pH 8.6 por adenina nicotinamida dinucleótico (NAD) para dar ácido D-galactónico en presencia de la enzima β - galactosa deshidrogenasa (Gal-DH) (2).

(2) D-galactosa + NAD⁺ $\xrightarrow{\text{Gal-DH}}$ D-ácido galactónico + NADH + H⁺

La cantidad de NADH formado en la reacción (2) es estequiométrico con la cantidad de lactosa y D-galactosa respectivamente. El aumento en NADH se mide por medio de su absorbancia a 334, 340 ó 365 nm.

3. Botella 3 con aprox. 34 ml de solución de: Buffer fosfato di potásico, pH aprox. 8.6

4. Botella 4 con aprox. 1.7 suspensión de galactosa deshidrogenasa, aprox. 40 U

5. Botella 5 con solución de lactosa para control del ensayo (la medición de la solución control no es necesaria para el cálculo de los

resultados del ensayo). Utilice la solución control sin diluir (fecha de vencimiento: ver etiqueta)

Pipetear en la cubeta	Blanco de la muestra de Lactosa	Muestra de lactosa	Blanco de la muestra de Galactosa	Muestra de
solución 1*	0,200 ml	0,200 ml	0,200 ml	0,200 ml
suspensión 2	0,050 ml	0,050 ml	-	-
solución de muestra**		0,100 ml	-	0,100 ml
Mezclar* e incubar por 20 min a 20-25 °C. Agregar:				
solución 3	1,000 ml	1,000 ml	1,000 ml	1,000 ml
agua	2,000 ml	1,900 ml	2,050 ml	1,950 ml
Mezclar ***, luego de 2 minutos leer la absorbancia de las soluciones				
suspensión 4	0,050 ml	0,050 ml	0,050 ml	0,050 ml
Mezclar ***, esperar hasta que la reacción se haya detenido (aprox. 15 min con 50 ug lactosa / ensayo y aprox. 30 min con 200 ug lactosa / ensayo) y leer las absorbancias de las soluciones (A2). Si la reacción no se detiene luego de 15 min, continuar leyendo las absorbancias a intervalo de 5 min hasta que el aumento de la misma sea constante durante 15 min.				

1. Disolver el contenido de la Botella 1 con 7.0 ml de agua bidestilada.

2. Usar la suspensión de la Botella 2 sin diluir.

3. Usar la solución de la Botella 3 sin diluir.

4. Usar la suspensión de la Botella 4 sin diluir.

Preparación de las soluciones

Estabilidad de los reactivos

El contenido de la Botella 1 es estable a 2-8°C (ver etiqueta). La solución 1 es estable por 3 meses a 2-8°C.

Llevar la Solución 1 a 20-25°C antes de su uso.

Contenidos de las Botella 2, 3 y 4 son estables a 2-8°C (ver etiqueta). Llevar la solución 3 a 20-25°C antes de su uso.

Procedimiento

Longitud de onda¹: 340 nm, Hg 365 nm ó Hg 334 nm
Cubeta de vidrio²: 1.00 cm de paso de luz
Temperatura: 20-25°C

Volumen final: 3.300 ml

Leer contra aire (sin cubeta en el paso de luz) ó contra agua

Soluc. de muestra: 4-200 ug de lactosa y D-galactosa/ensayo³

En 0.100-0.500 ml de volumen de muestra

1 La absorción máxima de NADH es a 340 nm. En espectrofotómetros las mediciones se toman a la máxima absorción, si se utilizan fotómetros espectrales equipados con lámpara de vapor de mercurio, las mediciones se toman a 365 nm ó 334 nm.

2 Si se desea se pueden utilizar cubetas descartables en lugar de cubetas de vidrio.

3 Ver las instrucciones para el rendimiento del ensayo.

4 Si la muestra no contiene D-galactosa libre, puede omitirse el uso del ensayo del blanco y muestra de D-galactosa.

* Pipetear la solución 1, la suspensión 2 y la solución de muestra, cada una en el fondo de la cubeta, mezclar por agitación. Cuando se utiliza una espátula plástica, retírela de la cubeta directamente en el momento de medir la absorbancia A₁

** Enjuagar el tip de la pipera con solución de muestra antes de dispensar la solución de muestra.

*** Por ejemplo, con una espátula plástica ó por agitación después de cubrir la cubeta con

Parafilm (marca registrada de la American Can Company, Greenwich, Ct., USA).

Si la absorbancia A₂ aumenta constantemente, extrapolar la absorbancia al tiempo de la adición de la suspensión 4 (β-galactosa deshidrogenasa).

Determinar la diferencia de absorbancias (A₂ - A₁) para el blanco y las muestras. Sustraer la diferencia de absorbancia del blanco de la diferencia de absorbancia de la muestra correspondiente.

$$\begin{aligned} \Delta A &= (A_2 - \\ A_1)_{\text{muestra}} &- (A_2 - \\ A_1)_{\text{blanco}} \end{aligned}$$

Corresponde a ΔA D-galactosa (de la "muestra de D-galactosa") y ΔA lactosa + D-galactosa (de la muestra de lactosa). La diferencia de estos valores corresponden a ΔA lactosa.

Las diferencias en las medidas de absorbancia debe, como regla, ser al menos de 0.100 unidades de absorbancia para obtener suficiente precisión en los resultados (ver "Instrucciones para el rendimiento del ensayo" y "Sensibilidad y límite de detección", punto 4).

Cálculos

De acuerdo a la ecuación general del cálculo de las concentraciones: V x MW

$$c = \frac{\Delta A}{\epsilon \times d} \times 1000$$

V = volumen final (ml)

v = volumen de muestra (ml)

MW (g/mol) = peso molecular de la sustancia a ensayar

d = paso de luz (cm)

ε = coeficiente de extinción del NADH a:

$$\begin{aligned} 340 \text{ nm} &= 6.3 \text{ (l x mmol}^{-1} \text{ x cm}^{-1}\text{)} \\ \text{Hg } 365 \text{ nm} &= 3.4 \text{ (l x mmol}^{-1} \text{ x cm}^{-1}\text{)} \\ \text{Hg } 334 \text{ nm} &= 6.18 \text{ (l x mmol}^{-1} \text{ x cm}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

Corresponde para lactosa (calculado como lactosa anhidra):

3.300 x 342.3

11.30

$$c = \frac{\text{-----}}{\Delta A \text{ lactosa (g lact. / l)}} \times \Delta A \text{ lactosa} = \text{-----} \times \epsilon$$

$$\frac{\epsilon \times 1.00 \times 0.100 \times 1000}{\text{de sol. de muestra}} \times \Delta A \text{ lactosa} = \text{-----} \times \Delta A \text{ lactosa}$$

Para lactosa (calculado como lactosa monohidrato):

3.300 x 360.32 11.89

$$c = \frac{\text{-----}}{\text{lact. x H}_2\text{O/}} \times \Delta A \text{ lactosa} = \text{-----} \times \Delta A \text{ lactosa}$$

$$\frac{\epsilon \times 1.00 \times 0.100 \times 1000}{\text{de muestra)}} \times \Delta A \text{ lactosa} = \text{-----} \times \Delta A \text{ lactosa}$$

para D-galactosa:

3.300 x 180.16 5.945

$$c = \frac{\text{-----}}{\text{galactosa (g D-}} \times \Delta A \text{ galactosa} = \text{-----} \times \Delta A$$

$$\frac{\epsilon \times 1.00 \times 0.100 \times 1000}{\text{gal. / l de}} \times \Delta A \text{ galactosa} = \text{-----} \times \Delta A$$

sol. de muestra)

Si la muestra se ha diluido durante la preparación, los resultados deben multiplicarse por el factor de dilución F.

Cuando se analizan muestras sólidas ó semisólidas que se pesan para la preparación de la muestra, los resultados se calculan a partir de la cantidad pesadas:

c_{lactosa} (g/l de sol. de muestra)

$$\text{Contenido}_{\text{lactosa}} = \frac{\text{-----}}{\text{(g / 100g)}} \times 100$$

peso muestra en g/l sol. de muestra

$c_{\text{galactosa}}$ (g/l de sol. de muestra)

$$\text{Contenido}_{\text{galactosa}} = \frac{\text{-----}}{\text{(g / 100g)}} \times 100$$

peso muestra en g/l sol. de muestra

1. Instrucciones para el funcionamiento del kit

La cantidad de lactosa y D-galactosa presente en el ensayo debe ser entre 10 ug y 200 ug (medidos a 365 nm) ó 4 ug y 100 ug (medidos a

340, 334 nm) respectivamente. Para obtener una diferencia de absorbancias suficiente, la solución de muestra debe diluirse para dar

una concentración de lactosa y D-galactosa entre 0.3 y 2 g/l ó 0.2 y 1

g/l respectivamente.

Tabla de dilución

Cantidad estimada de lactosa y D-galactosa por litro medido a		Dilución con agua	Dilución factor F
340 ó 334 nm	365 nm		
< 1,0 g	< 2,0 g	1 + 91 + 99	1
1,0-10,0g	2,0-20,0 g 20,0-200 g	1+ 999	10
10,0-100			100

Si la medida de la diferencia de absorbancias (ΔA) es muy pequeña (ej. < 0.100), debe prepararse nuevamente la solución de muestra (pesar mas cantidad de muestra ó diluir menos la muestra) ó el volumen de muestra que se pipetea en la cubeta puede aumentarse hasta 0.500 ml (neutralizar la muestra previamente si es necesario). El volumen de agua agregada debe, en ese caso, disminuirse para obtener el mismo volumen final en el ensayo para la muestra y el blanco. El nuevo volumen de muestra v debe tomarse en cuenta en los cálculos.

2.

Información técnica

2.1. Muchos alimentos no contienen D-galactosa libre. Por lo tanto la determinación de galactosa puede obviarse.

2.2. Si solamente se tiene que cuantificar D-galactosa (ó arabinosa, ver punto 11), el ensayo puede proseguir sin la incubación luego del

agregado de la solución de muestra.

2.3. El cálculo de los resultados puede hacerse sobre la base de lactosa anhidra (peso molecular 342.3), que es lo recomendado, y sobre la base de lactosa monohidrato (peso molecular 360.32). Cuando se comparan datos, se debe asegurar que se utiliza el mismo peso molecular para realizar los cálculos (los valores para la lactosa monohidrato son 5% mayores que para la lactosa anhidra).

3.

Especificidad

La β -galactosidasa hidroliza las uniones β -galactosídicas por ej. en lactosa y con una menor velocidad en lactulosa con la toma de agua. Además de oxidar a la D-galactosa, la Gal-DH también oxida L-arabinosa. En alimentos solamente se encuentran pequeñas cantidades de D-galactosa y L-arabinosa libre siempre que hayan sido liberadas de sus uniones glicosídicas naturales (ej. productos higroscópicos) debido a influencias químicas ó enzimáticas.

Al analizar lactosa monohidrato comercial (peso molecular 180.16) se esperan resultados < 100% porque los materiales absorben humedad.

4. Sensibilidad y límite de detección

La mínima diferencia en absorbancia para el procedimiento es de

0.005 unidades de absorbancia. Este valor corresponde a un volumen máximo de muestra $v = 0.500$ ml y medición a 340 nm de una concentración de lactosa de 2 mg/l, y 1 mg de D-galactosa/l de solución de muestra respectivamente (si se utiliza un $v = 0.100$ ml, esto corresponde a 10 mg y 5 mg de Lactosa y D-galactosa respectivamente por litro de solución de muestra).

El límite de detección de 7 mg de lactosa y 4 mg de D-galactosa respectivamente por litro deriva de la diferencia de absorbancia de

0.020 (medida a 340 nm) y un máximo de volumen de muestra de $v =$

0
.500 ml.

5.

Linealidad

La linealidad de la determinación es desde aproximadamente 4 ug de lactosa + D-galactosa /ensayo (7 mg de lactosa + D-galactosa /l de solución de muestra, volumen de muestra $v = 0.500$ ml) hasta 200 ug de lactosa + D-galactosa /ensayo (2 g de lactosa + D-galactosa /l de solución de muestra, volumen de muestra $v = 0.100$ ml).

6.

Precisión

En una determinación de D-galactosa por duplicado utilizando una única solución de muestra, pueden obtenerse diferencias de 0.005 a

0.010 unidades de absorbancia. Con un volumen de muestra de $v =$

0.100 ml y medido a 340 nm, esto corresponde a una concentración aproximada de D-galactosa de 5-10 mg/l. (Si la muestra se diluye durante la preparación, el resultado debe multiplicarse por el factor de dilución F. Si la muestra se pesa durante la preparación, ej. usar 1 g de muestra /100 ml = 10 g/l, se puede esperar una diferencia de 0.05-

0.1
g/100 g).

En una determinación de lactosa por duplicado utilizando una única solución de muestra, pueden obtenerse diferencias de 0.010 a 0.015 unidades de absorbancia. Con un volumen de muestra de $v = 0.100$ ml y medido a 340 nm, esto corresponde a una concentración aproximada de lactosa de 15-25 mg/l. (Si la muestra se diluye durante la preparación de la muestra, el resultado debe multiplicarse por el factor de dilución F. Si la muestra se pesa durante la preparación, ej. usar 1 g de muestra /100 ml = 10 g/l, se puede esperar una diferencia de 0.15-0.25 g/100g).

En la literatura se han publicado los siguientes datos: Lactosa en chocolate:

$x = 6.01$ g/100 g $s = 0.04$ g/100 g CV = 0.7 %
(Ref. A 1.1)

25 ug D-galactosa/ensayo CV
= 0.95 %

85 ug lactosa/ensayo CV
= 1.13 %

50 ug D-galactosa/ensayo CV
= 0.64 %

170 ug lactosa/ensayo CV = 0.78 %
(Ref. A 1.2) Leche y productos lácteos:

Lactosa: $r = 0.05 \times$ (contenido lactosa en g/100
g)/100 g

$R = 0.06 \times$ (contenido lactosa en g/100 g)
g/100 g

D-Galactosa: $r = 0.10 \times (\text{contenido}_{D\text{-Gal. en g/100 g}})$
 $R = 0.12 \times (\text{contenido}_{D\text{-Gal. en g/100 g}})$

Lactosa en chocolate: $r = 0.188 \text{ g/100 g}$ $S_{(r)} = \pm$
 $R = 0.434 \text{ g/100 g}$ $S_{(R)} = \pm 0.153$

Para mas datos ver las referencias.
 (Ref. A 2.5)

7. Reconociendo interferencias durante el desarrollo del ensayo

7.1 Si la conversión de D-galactosa se completa de acuerdo al tiempo estipulado en "Procedimiento", se puede concluir, generalmente, que no han ocurrido interferencias.

7.2 Al finalizar la reacción, la determinación puede reiniciarse agregando D-galactosa (cualitativa ó cuantitativamente): si la absorbancia se altera subsecuentemente a la adición del material estándar, es también indicio que no han ocurrido interferencias.

La reacción no puede reiniciarse con lactosa debido a que, al alterar las condiciones de la reacción de pH 6.6 a pH 8.6 ("cambio de buffer"), la lactosa no puede ser clivada.

7.3 Se pueden reconocer errores de operatividad ó interferencia de la

determinación por la presencia de sustancias presentes en la muestra realizando una doble determinación utilizando dos volúmenes diferentes (ej. 0.100 ml y 0.200 ml): las diferencias medidas de absorbancia deben ser proporcionales a los volúmenes de muestra utilizados.

Cuando se analizan muestra sólidas, se recomienda pesar diferentes cantidades (ej. 1 g y 2 g) en recipientes de 100 ml. Las diferencias medidas de las absorbancias y los pesos de las muestras utilizados

7.5 Se pueden reconocer posibles pérdidas durante la determinación llevando a cabo ensayos de recuperación: la muestra debe prepararse y analizarse con y sin el material estándar. La cantidad adicionada debe recuperarse cuantitativamente con el mismo rango de error que el método.

8. Riesgo de los reactivos

Los reactivos utilizados en la determinación de lactosa y D-galactosa no son materiales riesgosos de acuerdo a las Regulaciones de Sustancias Peligrosas, las Leyes Químicas ó la Regulación

67/548/EEC de la CEE y subsecuentes Guías de alteraciones, suplementos y adaptaciones. Aún así, deben cumplirse

todas las medidas de seguridad generales que se aplican a todas las sustancias químicas.

Luego de su utilización, los reactivos deben desecharse con el descarte del laboratorio, pero deber observarse siempre las regulaciones locales. El material de empaque puede desecharse en

recipientes destinados al reciclado.

9. Información general sobre la preparación de muestra

Al llevar a cabo el ensayo:

Usar **muestras líquidas límpidas, incoloras y prácticamente neutras** directamente ó luego de diluirlas de acuerdo a la tabla de

dilución, y usar un volumen hasta 0.500 ml. Filtrar **soluciones turbias**;

Desgasear **muestras que contengan dióxido de carbono** (ej. por

f

iltración);

Tratar las **muestras "altamente coloreadas"** que se usan sin diluir ó en grandes volúmenes con polivinilpirrolidona (PVPP) ó con poliamida, ej. 1 g/100 ml;

Muela ó homogeneice las **muestras sólidas ó semisólidas**, extraer

con agua caliente ó disolver en agua y filtrar si es necesario, remover turbidez ó restos por clarificación de Carrez;

Desproteínizar **muestras que contengan proteínas** con ácido perclórico ó con ácido tricloroacético, alternativamente se pueden clarificar con reactivos de Carrez;

Extraer **muestras que contengan grasa** con agua caliente (la

temperatura de extracción debe ser mayor que el punto de fusión de la grasa involucrada). Enfriar para permitir que la grasa se separe, colocar el recipiente en baño de hielo por 15 min y filtrar, alternativamente se puede clarificar con solución de Carrez luego de la extracción con agua caliente;

Romper las **emulsiones** con ácido tricloroacético ó clarificar con soluciones de Carrez.

Clarificación de Carrez:

Pipetear la muestra líquida en un recipiente graduado de 100 ml que contenga aproximadamente 60 ml de agua destilada, ó pesar una cantidad suficiente de muestra dentro del recipiente graduado de 100 ml que contenga aproximadamente 60 ml de agua bidestilada. Seguidamente agregar con mucho cuidado 5 ml de solución de Carrez I (hexacianoferrato de potasio (II) (ferrocianuro), 85 mM = 3.60 g

$K_4[Fe(CN)_6] \times 3 H_2O/100$ ml) y 5 ml de solución de Carrez-II (sulfato de zinc, 250 mM = 7.20 g $ZnSO_4 \times 7 H_2O/100$ ml). Ajustar a pH 7.5-8.5 con solución de hidróxido de sodio (0.1 M; ej. 10 ml). Mezclar luego de cada adición. Llenar el volumen a 100 ml, mezclar y filtrar.

Determinación de lactosa en yogur, crema y leche en polvo y suero de leche

Pesar aprox. 1 g de muestra en un recipiente graduado de 100 ml, agregar aprox. 60 ml de agua e incubar por 15 min a 70°C agitando periódicamente. Para la clarificación, agregue 5 ml de solución de Carrez I (3.60 g $K_4[Fe(CN)_6] \times 3 H_2O/100$ ml), 5 ml de solución de Carrez-II (sulfato de zinc, 250 mM = 7.20 g $ZnSO_4 \times 7 H_2O/100$ ml) y

10 ml de NaOH (0.1 M); mezclar luego de cada adición, enfriar a 20-

25 °C y llevar a 100 ml con agua, filtrar. Usar la solución clara, posiblemente opalescente, para el ensayo.

C

álculos::

11.

$$30 \times \Delta A \times F$$

$$c = \frac{\dots}{\epsilon} \text{ [g}$$

lactosa / l muestra]

ϵ

-

$$33.00 \times \Delta A \times F$$

$$c = \frac{\dots}{\epsilon} \text{ [mmol}$$

lactosa / l muestra]

ϵ

Long.	Hg	34	Hg
c	3.32	1.79	1.82
c	9.70	5.23	5.34

7.1.4. Procedimiento de análisis de cantidad de Humedad

El presente método fue tomado del Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I (Castillo, 2015)

La determinación de humedad o sustancias volátiles a 105 °C se basa en la pérdida de peso que sufre el alimento al calentarlo a 105 °C. Para realizar el análisis de humedad se debe pesar la cápsula de porcelana vacía limpia y seca.

Pesar en balanza analítica 3 g de la muestra por analizar en la cápsula de porcelana previamente pesada. Se lleva la muestra a una estufa a 105 °C durante 2 horas. Transcurrido el tiempo retirar la cápsula de la estufa e inmediatamente colocarla en un desecador hasta que alcance temperatura ambiente aproximadamente 30 minutos. Se procede a determinar el peso de la cápsula de porcelana más el residuo de la muestra desecada. A partir del peso obtenido se calcula el porcentaje de agua en base húmeda. Por último, se calcula el porcentaje de materia seca, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra} - \text{Peso Residuo}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

7.1.5. Procedimiento de análisis de cantidad de cenizas totales

El presente método se tomó del Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I (Castillo, 2015)

Para realizar el análisis de ceniza se debe pesar la cápsula de porcelana vacía limpia y seca. Pesar en balanza analítica 3 g de la muestra (suero en polvo). Para colocar las capsulas con la muestra dentro de la mufla esta debe estar a una temperatura de 500 a 600 °C, dichas cápsulas deben permanecer por 4 horas dentro de la mufla. Una vez transcurrido el tiempo se deben colocar en el desecador hasta llegar a temperatura ambiente, aproximadamente 30 minutos. Estando las muestras frías se

procede a tomar los datos en una balanza analítica. Por último, se realizan los cálculos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso Residuo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

7.1.6. Procedimiento de la determinación de acidez

El presente método se tomó del Manual de Procedimientos. Laboratorio de Química de Alimentos I (Castillo, 2015)

Se utiliza el método de obtención de acidez de la leche en polvo, el cual se ajustó y como muestra se utiliza suero de queso fresco en polvo. Como primer lugar se prepara una muestra de 10 g de la muestra en un beaker de 100 mL previamente tarado con un error máximo de 0.1g. Seguidamente se añaden 60 mL de agua destilada previamente calentada a temperatura entre 60-70 °C se debe agitar hasta la total disolución y se trasvasa cuantitativamente a un balón aforado de 100 mL (para dicho procedimiento se debe esperar que la espuma que se genera al agitar baje), completar con agua destilada a la línea de aforo y agitar hasta homogenizar. Se toma una alícuota de 25 mL para la valoración contra NaOH 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador pasando de una coloración gris a rosada. Para obtener el resultado se debe realizar la siguiente formulación:

$$\%H_{\text{citríco}} = \frac{(mL \times M) \times meq \text{ ácido} \times 100}{mL \text{ muestra}}$$

$$meq \text{ ácido cítrico} = 0,06404 \text{ g/mmol}$$

$$\%H_{\text{fosfórico}} = \frac{(mL \times M) \times meq \text{ ácido} \times 100}{mL \text{ muestra}}$$

7.3. Datos de pruebas de campo y resultados de laboratorio

A continuación, se anexan todas las pruebas y resultados obtenidos durante el proceso de esta investigación.

7.3.1. Prueba de Campo A.

Tabla 7. Información del proceso de deshidratación A.

Tipo de queso	Queso Fresco 2%
Fecha de producción de queso	29-1-16
Fecha de deshidratación	30-1-16
Hora de Inicio	06:55
Hora Final	10:17
pH	6,64
Gramos Suero Procesado	30000
Cantidad de Finos (g)	156,5
Cantidad de Gruesos (g)	188
Total	344,5

Tabla 8. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo A.

HORA	Temperatura de Entrada	Límite Inferior	Limite Superior	Temperatura de Salida	Límite Inferior	Limite Superior	Velocidad de Disco
07:48	193	140	220	72	70	100	60,3
07:50	194	140	220	75	70	100	60,3
07:54	195	140	220	84	70	100	60,3
08:03	170	140	220	98	70	100	60,3
08:17	185	140	220	84	70	100	60,3
08:21	185	140	220	84	70	100	60,3
08:25	187	140	220	85	70	100	60,3
08:30	168	140	220	86	70	100	60,3
08:32	166	140	220	86	70	100	60,3
08:50	164	140	220	87	70	100	60,3
09:00	167	140	220	88	70	100	60,4
09:05	164	140	220	88	70	100	60,4
09:14	167	140	220	89	70	100	60,5
09:26	166	140	220	90	70	100	60,5
09:33	167	140	220	91	70	100	60,5
09:42	167	140	220	91	70	100	60,5
09:55	165	140	220	91	70	100	60,5
10:02	168	140	220	92	70	100	60,5
06:47	169	140	220	78	70	100	60,1
06:48	170	140	220	82	70	100	60,1
06:52	171	140	220	86	70	100	60,1
06:54	172	140	220	87	70	100	60,1

06:58	171	140	220	88	70	100	60,1
07:05	170	140	220	89	70	100	60,1
07:10	171	140	220	90	70	100	60,9
07:12	170	140	220	91	70	100	60,2
07:13	169	140	220	88	70	100	60,2
07:23	172	140	220	79	70	100	60,2
07:26	171	140	220	80	70	100	60,2
07:30	168	140	220	80	70	100	60,2
07:35	171	140	220	82	70	100	60,2
08:34	166	140	220	76	70	100	60,2
08:37	167	140	220	79	70	100	60,2
08:39	166	140	220	83	70	100	60,2
08:42	168	140	220	84	70	100	60,2
08:44	170	140	220	86	70	100	60,2
08:47	171	140	220	89	70	100	60,2
08:48	171	140	220	87	70	100	60,2
08:55	168	140	220	87	70	100	60,2
09:00	168	140	220	87	70	100	60,3
09:05	170	140	220	87	70	100	60,4
09:10	170	140	220	88	70	100	60,4
09:15	170	140	220	88	70	100	60,4
09:20	170	140	220	89	70	100	60,4
09:25	170	140	220	88	70	100	60,4
09:30	169	140	220	87	70	100	60,5
07:16	171	140	220	81	70	100	60,3
07:21	169	140	220	84	70	100	60,3
07:23	169	140	220	86	70	100	60,3
07:29	172	140	220	87	70	100	60,3

07:30	172	140	220	87	70	100	60,3
07:35	171	140	220	85	70	100	60,4
07:40	170	140	220	84	70	100	60
07:45	172	140	220	86	70	100	60,1
07:50	172	140	220	87	70	100	60
07:57	171	140	220	86	70	100	60,1
08:01	172	140	220	86	70	100	60,1
08:05	171	140	220	85	70	100	60,1
08:11	169	140	220	85	70	100	60,1
08:16	172	140	220	86	70	100	60,1
08:20	171	140	220	88	70	100	60,1
08:25	170	140	220	88	70	100	60,1
08:30	170	140	220	88	70	100	60,1
08:35	173	140	220	89	70	100	60,1
08:42	170	140	220	89	70	100	60,1
08:45	170	140	220	89	70	100	60,1
08:50	171	140	220	89	70	100	60,1
08:55	171	140	220	89	70	100	60,1
09:00	169	140	220	89	70	100	60,1
09:02	169	140	220	89	70	100	60,1

7.3.2. Prueba de Campo B.

Tabla 9. Información del proceso de deshidratación B.

Tipo de queso	Queso Fresco 2%
Fecha de producción de queso	
Fecha de deshidratación	
Hora de inicio	06:25
Hora de alimentación	06:44
Hora final	09:35
pH	5,42
Gramos Suero Procesado	21790
Cantidad de Finos (g)	343
Cantidad de Gruesos (g)	131
Total	474

Tabla 10. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo B.

HORA	Temperatura de Entrada	Temperatura de Salida	Velocidad de Disco	Alimentación	Observaciones
06:47	169	78	60,1	16,1	
06:48	170	82	60,1	16,1	
06:52	171	86	60,1	16,1	
06:54	172	87	60,1	16,1	
06:58	171	88	60,1	16,1	

07:05	170	89	60,1	16,1	
07:10	171	90	60,9	16,1	
07:12	170	91	60,2	16,7	
07:13	169	88	60,2	16,6	
07:23	172	79	60,2	16,6	
07:26	171	80	60,2	16,6	
07:30	168	80	60,2	16,6	
07:35	171	82	60,2	16,6	
08:34	166	76	60,2	16,1	
08:37	167	79	60,2	15,8	
08:39	166	83	60,2	15,8	
08:42	168	84	60,2	15,8	
08:44	170	86	60,2	15,8	
08:47	171	89	60,2	16,2	
08:48	171	87	60,2	16,2	
08:55	168	87	60,2	16,2	
09:00	168	87	60,3	16,2	
09:05	170	87	60,4	16,2	
09:10	170	88	60,4	16,4	
09:15	170	88	60,4	16,4	
09:20	170	89	60,4	16,4	
09:25	170	88	60,4	16,4	
09:30	169	87	60,5	16,4	

7:37 La bomba de salida se detuvo. Se reanuda la deshidratación a las 8:33

7.3.3. Prueba de campo C.

Tabla 11. Información del proceso de deshidratación B.

Tipo de queso	Queso fresco 2%
Fecha de producción de queso	
Fecha de deshidratación	27-2-16
Hora de inicio	06:55
Hora de alimentación	07:16
Hora final	09:02
pH	6,40
Gramos suero procesado	20000
Cantidad de finos (g)	682,5
Cantidad de gruesos (g)	248
Total	930,5

Tabla 12. Datos de parámetros de proceso de la prueba de campo C.

HORA	Temperatura de Entrada	Temperatu- ra de Salida	Velocidad de Disco	Alimentación	Velocidad de Entrada	Velocidad de Salida
07:16	171	81	60,3	15,8	40	30
07:21	169	84	60,3	15,8	40	30
07:23	169	86	60,3	16,1	40	30
07:29	172	87	60,3	16,1	40	30
07:30	172	87	60,3	16,5	40	30
07:35	171	85	60,4	16,7	40	30
07:40	170	84	60	16,7	40	30
07:45	172	86	60,1	16,7	40	30

07:50	172	87	60	16,7	40	30
07:57	171	86	60,1	16,7	40	30
08:01	172	86	60,1	16,7	40	30
08:05	171	85	60,1	16,7	40	30
08:11	169	85	60,1	16,7	40	30
08:16	172	86	60,1	16,7	40	30
08:20	171	88	60,1	16,7	40	30
08:25	170	88	60,1	16,7	40	30
08:30	170	88	60,1	16,7	40	30
08:35	173	89	60,1	16,7	40	30
08:42	170	89	60,1	16,7	40	30
08:45	170	89	60,1	16,7	40	30
08:50	171	89	60,1	16,7	40	30
08:55	171	89	60,1	16,7	40	30
09:00	169	89	60,1	16,7	40	30
09:02	169	89	60,1	16,7	40	30

7.3.4. pH del suero líquido.

Tabla 13. Resultados de pH en suero líquido.

Fecha de Producción	pH
30-1-16	6,64
13-2-16	5,42
27-2-16	6,40

7.3.5. Análisis de Sólidos Totales en Suero Líquido.

Tabla 14. Resultados de análisis de sólidos totales en suero líquido.

Fecha de producción	Repetición	% de Humedad	% de sólidos
30-1-16	1	93,64	6,36
30-1-16	2	93,48	6,52
30-1-16	3	93,54	6,46
13-2-16	1	93,35	6,65
13-2-16	2	93,46	6,54
13-2-16	3	93,81	6,19
27-02-16	1	93,59	6,41
27-02-16	2	93,44	6,56
27-02-16	3	93,49	6,51

7.4. Resultados de análisis de laboratorio.

7.4.1. Caracterización de las propiedades físico – químicas del suero de queso fresco.

7.4.1.1. Análisis de Grasa.

Tabla 15. Resultados de análisis de grasa en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	Repetición	Número de beaker	Peso de beaker+ núcleos	Peso de muestra	Peso beaker + residuo	Peso de residuo	% de grasa
30-01-16	20-2-16	1	1	75,7596	3,0616	75,8097	0,0501	1,63639927
30-01-16	20-2-16	2	2	75,0119	3,2839	75,0657	0,0538	1,63829593
30-01-16	20-2-16	3	3	75,8209	3,0203	75,8701	0,0492	1,62897725
13-2-16	20-2-16	1	1	76,8990	3,0647	76,9421	0,0431	1,40633667
13-2-16	20-2-16	2	2	75,9495	3,1092	75,9936	0,0441	1,41837129
13-2-16	20-2-16	3	3	76,7095	3,0629	76,7519	0,0424	1,38430899
27-2-2016	14-5-16	1	1	73,6455	3,0435	73,6849	0,0394	1,29456218
27-2-2016	14-5-16	2	2	73,9404	3,0497	73,9792	0,0388	1,27225629
27-2-2016	14-5-16	3	3	74,2713	3,0368	74,3096	0,0383	1,261196

7.4.1.2. Análisis de Proteína.

Tabla 16. Resultados de análisis de proteína en suero en polvo.

Fecha	Beaker	Muestra (g)	mg de muestra	mL de HCl consumido	mg de n	% de proteína
30-1-16	2	6,4404	644	7,10	10,42706	10,3292719
30-1-16	3	6,4404	644	7,10	10,42706	10,3292719
30-1-16	4	6,4404	644	7,90	11,60194	11,4931335
13-2-16	1	6,4129	641	7,90	11,60194	11,5424187
13-2-16	1	6,0743	607,43	7,9	10,708292	11,2472059
13-2-16	2	6,0743	607,43	7,6	10,301648	10,8200968
27-2-16	3	6,0305	603,05	7,6	11,16136	11,808221
27-2-16	5	6,0305	603,05	7,6	11,16136	11,808221
27-2-16	6	6,0305	603,05	7,7	11,30822	11,9635923

7.4.1.3. Análisis de Lactosa.

Tabla 17. Resultados de análisis de lactosa en suero en polvo.

Fecha de análisis	Producto	Código	Peso	Muestra Lactosa			ΔA Lac - Gal	gramos Lac/L	% Lactosa
				A2	A1	ΔA			
6/2/2016	30-1-16	A	0.253	0.99036	0.07364	0.91672	0.91672	1.64427	64.99
6/2/2016	30-1-16		0.250	0.96257	0.07049	0.89208	0.89208	1.60009	64.00
9/8/2016	30-1-16		0.250	0.94087	0.06846	0.87241	0.87241	1.56480	62.59
9/8/2016	30-1-16		1.013	0.95017	0.072496	0.8777	0.87767	1.57424	62.16
6/2/2016	13-2-16	B	0.258	1.01810	0.07841	0.93969	0.93969	1.68547	65.33
6/2/2016	13-2-16		0.256	0.98813	0.06835	0.91978	0.91978	1.64977	64.44
9/8/2016	13-2-16		0.252	0.9558	0.071033	0.8848	0.88477	1.58696	62.97
9/8/2016	13-2-16		1.016	0.97082	0.063025	0.9078	0.90780	1.62827	64.11
6/2/2016	27-2-16	C	0.255	0.97362	0.06109	0.91254	0.91254	1.63677	64.19
6/2/2016	27-2-16		0.255	0.97625	0.06898	0.90727	0.90727	1.62732	63.82
9/8/2016	27-2-16		0.288	1.0904	0.069526	1.0209	1.02087	1.83109	63.58
9/8/2016	27-2-16		1.014	0.95589	0.062371	0.8935	0.89352	1.60266	63.22

7.4.1.4. Análisis de Humedad.

Tabla 18. Resultados de análisis de porcentaje de Humedad en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	Repetición	Número de cápsula	Peso de cápsula	Peso de muestra	Peso residuo + capsula 1	Peso de residuo	% de humedad
30-01-16	20-2-16	1	26	16,4653	3,0498	19,3763	2,9110	4,55
30-01-16	27-2-16	2	34	10,0542	3,0161	12,9283	2,8741	4,71
30-01-16	27-2-16	3	26	16,4665	3,0360	19,3728	2,9063	4,27
13-2-16	20-2-16	1	12	9,8826	3,0377	12,8161	2,9335	3,43
13-2-16	27-2-16	2	30	10,8992	3,0036	13,7888	2,8896	3,80
13-2-16	27-2-16	3	29	10,2005	3,0605	13,1495	2,9490	3,64
27-2-15	03/05/16	1	11	9,6976	3,0352	12,6277	2,9301	3,46
27-2-15	03/05/16	2	17	9,5923	3,0403	12,5276	2,9353	3,45
27-2-15	03/05/16	3	32	9,5835	3,0556	12,5409	2,9574	3,21

7.4.1.5. Análisis de Cenizas.

Tabla 19. Resultados de análisis de cenizas en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	de	Repetición	Número de cápsula	Peso de cápsula	Peso de muestra	Peso de capsula + residuo	Peso de residuo	% de ceniza
30-01-16	27-02-16	1	7	17,5602	3,0039	17,789	0,2288	7,61676487	
30-01-16	03/05/16	2	21	39,397	3,0895	39,6261	0,2291	7,41543939	
30-01-16	03/05/16	3	24	21,1004	3,0050	21,3250	0,2246	7,47420965	
13-2-16	27-02-16	1	11	21,0891	3,0247	21,319	0,2299	7,60075379	
13-2-16	03/05/16	2	16	18,4159	3,0072	18,6483	0,2324	7,72811918	
13-2-16	03/05/16	3	34	19,3616	3,0351	19,596	0,2344	7,72297453	
27/2/16	03/05/16	1	18	15,9187	3,0014	16,1591	0,2404	8,00959552	
27/2/16	03/12/16	2	18	15,9197	3,0362	16,1606	0,2409	7,93425993	
27/2/16	03/12/16	3	34	19,3629	3,0587	19,6031	0,2402	7,85300945	

7.4.1.6. Análisis de Acidez Titulable.

Tabla 20. Resultados de análisis de acidez titulable en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	Repetición	Peso de muestra	Peso alícuota (ml)	mL de NaOH	Normalidad	Miliequivalentes	Masa en gramos de la muestra en la alícuota valorada.	%acidez
30-01-16	20-2-16	1	10,0995	25	3,5	0,1015	0,09	5,0498	1,2663
30-01-16	20-2-16	2	10,0995	25	3,5	0,1015	0,09	2,5249	1,2663
30-01-16	20-2-16	3	10,0995	25	3,4	0,1015	0,09	2,5249	1,2301
13-2-16	20-2-16	1	10,0399	25	6,3	0,1015	0,09	2,5100	2,2928
13-2-16	20-2-16	2	10,0399	25	6,3	0,1015	0,09	2,5100	2,2928
13-2-16	20-2-16	3	10,0399	25	6,3	0,1015	0,09	2,5100	2,2928
27-2-16	27-2-16	1	10,0042	25	3,3	0,1015	0,09	2,5011	1,2053
27-2-16	27-2-16	2	10,0042	25	3,4	0,1015	0,09	2,5011	1,2418
27-2-16	27-2-16	3	10,0042	25	3,3	0,1015	0,09	2,5011	1,2053

7.4.1.7. Análisis de pH.

Tabla 21. Resultados de análisis de pH en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	Repetición	pH
30-01-16	20-2-16	1	6,54
30-01-16	20-2-16	2	6,46
30-01-16	20-2-16	3	6,48
13-2-16	20-2-16	1	6,07
13-2-16	20-2-16	2	6,06
13-2-16	20-2-16	3	6,06
27-2-16	27-2-16	1	6,65
27-2-16	27-2-16	2	6,65
27-2-16	27-2-16	3	6,65

7.4.2. Variables de Proceso.

7.4.2.1. Análisis de Partículas Insolubles.

Tabla 22. Resultados de análisis partículas insolubles en suero en polvo.

Fecha de producción	Fecha de análisis	Muestra	Gramos de muestra	Gramos de agua	mL de sedimentos (mín)	mL de sedimentos (max)
30-1-16	25-3-16	1			0,1	3
30-1-16	25-3-16	2	20,02	200,8	0,3	1,1
30-1-16	25-3-16	3			0,7	3
13-2-16	25-3-16	1			0	0
13-2-16	25-3-16	2	20,1	200,67	0	0,1
13-2-16	25-3-16	3			0	0,2
27-2-16	25-3-16	1			0	0,3
27-2-16	25-3-16	2	20,1	200,71	0	0,2
27-2-16	25-3-16	3			0	0,1

7.4.3.2. Análisis de Partículas Quemadas.

Figura 12. Resultados de análisis de partículas quemadas en suero en polvo.