

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
SEDE DE ATENAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DEL ASPERSOR DE UN EQUIPO
DESHIDRATADOR DE LECHE EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL EN LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL SEDE DE ATENAS

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

CAROLINA HERRERA GONZÁLEZ
KATIA LIZETH RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

ATENAS, COSTA RICA
AGOSTO, 2016

DECLARACIÓN JURADA

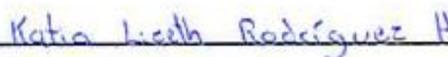
Yo Carolina Herrera González portadora de la cédula 2-0673-0128 y Katia Lizeth Rodríguez Hernández portadora de la cédula 2-0670-0020, estudiantes de la Universidad Técnica Nacional (UTN) en la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos, conocedoras de las sanciones legales con que la Ley Penal de la República de Costa Rica castiga el falso testimonio y el delito de perjurio que pueda ocasionarse ante la Directora de Carrera y quienes constituyen el Tribunal Examinador de este trabajo de investigación, juramos que este trabajo de investigación es una obra original respetando las leyes y que ha sido elaborado siguiendo las disposiciones exigidas por la UTN, así como con los derechos de autor.

En fe de lo anterior firmamos en la ciudad de Atenas, a los veinticinco días del mes de agosto del dos mil dieciséis.



Carolina Herrera González

Cédula 2-0673-0128

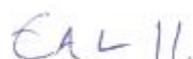


Katia Lizeth Rodríguez Hernández

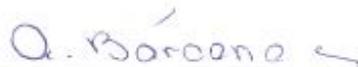
Cédula 2-0670-0020

HOJA DE APROBACIÓN

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



Eduardo Barrantes Guevara
Director Investigación Sede Atenas



Ana María Bárcenas Parra
Directora de Carrera



Alejandro Corrales Azofeifa
Tutor del TFG



Manuel Eduardo Campos Aguilar
Lector TFG



Maureen Espinoza Chacón
Representante de área de producción
Universidad Técnica Nacional, sede Atenas

DEDICATORIA

Nuestro trabajo, sin duda alguna, no hubiese sido posible sin los seres que acompañan nuestro paso por la vida: madre, padre, hermanos, hijas, abuelos, abuelas, mejores amigos y amigas; a ellos dedicamos este esfuerzo, por creer en que cada paso que dábamos era firme y seguro al objetivo, gracias por la donación del tiempo para poder terminar de escribir estas líneas, gracias por las oraciones, buenos deseos y, sobre todo, por la fe en que podíamos culminar exitosamente un capítulo de nuestras vidas.

Dedicamos este esfuerzo a Dios y a su inmensa bondad y bendiciones, por darnos y seguir dándonos la guía.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a cada persona que se dedique a leer estas palabras y a aquellas que haya tenido un aporte en nuestro proyecto de graduación, cada pedacito de apoyo brindado construye nuestro trabajo.

A la directora de carrera Licda. Ana María Bárcenas, agradecemos por su gran dedicación y arduo trabajo por graduar los primeros Licenciados en Ingeniería en Tecnología de Alimentos de la Universidad Técnica Nacional en los mejores términos posibles y por alentarnos, a que con dedicación y esfuerzo toda meta es alcanzable.

A los profesores Alejandro Corrales y Jimmy Rodríguez por su importante y fundamental apoyo en todo el proceso, por dedicar más horas y tiempo de lo debido, es valioso su conocimiento intelectual, pero aún más su ejemplo de colaboración, compromiso y responsabilidad.

A todos los colaboradores de la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas por permitir nuestro trabajo en dicha Institución y por la gran colaboración para hacerlo posible. En especial, a los funcionarios de la Planta Láctea en la Coordinación por Maureen Espinoza, Alex Ortiz, Carlos Salazar y a Ricardo Arias, ya que sin su tiempo y todas sus gestiones, este trabajo no se hubiese realizado.

Agradecemos a la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L por su colaboración, información técnica brindada y por el tiempo de los colaboradores de la Planta de Secado de Leche en San Carlos, especialmente al personal del Laboratorio de Recibo de Leche quienes nos ayudaron a evaluar las muestras del producto final.

Finalmente, agradecemos a las muchas personas reconocidas y no reconocidas, que lucharon a través de los años para que tuviésemos una educación accesible a las posibilidades de nuestras trabajadoras familias, y hoy culminar una educación superior universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objeto de estudio.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Alcances y limitaciones	5
1.7 Referente institucional	6
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1.1 Composición general	8
2.1.2 Calidad de la leche fluida	9
2.1.3 Calidad de la leche fluida para procesos de deshidratación.	11
2.2 Procesamiento de la leche en polvo	12
2.2.1 Leche en polvo	12
2.2.2 Deshidratación de la leche	15
2.2.2.1 Deshidratación por atomización.....	17
2.2.2.2 Deshidratación en una etapa	22
2.2.2.3 Atomización por disco rotativo.....	24
2.3 Análisis para evaluar la calidad de la leche en polvo.....	26
2.3.1 Humedad.....	27
2.3.2 Índice de insolubilidad	28
2.3.3 Partículas quemadas	29
III. MARCO METODOLÓGICO	31
3.1 Localización.....	31

3.2 Equipo de deshidratación -----	31
3.3 Materia prima -----	32
3.3.1 Análisis a la materia prima -----	32
3.4 Metodología del proceso -----	33
3.5 Variables-----	35
3.5.1 Humedad-----	35
3.5.2 Índice de Insolubilidad-----	35
3.5.3 Partículas quemadas -----	35
3.6 Análisis estadístico-----	36
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS -----	37
4.1 Análisis realizados a la leche fluida -----	37
4.2 Análisis de las variables en estudio -----	41
4.2.1 Porcentaje de humedad-----	41
4.2.2 Índice de insolubilidad -----	43
4.2.3 Partículas quemadas -----	45
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	48
5.1 Conclusiones -----	48
5.2 Recomendaciones -----	49
VI. REFERENCIAS -----	52
VII. APÉNDICES -----	54
VIII. ANEXOS -----	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de los componentes de la leche.....	9
Tabla 2. Tratamientos de la leche fluida descremada y entera permitidos previos a la deshidratación	11
Tabla 3. Calidad de la leche fluida descremada y entera recomendada para la deshidratación	12
Tabla 4. Composición de la leche en polvo de acuerdo a su clasificación por el contenido de grasa.....	14
Tabla 5. Rangos de temperaturas del aire de entrada y salida para la deshidratación de leche por medio de un atomizador	18
Tabla 6. Características del equipo deshidratador.....	32
Tabla 7. Condiciones de proceso y parámetros de funcionamiento de equipo deshidratador	33
Tabla 8. Promedios de mediciones de ph y porcentaje ácido láctico en la leche fluida utilizada como materia prima en ambos tratamientos.....	37
Tabla 9. Promedio de condiciones de proceso controladas durante ambos tratamientos.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Promedio del porcentaje de humedad de la leche en polvo en los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz	42
Gráfico 2. Promedio del índice de insolubilidad de la leche en polvo de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz	43
Gráfico 3. Promedio de partículas quemadas de la leche en polvo de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de secado por atomización.....	20
Figura 2. Equipo de deshidratación en una etapa	24

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es evaluar la influencia de dos velocidades de disco aspersor de un equipo deshidratador de leche sobre el porcentaje de humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas en la leche en polvo obtenida tras procesos experimentales de deshidratación, esto en la Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede de Atenas, Costa Rica.

Una vez realizadas las producciones de leche en polvo y los análisis de laboratorio, se analizan los promedios de las variables por medio de Distribución-*t* con un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$.

Tras el análisis de los datos, se obtiene que el porcentaje de humedad de la leche en polvo se ve significativamente influenciado por la velocidad del disco aspersor, ya que, en la mayor velocidad estudiada, el porcentaje de humedad es menor. En el caso del índice de insolubilidad, no se obtiene una diferencia significativa de esta variable con respecto a la velocidad del disco, por lo que independientemente de cuál de las dos velocidades se trabaje, este aspecto cumple por igual lo recomendado. Por último, en el análisis de partículas quemadas, además de dichas partículas, se detecta polvo y otras suciedades, por lo tanto, no se cumple con la especificación recomendada, sin embargo, en el tratamiento de 65 Hz las partículas quemadas son significativamente menores con respecto al resultado del tratamiento de 60 Hz.

Una vez analizados y comparados los datos, se recomienda que, para el cumplimiento de estas variables de calidad, bajo condiciones de proceso estándares y con el tipo de materia prima usada, se trabaje con una velocidad de disco aspersor de 65 Hz.

I. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo es de carácter preliminar, en el cual se explica cada una de las partes de la introducción del presente proyecto; entre ellas, el objeto de estudio, justificación precisa de la importancia de trabajar el tema del efecto de la velocidad del aspersor sobre la calidad del producto final. Se describe los antecedentes, los objetivos, la hipótesis, así como los alcances y limitaciones del mismo. Además, de la referencia institucional en que se desarrolla el estudio el cual es en la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas.

1.1 Objeto de estudio

¿Cómo influye la velocidad del disco aspersor sobre el porcentaje de humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas de la leche en polvo producida en el equipo deshidratador de leche de la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas?

1.2 Justificación

La conservación de alimentos es a través de los años una actividad necesaria para la sobrevivencia y seguridad alimentaria del ser humano, llevándolo hasta el desarrollo de tecnologías de procesamiento e investigaciones para garantizar el máximo aprovechamiento de los mismos. Uno de los productos que se han estudiado para lograr y generar un proceso para aumentar su vida útil, es la leche que, entre otras metodologías de conservación, se le aplica la deshidratación para almacenarla por más tiempo.

Para lograr una deshidratación de leche que garantice el cumplimiento de aspectos de calidad, inocuidad y rentabilidad económica, se ha trabajado en metodologías de procesamiento, así como en equipos que logren cumplir con tales requerimientos. Sin embargo, aunque existan estas metodologías documentadas, el poner en marcha un equipo para este fin, requiere un estudio y valoración de condiciones de trabajo y producto final.

La relevancia de estudiar la velocidad del disco rotativo sobre las características de calidad del producto final radica en que el fabricante del equipo recomienda ambas velocidades de trabajo y es un parámetro que se puede modificar de acuerdo al tipo de materia prima a usar, de ahí la necesidad de conocer la importancia de su influencia sobre la calidad del producto final.

Los aspectos de calidad estudiados en la leche en polvo influyen sobre la vida útil del producto y/o la microbiología (porcentaje de humedad), así como el índice de insolubilidad y las partículas quemadas son factores que se puede detectar y por ende determinar la aceptabilidad del producto en el consumidor.

La Universidad Técnica Nacional (UTN) en su Sede de Atenas, dispone de un equipo de deshidratación de leche por aspersion, sin embargo, no cuenta con un proceso de operación validado de forma técnica que corrobore las recomendaciones de proceso del fabricante y tome en cuenta las particularidades de trabajo del lugar, por lo que se hace necesario un estudio que genere un proceso estandarizado de operación que garantice la calidad e inocuidad de la leche en polvo.

Debido a esta necesidad en la UTN, el presente proyecto pretende realizar un estudio en el que se evalúan dos variaciones de la velocidad del disco aspersor del equipo de deshidratación sobre algunas características de calidad de la leche en polvo como son el porcentaje de humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas, manteniendo el resto de aspectos del proceso constantes.

Los resultados generados del estudio, sirven como base para darle continuidad al equipo y proceso, hasta alcanzar una estandarización y estudio completo del mismo, así como del producto final. Además de esto, el proyecto colabora con la docencia al aportar datos relevantes que sean usados por profesores para plantear diferentes pruebas o ensayos con los estudiantes y así continuar su estudio con vistas a mejores resultados a futuro.

1.3 Antecedentes

La conservación de los alimentos es clave para la vida del ser humano, el cual, sin duda alguna, debió pasar procesos de prueba y error y dosis de mucha invención para poder hacer que los alimentos estuviesen disponibles por más tiempo, y de esta manera no comprometer su subsistencia. Se han desarrollado muchos métodos que permiten alargar la vida útil a los alimentos, uno de estos es la reducción del agua que los compone.

La razón por la cual los alimentos se conservan deshidratándolos, se basa en que se reduce la disponibilidad de agua (llamada a_w), por lo que el desarrollo de microorganismos se ve afectado negativamente y la capacidad de que se den reacciones enzimáticas se ve reducida.

En el caso de la deshidratación de leche, se pueden encontrar referenciados procesos en los que se aplica calor y se obtiene los sólidos de la leche en forma de polvo (más utilizados) y procesos en los que el medio usado para esto, no es el calor sino otros medios, como es el caso de la liofilización, que consiste en, de acuerdo con Castro (2010), congelar el producto (-10°C hasta -50°C) y posteriormente introducirlo a una cámara de vacío para que el agua se evapore por sublimación. Este proceso posee la gran ventaja de conservar muchas propiedades sensoriales e incluso nutricionales del alimento, sin embargo, no es tan utilizado en la industria de la leche en polvo debido a que según Tetra Pak (1996) es un proceso que consume gran cantidad de energía, lo que lo hace muy costoso y, por ende, poco utilizado.

Como los métodos más utilizados comercialmente, Tetra Pak (1996) indica que se encuentran aquellos en los que se aplica calor a la leche, por lo que el agua se evapora y se elimina en forma de vapor; se puede encontrar el secado por atomización y el secado por rodillos o cilindros rotatorios. En la industria de la leche en polvo para consumo humano, el uso de deshidratación por atomización es más relevante y, dentro de este tipo de deshidratación, Westergaard (2004) menciona que puede realizarse por medio de toberas a presión, así como también por medio de la atomización rotativa.

En Costa Rica el mayor productor de leche en polvo es la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, R.L. El procesamiento de la leche en polvo lo lleva a cabo en la planta ubicada en San Carlos, la cual cuenta en sus instalaciones con tres máquinas deshidratadoras de leche, la más grande y reciente de ellas tiene una capacidad máxima de producción de aproximadamente 40 000 litros por hora y trabaja por medio de la atomización por toberas.

El equipo deshidratador de leche de la UTN, es un equipo de construcción nacional, en el país existen sólo dos equipos instalados similares (el otro pertenece a Coopecaprina R.L y aunque comparte el principio de deshidratación por aspersión de otras máquinas, posee un diseño distinto a la que la literatura menciona y a las que normalmente son usadas en la industria. Este equipo trabaja el secado en una sola etapa y la atomización la lleva a cabo por medio de un disco aspersor.

En la UTN no se cuenta con un procedimiento estandarizado de operación del equipo deshidratador, los colaboradores tienen como base algunas indicaciones realizadas por el fabricante, y los resultados de algunas pruebas de proceso hechas junto con el fabricante para conocer el funcionamiento en general y el comportamiento en las instalaciones. Además, no se dispone de datos de análisis de laboratorio que muestren las características de la leche en polvo obtenida en el equipo deshidratador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la velocidad del aspersor de un equipo deshidratador de leche en la calidad del producto final en la Universidad Técnica Nacional Sede de Atenas.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Ejecutar pruebas de deshidratación de leche y análisis de laboratorio para la determinación de humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas en la leche en polvo.
- b. Analizar el efecto de la velocidad del aspersor sobre la humedad, partículas quemadas e índice de insolubilidad en la leche en polvo.
- c. Comparar los efectos de la velocidad del aspersor sobre la calidad del producto final para el establecimiento de una recomendación de proceso.

1.5 Hipótesis

- a. A la mayor velocidad del disco aspersor, el porcentaje de humedad de la leche en polvo es menor con respecto a la menor velocidad del disco aspersor.
- b. A la mayor velocidad del disco aspersor, el índice de insolubilidad es menor que con respecto a la menor velocidad del disco aspersor.
- c. A la mayor velocidad del disco aspersor, se tiene menos partículas quemadas que con respecto a la menor velocidad del disco aspersor.

1.6 Alcances y limitaciones

Este proyecto aplica para el equipo deshidratador de leche de la UTN, el cual es de una etapa y realiza la aspersion por medio de un disco atomizador, las fuentes de calor son el vapor y electricidad. Se trabajó sobre el parámetro de velocidad de disco rotativo, al trabajar con dos velocidades y su influencia sobre tres variables de calidad: humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas

en la leche en polvo. Es importante mencionar que la investigación de este proyecto, corresponde a una parte de un estudio para la estandarización de todo el proceso de deshidratación, en el cual el producto final se ha caracterizado en todos los aspectos necesarios de calidad.

En cuanto a las limitaciones se pueden mencionar las condiciones del equipo deshidratador, la infraestructura y condiciones ambientales de la planta que afectan algunos de los resultados obtenidos en esta investigación.

Además, existen algunos faltantes en el laboratorio, que hace que los métodos se deban de ajustar.

1.7 Referente institucional

El proyecto se lleva a cabo en la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas, esta Universidad es la quinta universidad pública de Costa Rica, su creación data en el año 2008 y es la universidad más joven de todas. Dicha Universidad es el producto de la fusión de seis instituciones del país que impartían educación parauniversitaria, dando origen a cinco sedes a nivel nacional entre ellas, Sede Central, Sede de Guanacaste, Sede del Pacífico, Sede de San Carlos y la Sede de Atenas.

La Universidad Técnica Nacional tiene como misión “Brindar una educación integral de excelencia, en el marco de la moderna sociedad del conocimiento, centrando su acción académica en el área científica, técnica y tecnológica, en la investigación de alta calidad, y en la innovación como elementos fundamentales para el desarrollo humano con responsabilidad ambiental, en articulación con los sectores productivos de la sociedad”. La visión de dicha Institución es “Ser una universidad de vanguardia en la formación integral de profesionales, la investigación y la acción social en las áreas científicas, técnicas y tecnológicas, con un enfoque de humanismo científico innovador, que contribuya al desarrollo sostenible de la sociedad costarricense”.

En la Sede de Atenas, la UTN imparte la carrera de Ingeniería en Tecnología de Alimentos desde el grado de diplomado hasta licenciatura. En esta carrera los

estudiantes se forman en temas relevantes para la industria de alimentos, abarcando áreas de productos lácteos, cárnicos, frutas y vegetales, panificación, chocolatería y confitería, bebidas, así como calidad e inocuidad alimentaria, químicas de los alimentos, microbiología alimentaria, control de procesos, administración, finanzas, entre otros.

II. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta información consultada acerca de la leche de vaca y la tecnología de su proceso de secado, el cual ha evolucionado a través de los años hasta llegar a equipos que logran producciones más grandes y eficientes, cuidando en cada paso la calidad e inocuidad del producto. Además, se definen las variables que este trabajo evalúa para la leche en polvo obtenida en las producciones experimentales e indica los rangos y aspectos que las pueden afectar.

2.1 Generalidad de la leche de vaca

2.1.1 Composición general

La leche es uno de los alimentos más expandidos alrededor del mundo: de diferentes mamíferos, con diferente composición y con una gran versatilidad de usos; ha jugado un papel fundamental en la nutrición humana debido a sus contenidos de proteínas, carbohidratos, minerales y vitaminas, especialmente.

La norma general del Codex para el uso de términos lecheros (1999), especifica que se habla de leche cuando esta es la secreción de las glándulas mamarias de animales lecheros que han sido ordeñados, no se le ha adicionado ni extraído nada y que posteriormente puede ser consumida de forma líquida o procesada para obtener otro producto. Debido a que existe leche de otras hembras mamíferas, para efectos de este trabajo, la palabra “leche” hace referencia a la leche de vaca.

De acuerdo con Revilla (2009) la leche posee de 12-13 % de sólidos totales (ST) que a su vez pueden ser sólidos grasos (SG) y sólidos no grasos (SNG), con esto se puede interpretar que el agua representa de un 87-88 % de su composición. Este mismo autor indica que los componentes pueden estar suspendidos de diferente forma en la fase acuosa al indicar que “sus componentes pueden ser agrupados en tres fases homogéneas: fase hídrica o solución, fase micelar o dispersión coloidal de caseína y la fase grasa o

emulsión globular” (p.4). A continuación, en la Tabla 1, se presenta los porcentajes promedio de la composición de la leche:

Tabla 1. Porcentajes de los componentes de la leche

Componentes	Rango	Promedio
Agua	79,00 – 90,50	87,00
Lactosa	3,50 – 6,00	4,9
Grasa	2,20 – 8,00	3,8
Proteína	2,70 - 4,80	3,5
Sales minerales	0,65 – 0,90	0,7

Fuente: Revilla, 2009

2.1.2 Calidad de la leche fluida

La leche como materia prima, tanto para consumo como leche fluida como para su transformación en otros productos, debe ser apta y cumplir con las normas aplicables al país en el que se procesa y cumplir con aspectos microbiológicos, físicos y químicos, si estos aspectos no son asegurados dentro de los rangos apropiados, su calidad, inocuidad y potencial tecnológico para la elaboración de otros productos podría verse comprometidos.

En la recepción de la leche se deben dar controles para garantizar que se cuenta con materia prima que cumple especificaciones por lo tanto garantice un proceso exitoso. Tetra Pak (1996) especifica que la leche debe estar libre de antibióticos y partículas extrañas, debe presentar características organolépticas típicas de la leche, el conteo de células somáticas no debe ser mayor a 500000 por mL, el contenido de bacterias idealmente debería ser menor a 100000 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) por mL y el punto de congelación debe estar entre el rango conocido para la leche, que es de $-0,54^{\circ}\text{C}$ a $-0,59^{\circ}\text{C}$; siendo así, deben definirse procedimientos válidos al respecto para garantizar el cumplimiento de esto.

Además de estos parámetros en la leche, es importante la determinación del pH y acidez expresada como ácido láctico (ATECAL), ya que valores alterados, pueden reflejar indirectamente la calidad microbiológica, así como condiciones de infecciones en los animales de los que proviene.

Esto puede verse apoyado como indica Revilla (2009) al referirse al pH de la leche que cuando es de 6,8 o más, la leche puede considerarse que viene de una ubre con mastitis o que se le han agregado compuestos alcalinos que hacen esta modificación y que un pH de 6,4 o menor indica que puede contener calostro o se ha acidificado por la acción microbiana.

A pesar de esta descripción el mismo autor, Revilla (2009) indica que “la concentración de iones de hidrógeno o pH en la leche normal es de 6,34 hasta 6,92 a 25°C, pero el promedio está cerca del pH 6,6” (p.19). Sin embargo, Westergaard (2004) indica que en una leche cruda fresca los valores mayores de 6,7 indican infecciones de mastitis y debajo de 6,5 indican calostro o deterioro bacteriano.

Por lo tanto, se puede considerar de acuerdo a ambas fuentes, que un rango de pH seguro como control de calidad para establecerse en una recepción de leche como materia prima y para aprobarla al procesamiento es de 6,5 – 6,7, sin embargo, Revilla (2009) indica un resultado aceptable en un rango más amplio.

Lo que respecta a ATECAL, Revilla (2009) indica que para “la leche normal varía de 0,10 a 0,26 %, cuyo promedio está entre 0,14 y 0,20 %, cuando se usa hidróxido de sodio 0,1 normal de concentración (0,1 NaOH) y fenolftaleína como indicador (cambia a color rosado a pH 8,3)” (p.20).

Como una interpretación a lo que indica este porcentaje en la leche, Westergaard (2004) explica que se debe tener claro que este porcentaje puede ser reflejo de la actividad bacteriana, ya que se ha producido ácido láctico en los diferentes procesos y condiciones a los que se ha sometido esta leche y algo de suma importancia, es que es producto de bacterias vivas presentes en la leche

en estudio así como de las modificaciones hechas por bacterias que estaban antes de la pasteurización y posteriormente son eliminadas con esta.

2.1.3 Calidad de la leche fluida para procesos de deshidratación.

Como para cualquier transformación de la leche en otro producto, es necesario el establecimiento y cumplimiento de especificaciones para garantizar un proceso sin interrupciones, eficiente y que garantice la calidad e inocuidad final del producto.

Según Westergaard (2004) algo fundamental, independientemente de si la leche es entera o descremada para elaboración de leche en polvo, es que debe estar libre de aditivos y de sólidos suspendidos, debe ser fresca con un máximo de 48 horas de obtenida y almacenada a no más de 5° C y no debe someterse a ningún tratamiento, a excepción de los que indica la Tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos de la leche fluida descremada y entera permitidos previos a la deshidratación

Leche descremada	Leche entera
Separación de la crema/ limpieza por centrifugación.	Separación de la crema/ limpieza por centrifugación.
Tratamiento térmico a máximo 72 °C durante 15 segundos.	Un tratamiento térmico a máx. 72 °C durante 15 segundos.
	Estandarización del contenido de grasa mediante una separación de la crema o adición de la leche descremada.

Fuente: Westergaard, 2004

Es importante tener estricto control acerca del tratamiento térmico aplicado a la leche fluida, ya que de acuerdo a Tetra Pak (1996), las leches destinadas para la obtención de leche en polvo, no deben pasar por tratamientos térmicos excesivos porque pueden provocar que las proteínas del suero se desnaturalicen y así coagulen, además de que el producto final puede presentar cambios en la solubilidad, aroma y sabor, variando de esta forma la calidad y es posible que su aceptabilidad ante el consumidor.

Tabla 3. Calidad de la leche fluida descremada y entera recomendada para la deshidratación

Aspecto	Leche descremada	Leche entera
Sólidos totales (aprox.)	9%	12%
Gérmenes totales (máx.)	250000/ml	250000/ml
Cuento termófilo (máx.)	100/ml	100/ml
Cuento esporas termófilas (máx.)	10/ml	10/ml
Sedimentos (máx.)	0.5/ml	0.5/ml
pH entre	6.6 y 6.8	6.6 y 6.8
Acidez titulable, expresada como ácido láctico (máx.)	0.15%	0.15%
Ácido láctico (máx.)	10 mg/ 100 ml.	10 mg/ 100 ml
Contenido de proteínas entre	37 y 38% a SNF	37 y 38% a SNF
Contenido de grasa (máx.)	0.05%	28% sobre sólidos totales
Gases incondensables (máx.)	0.02% por peso	0.02% por peso

Fuente: Westergaard, 2004

2.2 Procesamiento de la leche en polvo

2.2.1 Leche en polvo

La leche en polvo y su proceso ha mejorado con el paso de los años: se ha estudiado para una mejor comprensión de este, de las interacciones y cambios de sus componentes, así como los resultados en el producto final, se han buscado la forma de aumentar la eficiencia y rendimientos.

Este polvo obtenido por la eliminación de la mayor parte del agua que posee la leche líquida, no solo es un producto funcional para el consumidor final que la puede adquirir en la góndola del supermercado y utilizar fácilmente en su casa, también es un producto de gran utilidad para la industria alimentaria debido a que tiene una mayor vida útil, su manejo y almacenamiento es fácil, tiene iguales o similares propiedades nutricionales a la leche fluida y puede formar parte de los componentes de otros productos alimentarios.

En el Codex Alimentarius (2011), se define la leche en polvo como el producto que es el resultado de la eliminación del agua de la leche líquida, además se pueden ajustar los contenidos de proteínas o grasa de acuerdo a las necesidades, especialmente si se deben cumplir parámetros normados, esto puede realizarse siempre y cuando las proporciones de proteína de suero y de la caseína no se modifiquen en la leche usada como materia prima.

De una forma más específica, Tetra Pak (1996) además de mencionar que la leche en polvo resulta de la eliminación del agua hasta obtener un producto sólido, indica que el contenido de agua obtenido puede variar entre 2,5-5,0 %, esto dificulta que las bacterias puedan tener un crecimiento en el producto, su volumen y peso se ven disminuidos debido a esta condición y la vida útil consecuentemente se ve aumentada.

Una definición similar para la leche entera en polvo es dada en American Dairy Products Institute (2002) “Leche entera en polvo se obtiene por lo general de la eliminación de agua de la leche pasteurizada, la cual también es homogenizada” (p.4).

Como se puede observar, las definiciones acerca de este producto son relativamente similares, por lo que se puede concluir que la leche en polvo es el resultado de la eliminación de agua de la leche fluida (que preferiblemente debe ser pasteurizada y puede ser homogeneizada) hasta llegar a una humedad final en el rango entre 2,5-5 % presentando una apariencia de polvo.

En Costa Rica, la leche en polvo debe cumplir con el Reglamento Técnico RTCR – 423 (2008) para la leche en polvo, en el cual se indica que esta puede ser clasificada como entera, semidescremada y descremada, además presenta la composición de acuerdo a cada tipo de leche, como se puede observar en la Tabla 4 y debe estar libre de plaguicidas, medicamentos de uso veterinario y de otros contaminantes como metales pesados, aflatoxinas, dioxinas y otros.

Tabla 4. Composición de la leche en polvo de acuerdo a su clasificación por el contenido de grasa

Componente (%m/m)	Leche en polvo entera (%)	Leche en polvo semidescremada (%)	Leche en polvo descremada (%)
Materia grasa de la leche	≥26	>1,5 y <26	≤1,5
Contenido máximo de agua	5,0	5,0	5,0
Contenido mínimo de proteínas de la leche en el extracto seco magro de la leche	34	34	34

Fuente: Reglamento Técnico RTCR – 423 (2008) para la leche en polvo

Como se puede observar, la diferencia en los tipos de leche en polvo de acuerdo a este reglamento, radica en el contenido de grasa final en el producto, siendo de gran importancia la declaración del mismo para que el consumidor o cliente valore si el producto puede ajustarse a sus necesidades. El contenido de agua y proteína se mantiene igual independientemente del tipo de leche.

La consulta a este tipo de reglamentos, según el país o región en la que se esté, es de suma importancia ya que, al conocer los parámetros, se puede trabajar en el proceso para así cumplirlos, evitando problemas legales y garantizando al consumidor un producto normalizado y que cumpla sus necesidades.

En lo que respecta a vida útil, este debe presentar una humedad igual o menor al 4 %, logrando que la leche entera tenga una vida útil de 6 meses y si está hecho a partir de leche descremada puede durar hasta tres años, debido a que la grasa se oxida durante el almacenamiento seguido del deterioro gradual del sabor (Tetra Pack, 1996; Sarria, 1998). Estos autores coinciden en un porcentaje de humedad más bajo del que recomienda el reglamento antes mencionado, sin embargo, esto se puede tomar como una recomendación para asegurarse de no

sólo cumplir las disposiciones legales, sino también garantizar una mayor estabilidad durante el almacenamiento y así un total cumplimiento de la vida útil esperada.

2.2.2 Deshidratación de la leche

En la industria de alimentos y específicamente en la industria láctea, el proceso de deshidratación puede darse por diferentes tecnologías, sin embargo, antes de llegar a este punto las referencias recomiendan algunos tratamientos previos a la leche, especialmente una evaporación de la misma para disminuir el contenido de agua y así garantizar un proceso de deshidratación más eficiente.

De acuerdo a Westergaard (2004), la leche fluida debe pasar por controles de inocuidad y calidad en el recibo de esta a la planta de procesamiento, como se describieron en el punto 2.1.3, además puede pasteurizarse, normalizarse su contenido de grasa para además cumplir con las reglamentaciones pertinentes, filtrarse, homogeneizarse y evaporarse hasta llegar a un contenido de sólidos que puede ser de 48-50 % para leche entera o descremada para luego, llegar a la etapa de deshidratación.

Referente a estos tratamientos previos a la deshidratación, Tetra Pak (1996) indica que “Después de la normalización, la leche no necesita ser homogeneizada dado que es continuamente agitada, sin inclusión de aire, antes de la evaporación y después de nuevo entre la evaporación y la atomización. Sin embargo, el concentrado se homogeneiza en ciertos casos para la producción de leche entera instantánea” (p.363).

A pesar de esto, Westergaard, (2004) se refiere a la importancia de la homogenización de la siguiente manera “para la producción de leche entera en polvo u otros productos que contengan grasa se recomienda incorporar un homogeneizador para reducir el contenido de grasa libre el producto final” (p.87); este proceso se realiza después del tratamiento térmico.

Por lo tanto, en lo referente a la homogenización, se puede afirmar que es recomendada en casos en los que los productos poseen un importante contenido de grasa, se desee un producto instantáneo o el proceso no disponga de agitación constante de la leche tanto antes de su evaporación como después de esta.

Una vez que la planta de proceso aplique algunos o todos los tratamientos anteriores de acuerdo a su nivel de tecnología y/o necesidades, la leche o el concentrado son deshidratados. Como ya se ha mencionado anteriormente, el proceso de deshidratación de leche elimina agua y da como resultado un producto seco, sin embargo, pueden encontrarse diferentes tecnologías para la obtención de este producto y en todas las referencias se menciona la importancia de un proceso de evaporación previo a la deshidratación.

Para Ramos (2014), la leche puede ser secada por evaporación o liofilización, siendo este último muy efectivo y dando como resultado una leche en polvo de alta calidad, pero con grandes costos de producción, así como energéticos, siendo la deshidratación por evaporación la más utilizada. Además, indica que por el método de evaporación se puede deshidratar en tambores o cilindros y por aspersión; la leche obtenida de un proceso de deshidratación por tambores o cilindros, puede presentar algunas modificaciones en la estructura físico química de la leche haciéndola menos soluble que la hacen apta para fines industriales y alimentación de animales.

Siguiendo con el tema, Karel y Lund (citado por Ramos, 2014), indican que la deshidratación por aspersión consume más del doble de energía que los tambores o cilindros, pero la leche en polvo obtenida es estructuralmente poco modificada con respecto a la leche fluida, ya que el líquido es expuesto al calor por un corto período de tiempo.

También, Tetra Pak (1996) menciona que el principio básico de deshidratación comercial consiste en que se aplique calor al producto y el agua que posee se convierte en vapor y, por ende, se elimina. Además, también indica que la leche

se puede deshidratar de dos formas, una de estas por atomización y la otra por cilindros rotatorios, haciendo más referencia a la atomización que a la otra forma.

Por lo anterior, dentro de las tecnologías existentes de deshidratación de leche, la más recomendada y utilizada es por aspersión, ya que es la que hace equilibrio entre calidad del producto final, costos de producción y consumo energético.

2.2.2.1 Deshidratación por atomización

La comprensión de este sistema de deshidratación para leche, resulta de gran relevancia ya que el equipo utilizado en el proyecto responde a esta tecnología. Por ello, entender su funcionamiento ayuda a darle un mejor abordaje al tema y a los objetivos planteados.

El secado por atomización es, según Westergaard (2004) la transformación de un líquido a un sólido cuando este se atomiza en un medio de secado caliente. El producto obtenido de esta operación, se compone de partículas o aglomerados, las cuales dependen de las condiciones del proceso, que van desde las características de la materia prima (propiedades físicas y químicas), diseño del equipo y su operación.

Debido a lo anterior, es importante tener presente que los tratamientos a la materia prima, el equipo y su tecnología, así como la forma de operarlo, inciden sobre las características de calidad de la leche en polvo obtenida. Para ejemplificar esto, Tetra Pak (1996) insiste en una evaporación previa de la leche para una mejor calidad de la leche en polvo, debido a que, si esta no se da, las partículas del polvo serán muy pequeñas, con un alto contenido de aire, tendrán poca capacidad de humectación y una vida útil corta.

Siguiendo con la descripción de un proceso de deshidratación por atomización, Tetra Pak (1996), menciona que el concentrado o la leche se bombean hasta la torre de atomización, en el cual se llevan a cabo las siguientes fases:

- a. El líquido es dispersado en gotas muy finas.
- b. La dispersión del líquido, se mezcla con una corriente de aire caliente que evapora el agua.
- c. Las partículas ya secas se separan del aire de secado

Debido a lo anterior, los controles de temperaturas, flujos de aire y calidad de atomización son determinantes en este proceso; se necesita una temperatura y flujo de aire tal que garantice que la leche atomizada (que debe tener tamaños de gotas relativamente similares para un secado homogéneo) se deshidrate apropiadamente, para que las partículas no se quemen, ni queden con alta humedad, producto de temperatura insuficiente y mal contacto con el aire.

Según Brennan (2008) existen diferentes modelos de atomizadores y cámaras de secado, en cualquier caso, es importante conocer las temperaturas del aire de entrada y salida para el deshidratado de la leche para obtener una humedad en el producto final de 3,5 a 4 %, aproximadamente.

A continuación, se muestra en la Tabla 5 con rangos de temperaturas tanto de entrada como de salida recomendados, según el tipo de leche que se quiera deshidratar. Es importante recalcar, que tienden a ser menores las temperaturas en el procesamiento de leche entera, posiblemente por interacciones con la grasa.

Tabla 5. Rangos de temperaturas del aire de entrada y salida para la deshidratación de leche por medio de un atomizador

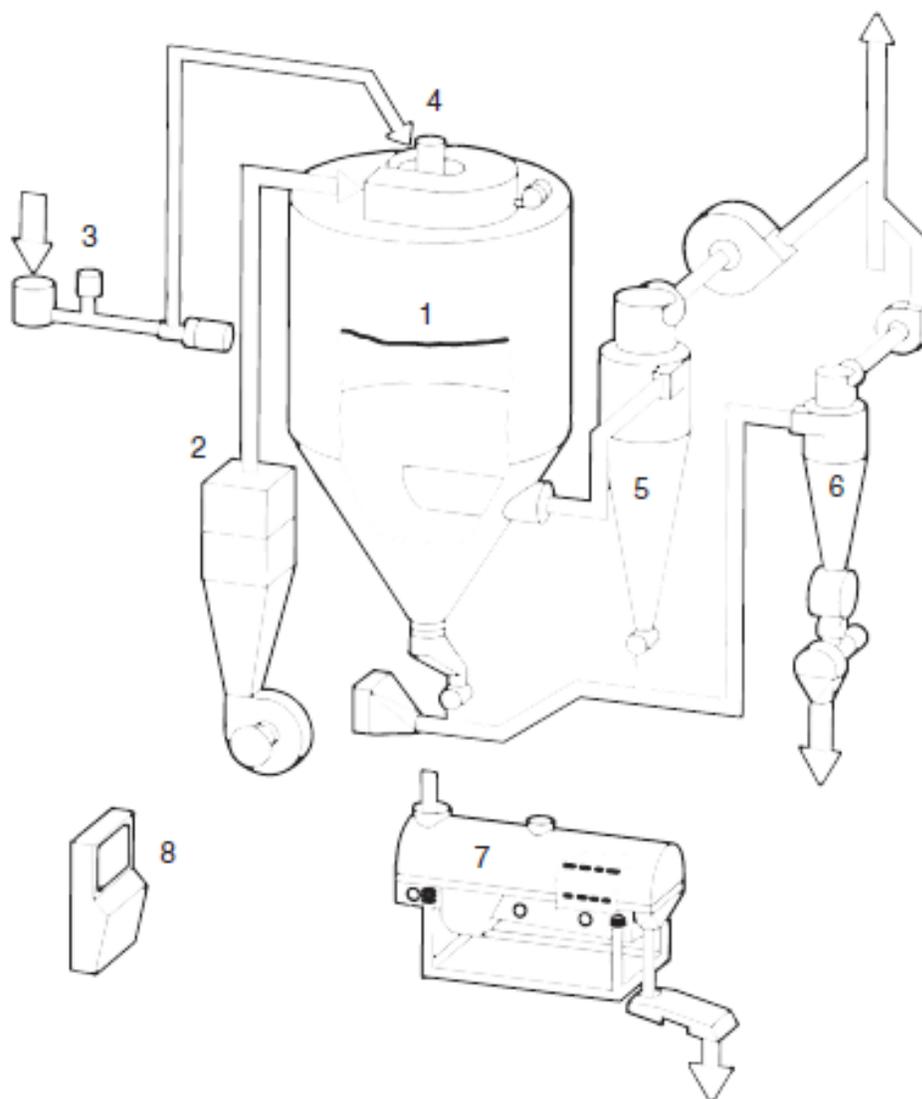
Tipo de leche	Temperaturas °C	
	Aire de entrada	Aire de salida
Descremada	180 – 230	80 – 100
Entera	175 – 200	75 – 95

Fuente: Brennan, 2008

La descripción general de un proceso convencional industrial de deshidratación por atomización la realiza Westergaard (2004) de la siguiente manera:

El concentrado es bombeado desde el tanque de alimentación de producto al dispositivo atomizador colocado en el dispersor de aire sobre la cámara de secado. El aire de secado es aspirado de la atmósfera a través de un filtro por un ventilador pasando luego al dispersor a través del calentador de aire. Las gotas atomizadas encuentran el aire caliente y la evaporación tiene lugar al mismo tiempo que se enfría el aire. A continuación del secado en la cámara, la mayor parte del producto seco cae al fondo de la misma y pasa a un sistema de transporte neumático y de enfriamiento. Los finos, es decir las partículas con un diámetro pequeño, son arrastrados por el aire, y es necesario por tanto pasar el aire a través de ciclones para separarlos. Los finos abandonan el ciclón por la base mediante un dispositivo de cierre y entran asimismo en el sistema neumático. El aire de salida sale a la atmósfera por medio del ventilador de aspiración. Las dos fracciones de polvo son recogidas en el sistema neumático de transporte y enfriamiento y luego pasadas a través de un ciclón para separación y ensacado. La instrumentación comprende la medida de la temperatura del aire de entrada y salida, así como el control automático de la temperatura de entrada mediante la variación de la presión del vapor o la cantidad de fuel o aire al calentador, y el control automático de la temperatura de salida mediante la variación de la cantidad de alimentación bombeada al dispositivo atomizador (p.69, 71).

A continuación, se ejemplifica en la Figura 1 el equipo convencional utilizado en la deshidratación de la leche junto con la identificación de sus principales componentes.

Figura 1. Equipo de secado por atomización

1. Cámara de secado
2. Sistema de aire caliente y distribución del aire
3. Sistema de alimentación
4. Atomizador
5. Sistema de separación de polvo
6. Transportador neumático y sistema de enfriamiento
7. Lecho fluido de post-secado/enfriamiento
8. Instrumentación y automatización

Fuente: Westergaard, 2004

Siguiendo con consideraciones en este tipo de proceso, Westergaard (2004) menciona los siguientes aspectos relevantes:

- a. En la succión el aire del medio ambiente, se debe disponer de filtros para evitar contaminar el producto final, los filtros son exigidos por las diferentes autoridades según el país, ya que ayudan a garantizar la inocuidad del producto final y recomienda que para operaciones por encima de los 120° C se realice una filtración gruesa al 90 %.
- b. En la deshidratación de productos lácteos, la distribución del aire de secado es co-corriente debido a que se produce una mejor mezcla entre el aire y las gotas de leche, eso hace que la evaporación sea de manera más rápida. Una de las clasificaciones de esta distribución de aire, es la de corriente rotativa de aire, en la cual el aire entra tangencialmente en una carcasa de distribución, en forma de espiral y el aire se lleva hacia abajo, este tipo se usa para atomización rotativa y toberas situadas en el centro del dispersor de aire.
- c. La temperatura en el tanque de alimentación de la leche es normalmente de 45-50° C y se recomienda que tarden en vaciarse 15-30 minutos de capacidad del secador, posteriormente el concentrado puede ser calentado inmediatamente antes de atomizarse a una temperatura entre 60-65° C esto por un tema microbiano, así como para reducir la viscosidad del mismo.
- d. En una atomización, cuánto más pequeña sea la gota, habrá una mayor superficie de evaporación y entre más homogéneo sea el tamaño de estas gotas, el tiempo de secado será el mismo para todas.
- e. Las partículas finas del proceso, llamadas “finos” se separan del aire de secado que va de salida (pueden estar desde 10-30 %), esto por aspectos tanto ambientales como económicos. Para efectuar esto se pueden utilizar ciclones.
- f. La deshidratación por atomización, puede llevarse cabo en una etapa y en dos etapas.

2.2.2.2 Deshidratación en una etapa

El proceso de deshidratación, puede darse en una o más etapas, dependiendo del tipo de producto deseado y de las posibilidades tecnológicas de aquel que la adquiere. Uno de los aspectos que caracteriza este secado de acuerdo a Westergaard (2004) y a Tetra Pak (1996), es que el porcentaje final de humedad es alcanzado en la cámara de secado durante la atomización, debido a esto, el control de los parámetros de proceso, especialmente a aquellos que se refieren a temperaturas y velocidades, debe ser riguroso para poder garantizar la humedad final, ya que luego no existe forma de cómo alcanzarla posteriormente.

El proceso en una etapa, se lleva a cabo de la siguiente manera según Tetra Pak (1996):

Se hace entrar aire mediante un ventilador, a través de un filtro y haciéndose pasar por un calentador, donde su temperatura se eleva hasta 150-250° C. El aire caliente fluye a través de un distribuidor hacia la cámara de mezcla. En dicha cámara, la leche atomizada se mezcla de forma continua con el aire caliente y el agua presente en la leche se evapora. La mayor parte del secado tiene lugar conforme las gotitas son desaceleradas por la fricción con el aire que salen a continuación del atomizador a alta velocidad. La evaporación del agua libre se produce de forma instantánea. El agua en los capilares y poros debe difundirse en primer lugar hacia la superficie de las partículas, antes de poder ser evaporada. Esto se produce cuando el polvo se sedimenta lentamente en la torre de atomización. La leche sólo se debe calentar hasta 70-80° C, porque el calor del aire se consume de forma continua por la evaporación del agua (p.368).

De acuerdo a lo anterior, el proceso de atomizado debe ser controlado en tal forma que produzca una interacción adecuada entre el aire de entrada y la nube atomizada de leche, para que se garantice que las partículas se secan hasta la

humedad final deseada, no se queman (por lo tanto, cambien las características) y no sobre pasen las temperaturas para evitar pérdida de nutrientes.

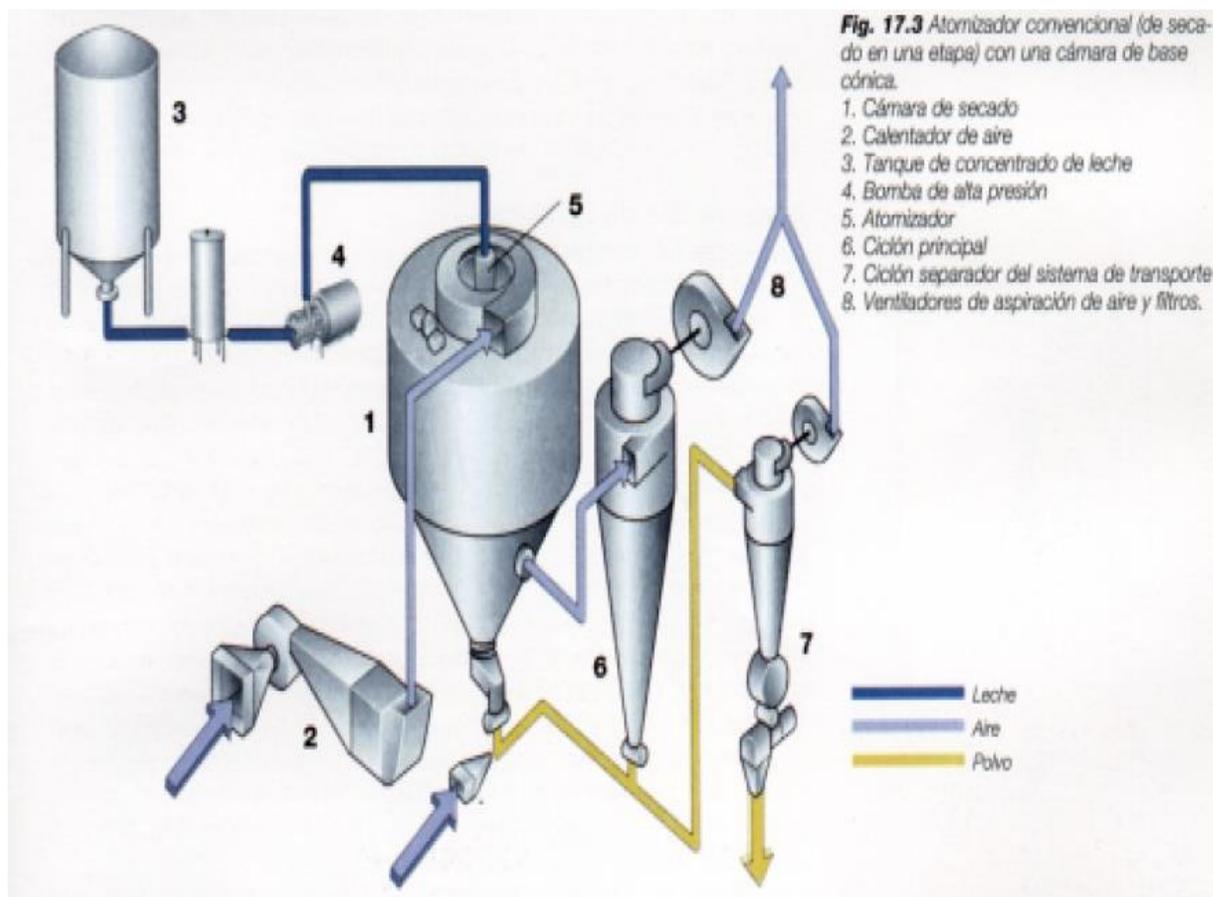
Para finalizar el proceso, Tetra Pak (1996) indica que, una vez llevado el proceso, las partículas son depositadas en el fondo y se descargan por ahí mismo, el transporte hacia el envasado se hace de forma neumática con aire de enfriamiento, después se llega al área de descarga, donde es separado el aire del polvo. Las partículas pequeñas de polvo que se logran recuperar del proceso, son incorporadas a la leche en polvo que va al envasado.

Es posible encontrar variaciones a este proceso, sin embargo, en términos generales, el principio y secuencia de fases son los mismos. Por ejemplo, existen equipos en los que la forma en que se descarga el polvo de la cámara de secado, es por medio de una válvula rotativa que va tomando parte del producto y lo acumula en un depósito fuera de la cámara de secado para ser empacado.

En este proceso, es importante la forma en que se realiza la aspersion, ya que de acuerdo con Tetra Pak (1996), cuánto más fina sea la dispersión del líquido, existirá una mayor área específica y el secado será más efectivo; esto se debe posiblemente a que las gotas podrán tener una mejor transferencia de calor con el aire y el agua saldrá a la superficie de las mismas de manera más fácil, facilitando la evaporación de la misma.

Para ejemplificar un proceso de este tipo, se puede observar la Figura 2 en donde se puede observar como la leche asperjada en la cámara sólo se somete a deshidratación en este punto, no existiendo ninguna otra forma de disminuir su contenido de humedad y siguiendo el transporte neumático para su empaque. Es posible encontrar diferentes diseños, pero en términos generales así es el funcionamiento.

Figura 2. Equipo de deshidratación en una etapa



Fuente: Tetra Pak, 1996

2.2.2.3 Atomización por disco rotativo

Dentro de las formas de llevar a cabo la deshidratación por aspersion, se pueden encontrar por toberas y por disco rotativo, dependiendo del producto a tratar, así se elige el tipo de atomizador. Según Westergaard (2004), en la atomización rotativa el líquido es llevado hacia el borde de la rueda atomizadora por fuerzas centrífugas que las produce la rotación, el líquido se distribuye en la parte central para después ser extendido sobre la rueda, posteriormente es descargado a una alta velocidad en su periferia. Además de esto, se recomienda este tipo de disco para leche descremada y leche entera normales.

En este tipo de atomización, pueden ser controladas la velocidad del disco, el caudal de alimentación del producto y las propiedades del líquido, influyendo estas directamente sobre el grado de atomización. Por esto, se debe controlar tales aspectos con el fin de obtener resultados más aproximados a lo requerido en el producto final.

Debido a que las variables mencionadas anteriormente pueden ser tan determinantes en el producto, se indica cómo cada una, de acuerdo a Westergaard (2004), afecta el proceso como sigue:

- a. Velocidad de alimentación del líquido: el tamaño de la gota puede aumentar al aumentar la alimentación a una velocidad constante.
- b. Velocidad periférica: depende del diámetro y velocidad de la rueda. Es la variante más conocida para ajustar el tamaño de la gota. Ruedas grandes, producen gotas más grandes.
- c. Viscosidad del líquido: se obtienen partículas mayores con un aumento de la viscosidad de alimentación, para asegurar una atomización óptima, la viscosidad se mantiene lo más baja posible.

Como se puede notar, existen diversas maneras por las cuáles el tamaño de partícula varía con este tipo de atomizador, según Masters (citado por Ramos, 2014), el tamaño de partícula en micrómetros (μm) obtenido de un disco rotativo es de 1-600 μm .

Apoyando la información anterior, Tetra Pak (1996), afirma que en la atomización con disco rotativo las propiedades del producto (granulometría, capacidad de humectación, textura, solubilidad y densidad), pueden estar controladas por la velocidad de rotación del disco, el cual puede variar desde 5000 hasta 250000 revoluciones por minuto (rpm) y Westergaard (2004), afirma que las partículas más pequeñas, se deshidratan más uniformemente. Por lo cual, también se podría decir que es posible que, si la velocidad del disco se mantiene estable y con un tamaño de partícula controlado, las propiedades en términos generales del producto final, tiendan a comportarse similar, logrando la

implementación de un proceso enfatizado si no se descuidan los otros puntos de control durante el proceso.

Como se ha descrito anteriormente, las partículas de leche en un proceso de deshidratación, pierden humedad y esto hace que físicamente, sufran modificaciones, por ejemplo, Westergaard (2004) menciona que “Durante la eliminación de agua de las gotas, se produce una considerable reducción en el peso, volumen y diámetro de la partícula. Bajo condiciones ideales de secado el peso disminuirá alrededor del 50 %, el volumen descenderá a un 40 % y el diámetro a un 75 % aproximadamente de la gota creada por el atomizador.” (p. 125).

2.3 Análisis para evaluar la calidad de la leche en polvo

Los resultados de los análisis de calidad son un reflejo de las condiciones de la cadena de operaciones por los que ha tenido que pasar la materia prima para convertirse en el producto esperado, de aquí la importancia de aplicar análisis que puedan evidenciar de manera confiable tales aspectos y así garantizar que el proceso se lleve a cabo cumpliendo parámetros que aseguren un producto final acorde a las necesidades del cliente e inocuo.

Aspectos que podrían incidir en la calidad de la leche en polvo pueden ser desde condiciones de los tratamientos dados a la leche fluida como materia prima, condiciones y comportamiento del proceso de secado y su tecnología, así como condiciones y operación del equipo.

En la producción de leche en polvo se deben cumplir ciertos parámetros de forma reglamentaria, como por ejemplo el porcentaje de humedad, pero además deben contemplarse otros con los que pueden detectarse fallas en el proceso y posteriormente oportunidades de mejora. Tales métodos han sido publicados por empresas que se han dedicado al estudio de los procesos de deshidratación de leche en polvo, estudio de la ciencia y química de este producto, así como el diseño de equipos que integren la mejor tecnología para una menor afectación del producto final.

2.3.1 Humedad

El porcentaje de humedad es uno de los aspectos más relevantes de controlar y conocer en los productos alimentarios, especialmente en aquellos que se ven sometidos a tratamientos de deshidratación. Se sabe que el agua es un compuesto fundamental para el desarrollo de la vida y la participación de esta en procesos bioquímicos es muy relevante. El agua puede estar ligada químicamente en los alimentos o puede estar libre (llamado a_w) y podría interactuar de diversas maneras como por ejemplo en reacciones químicas o enzimáticas en el alimento o para el crecimiento, multiplicación y metabolismo de microorganismos. Alimentos con contenidos bajos de humedad y a_w son más estables y las reacciones químicas o enzimáticas están ausentes o son retardadas y los microorganismos no pueden desarrollarse haciendo que su vida útil sea más prolongada.

Debido a la gran relevancia de este constituyente, en la leche en polvo es un parámetro de cumplimiento normado y debe ser acatado. Por ello, en los diferentes países se tiene definido un documento de cumplimiento obligatorio. Para el caso específico de Costa Rica, los rangos de cumplimiento se detallan en la Tabla 4, donde se indica que el máximo porcentaje de humedad permitido es de 5 %.

En la leche en polvo, al igual que en otros productos alimentarios, el contenido de humedad influye en la conservación, un mejor detalle de esto lo da Westergaard (2004) al indicar que cuando existen humedades altas en la leche en polvo entera, las proteínas se desnaturalizan y la lactosa se cristaliza, generando que la grasa libre aumente, favoreciendo la oxidación de la grasa. Estos cambios, pueden provocar que se presente una reacción Maillard, por lo que el polvo se observa color marrón e incluso con presencia de grumos; dicha reacción es mayor en cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento, temperatura y contenido de humedad residual, la cual puede ser controlada durante el proceso por la temperatura de secado.

Este tipo de análisis puede llevarse a cabo por medio de diferentes métodos, como por ejemplo en un horno de secado en el que el polvo se seca en parámetros entre 102-105° C durante tres horas y por diferencia de pesos se obtiene el resultado; otros métodos son más rápidos, como en los que se utiliza una potente lámpara de calor y otros que utilizan una luz infrarroja (Westergaard, 2004).

De acuerdo a Westergaard (2004), una vez aceptado el porcentaje de humedad en el proceso y el polvo sea destinado a su empaque, para garantizar la estabilidad del porcentaje de humedad en el producto a lo largo de su vida útil, se debe empaquetar en un material que impida la entrada de humedad y almacenarse en un lugar seco y fresco donde la presión de los vahos sea baja.

2.3.2 Índice de insolubilidad

Este aspecto de calidad hace referencia a la porción de la leche en polvo que una vez reconstituida, no puede solubilizarse, por lo tanto, se pueden observar como un sedimento. Su resultado puede estar relacionado con las condiciones del proceso, como por ejemplo las temperaturas, por ello malos manejos del deshidratador producirán polvo con baja solubilidad.

De acuerdo a Westergaard (2004), este resultado se expresa en mL de sólidos de sedimento, un producto con un bajo índice de insolubilidad se puede considerar que es 0,2 ml o menor, esto se logra siempre y cuando se utilice materia prima de buena calidad y deshidratada en los evaporadores modernos y de los más recientes diseños. A pesar de este parámetro, American Dairy Products Institute (2002) establece en una ficha técnica de leche entera en polvo, un índice máximo aceptable igual o menor a 1,2 mL.

Las causas de un alto índice de insolubilidad pueden ser varias, sin embargo, a la que más se atribuye a esto es la caseína desnaturalizada o combinaciones muy complejas de proteínas de caseína-suero y lactosa, cuya química no es totalmente entendida.

Un fenómeno que se puede presentar durante el procesamiento y que puede afectar este parámetro de calidad es el “case hardening”, el cual es un endurecimiento de la partícula, de acuerdo con esto Westergaard (2004), menciona que consiste de una cáscara dura que se forma en la superficie, la cual provoca que la difusión del agua, vapor de agua o aire adjunto de la partícula suceda de forma muy lenta, ocurre con contenidos de humedad residual de 10-30 % en donde las proteínas y mayormente la caseína, son fácilmente desnaturizables por lo que la leche podría tener una baja solubilidad.

Para Wasteergard (2004), los factores más influyentes en la obtención de insolubilidad en una leche en polvo son los siguientes:

- a. Leche fluida con alta desarrollo de ácido láctico, producto de alta actividad bacteriológica, ya que, sometida a altas temperaturas en el proceso, se produce desnaturización de proteínas, especialmente lactosa.
- b. El comportamiento general es que, a mayor temperatura y viscosidad durante el tratamiento, mayor índice de insolubilidad. Cuando el contenido de lactosa es alto, favorece bajos índices de insolubilidad, ya que se cree que la lactosa puede proteger a las proteínas de la desnaturización.
- c. Los polvos resultados de una deshidratación en una etapa, por lo general presentan un mayor índice de insolubilidad que con respecto los secados en dos etapas.

2.3.3 Partículas quemadas

Las partículas quemadas son usadas en las empresas de deshidratación de leche como un indicador de las condiciones del proceso, pero además como detonante del nivel de limpieza que tiene el equipo, por esto pueden ser tomados en cuenta para la toma de decisiones al respecto.

En Westergaard (2004) generalmente las partículas quemadas son aceptadas hasta cierto nivel, ya que es normal que dentro de la cámara de secado se formen depósitos y al exponerse a altas temperaturas, se queman, adquieren un

color típico y a la vez son insolubles. Los factores que afectan el resultado de un análisis de partículas quemadas son los siguientes:

- a. La leche fluida puede contener alguna suciedad o sedimento y si no se clarifica en un separador, estas partículas aparecerán más tarde en el polvo.
- b. En el caso de que se utilice un evaporador, el concentrado puede tener grumos gelatinosos, insolubles y de color marrón que pueden dar lugar a partículas quemadas.
- c. Formación de depósitos en diferentes partes de la cámara: rueda atomizadora, alrededor de las toberas o en el dispersor de aire.
- d. Limpieza insuficiente.

Una vez aplicado el procedimiento para la obtención de partículas quemadas, se compara contra el patrón y pueden expresarse como A (7,5mg), B (15mg), C (22,5mg) o D (32,5mg), dependiendo de la intensidad y color de las partículas retenidas en el filtro.

La recomendación de American Dairy Products Institute (2002), indica que deben encontrarse entre 7,5 y 15 mg en otras palabras, entre disco A y B.

III. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo muestra la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos durante la elaboración del proyecto.

3.1 Localización

El proyecto se llevó a cabo en la Planta Docente de la Universidad Técnica Nacional Sede de Atenas, ubicada en Balsa de Atenas; dicho sitio se encuentra a una altitud aproximada 450 metros sobre el nivel de mar (msm) y de acuerdo al Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2016), se reportan una temperatura promedio de 25,78° C y una humedad relativa promedio de 79,92%, esto en el período de 1996-2015. Las producciones experimentales se desarrollan entre los meses de febrero y marzo de 2016.

Además, las pruebas de calidad al producto final se realizan en el laboratorio de Ciencias Básicas de dicha Universidad y en el laboratorio de recibo de leche de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, R.L en San Carlos.

3.2 Equipo de deshidratación

Las pruebas de proceso experimentales se realizan con un equipo deshidratador con que cuenta la Universidad, el mismo es de una etapa y trabaja por la tecnología de secado por atomización con disco aspersionador, no cuenta con un sistema neumático de salida de polvo, sino que es por medio de válvula rotativa que expulsa el producto de la cámara de secado, la alimentación no es por alta presión sino es por una bomba peristáltica, no incorpora las partículas finas al sistema, sino se captan en un recipiente destinado para esto. Además, trabaja con una temperatura máxima de entrada de aproximadamente 171° C y calienta el aire de entrada por medio de vapor y electricidad (resistencias eléctricas).

Las principales características del equipo reportadas por el fabricante, se describen en la Tabla 6.

Tabla 6. Características del equipo deshidratador

Aspecto	Detalle
Marca	Teknomáquinas
Modelo	35-50 L
Dimensiones tanque secado	2 m diámetro 2 m altura
Capacidad tanque alimentación	100 L
Velocidad sistema aspersor rotativo	0 – 12000 rpm
Tamaño partícula	20 – 60 micras
Desplazamiento turbina de aire caliente	12 – 40 m/s
Material construcción	Acero inoxidable 304 No. 16
Fuentes energía	Vapor y electricidad

Fuente: Sánchez, 2015

3.3 Materia prima

La materia prima utilizada es leche de vaca fluida producida por la Unidad Productiva de Ganado de Leche y solicitada con las siguientes características a la Planta de Lácteos:

- a) Proveniente de animales sanos.
- b) Libre de antibióticos.
- c) Libre de olores, sabores y colores extraños o no característicos.
- d) Libre de peligros físicos.
- e) Pasteurizada a 63° C durante 30 minutos (pasteurización lenta).
- f) Contenido de grasa entre 1.80-2.01% de grasa.

3.3.1 Análisis a la materia prima

A la leche fluida utilizada en cada proceso experimental, se le toma una muestra y se realiza por triplicado cada uno de los siguientes análisis:

- a. pH: obtenido mediante un pH metro correctamente calibrado marca Hanna modelo HI 2211.
- b. Porcentaje de acidez: mediante el método de acidez titulable expresado como ácido láctico (ATECAL) en leches, descrito por Revilla (2009) p. 253

(Anexo 1), con una bureta calibrada en porcentaje de ácido láctico, hidróxido de sodio titulado al 0,1011 N y fenolftaleína al 1% en alcohol etílico de 95%.

Estos análisis se efectuaron inmediatamente antes de su procesamiento, esto para asegurarse que la leche fluida cumple con las condiciones recomendadas para este tipo de procesamiento.

3.4 Metodología del proceso

Para lograr el objetivo del proyecto, se trabajó con dos tratamientos: uno con velocidad de disco aspersor de 60 Hz y el otro de 65 Hz, ambos elegidos con base a las recomendaciones del fabricante del equipo y las pruebas de proceso realizadas en forma preliminar. Para cada tratamiento, se realizaron tres repeticiones de proceso, para un total de seis pruebas experimentales.

La Tabla 7 muestra las condiciones de proceso y parámetros de funcionamiento del equipo en cada una de las repeticiones de ambos tratamientos, dichas condiciones y parámetros se midieron cada 7 ± 1 minutos.

Tabla 7. Condiciones de proceso y parámetros de funcionamiento de equipo deshidratador

Aspecto	Condición
Temperatura de salida	78 – 80° C
Temperatura de entrada	171° C
Velocidad ventilador entrada	30 Hz
Velocidad ventilador salida	40 Hz
Presión de vapor	6 bar
Temperatura inicial leche fluida	60-65° C
Masa leche fluida semidescremada	20 Kg

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo cada prueba de proceso experimental, se realizaron las siguientes operaciones para su funcionamiento:

- a) Encender el equipo.
- b) Alimentar de vapor al sistema y encender las resistencias eléctricas para que caliente el aire de entrada en el equipo.
- c) Una vez alcanzada la temperatura máxima del aire de entrada, alimentar el sistema con agua para estabilizar los parámetros de trabajo del equipo.
- d) Cerrar la alimentación de agua e inmediatamente alimentar con la leche.
- e) Realizar los ajustes mínimos necesarios que se requiere, después de la alimentación con la leche fluida para mantener los parámetros establecidos dentro de las condiciones de proceso determinadas.
- f) Vibrar con una regularidad de 5 ± 1 minutos el cono, para facilitar la salida de la leche en polvo.
- g) Al finalizar la alimentación de leche, alimentar con agua el sistema para limpiar los conductos del mismo, por 5 ± 1 minutos.
- h) Detener la alimentación de agua, detener la entrada de vapor y apagar las resistencias, esto para lograr la reducción de la temperatura del sistema hasta llegar a 100° C, durante este proceso mantener encendidos los ventiladores del equipo.
- i) Apagar el equipo.

La leche en polvo obtenida del proceso, se recolectó en un recipiente de acero inoxidable en la salida principal de producto y en la botella acoplada al equipo para la recolección de partículas finas. El producto obtenido en cada uno de estos puntos de recolección se mezcló, así como el obtenido del raspado de las paredes del equipo.

Una vez todo el producto mezclado, se procedió a su empaque al vacío y posteriormente en una bolsa de polietileno laminado.

3.5 Variables

Las variables utilizadas para evaluar los tratamientos sobre el producto final son: humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas. En cada una de las pruebas de proceso, se toma una muestra al azar de producto, necesaria para realizar análisis por triplicado a cada una de las variables.

3.5.1 Humedad

La humedad se determinó por medio del equipo InfraXact™ FOSS, el cual funciona con reflectancia de infrarrojo cercano (NIR).

3.5.2 Índice de Insolubilidad

Se tomó como referencia el procedimiento descrito por el método GEA Niro Method No. A 3 a – Insolubility Index (Anexo 2) tomado de GEA Niro Analytical methods (s.f), con las siguientes variaciones al método:

- a. No se utiliza el antiespumante recomendado
- b. Se trabaja con el doble requerido de agua y leche en polvo: 200 mL y 26 g respectivamente.
- c. La centrífuga se trabaja a 1075 revoluciones por minuto (rpm).

3.5.3 Partículas quemadas

Para el análisis de partículas quemadas, se tomó como referencia el procedimiento descrito por el método GEA Niro Method No. A 4 a – Scorched Particles (Anexo 3) tomado de GEA Niro Analytical methods (s.f), con las siguientes variaciones al método:

- a. Mezclador marca Proctor Silex modelo 59738 opera a 3600 r.p.m.
- b. No se utiliza el antiespumante recomendado.
- c. Se mezcla la leche en polvo con el agua por medio de una espátula acanalada previo a usarle el mezclador, para incorporar mejor la leche al agua.
- d. Los filtros con el resultado se secan 1 hora a 35° C.

3.6 Análisis estadístico

Se calculan el promedio, la desviación estándar y el Coeficiente de Variación (CV) en cada una de las repeticiones de los dos tratamientos para conocer el nivel de variabilidad, clasificándose de acuerdo con Acuña (2010) mencionado en Cordero et.al (2014), de la siguiente manera: si el CV supera el 30 % se considera una muestra bastante variable y si es menor de 10 % se considera una muestra con poca variabilidad.

Posterior a esto, se utiliza la Distribución- t con el fin de determinar si la diferencia es significativa entre las medias de los tratamientos para cada variable y se utiliza bajo los siguientes supuestos:

- a. La muestra es pequeña (menor a 30 observaciones)
- b. Las inferencias se realizan sobre las medias de los tratamientos
- c. Varianza poblacional es desconocida
- d. Se parte del supuesto de que la población de dónde se ha tomado la muestra posee una distribución normal.

La Distribución- t se calcula por medio del programa R- Commander versión 3.2 con un nivel de significancia de $\alpha= 0,05$. Se establecen las siguientes hipótesis para el análisis de cada una de las variables en los dos tratamientos:

$H_0: \mu_{60} - \mu_{65} = 0$ (Hipótesis nula)	}	Porcentaje de humedad
$H_A: \mu_{60} - \mu_{65} > 0$ (Hipótesis alternativa)		

$H_0: \mu_{60} - \mu_{65} = 0$ (Hipótesis nula)	}	Índice de insolubilidad
$H_A: \mu_{60} - \mu_{65} \neq 0$ (Hipótesis alternativa)		

$H_0: \mu_{60} - \mu_{65} = 0$ (Hipótesis nula)	}	Partículas quemadas
$H_A: \mu_{60} - \mu_{65} > 0$ (Hipótesis alternativa)		

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo muestra los resultados obtenidos en cada una de las repeticiones realizadas con ambos tratamientos considerando las velocidades desde que se tiene la materia prima hasta obtener el producto final, cada uno de los factores analizados cuentan con su respectiva discusión.

4.1 Análisis realizados a la leche fluida

En cada una de las pruebas de proceso, la Planta de Lácteos de la UTN garantizó la entrega de leche fluida con las características mencionadas en el apartado 3.3 del marco metodológico, ya que algunas corresponden a los análisis rutinarios de control de inocuidad de dicha planta, por ello, desde estos aspectos la leche es apta para su procesamiento. Además, se es responsable de aplicar los procesos de pasteurización, normalización del contenido de grasa y temperado solicitados.

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de los análisis de pH y ATECAL realizados a la leche fluida como materia prima para los procesos de deshidratación de leche.

Tabla 8. Promedios de mediciones de pH y porcentaje ácido láctico en la leche fluida utilizada como materia prima en ambos tratamientos

Tratamiento	Prueba	pH y T° de análisis	% ácido láctico y T° de análisis
60 Hz	1	6,70 a 22,0° C	0,15 a 20,0° C
	2	6,71 a 21,0° C	0,14 a 20,0° C
	3	6,85 a 19,0° C	0,14 a 20,6° C
	Promedio general	6,75 a 20,7° C $\sigma= 0,08$	0,14 a 20,2° C $\sigma= 0,01$
65 Hz	1	6,68 a 20,4° C	0,13 a 20,5° C
	2	6,77 a 20,5° C	0,12 a 20,5° C
	3	6,66 a 20,0° C	0,15 a 16,0° C
	Promedio general	6,70 a 20,3° C $\sigma= 0,06$	0,13 a 19,0° C $\sigma= 0,01$

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 8, los datos de pH de la leche correspondiente a ambos tratamientos se encuentran dentro de los rangos aceptados como normales en la literatura, ya que Revilla (2009) indica que el pH en leche normal es de 6,34 hasta 6,92. Como se puede observar, el valor mínimo obtenido es de 6,6 y el máximo de 6,85.

En el caso del análisis de ATECAL, Revilla (2009) indica que la leche normal puede variar desde 0,10% a 0,26%, por ello los resultados de este análisis para ambos tratamientos cumplen lo especificado. El valor mínimo obtenido es de 0,12% y el máximo de 0,15% por lo que se considera una leche apta para el proceso de deshidratación desde este aspecto, ya que Westergaard (2004) indica como una acidez máxima para el proceso de secado de 0,15%.

La relevancia del cumplimiento del pH y el porcentaje de acidez en la leche fluida para el proceso, radica en que no se afecta el índice de insolubilidad de la leche en polvo, ya que de acuerdo a lo mencionado por Westergaard (2004), una alta cantidad de ácido láctico en la leche provoca que, durante el proceso de deshidratación, el cual se realiza a altas temperaturas (en promedio para ambos procesos es de 167,6° C y 171,2° C) se dé una desnaturalización irreversible de las proteínas, especialmente de la caseína, dando como resultado un alto índice de insolubilidad en el producto final.

Debido a la importancia del control del proceso, se documentaron los diferentes parámetros de proceso con los que se trabajó en cada prueba. Como se puede observar en la Tabla 9, se determinaron los valores promedio de cada parámetro, así como un valor promedio para cada tratamiento.

Tabla 9. Promedio de condiciones de proceso controladas durante ambos tratamientos

Tratamiento	Repetición	Temperatura entrada en ° C	Temperatura salida en ° C	Temperatura leche fluida en ° C	Velocidad alimentación en Hz
60 Hz	1	160,2	78,0	47,6	16,5
	2	170,1	78,4	46,7	16,8
	3	172,5	78,4	54,5	16,5
	Promedio general	167,6	78,3	49,5	16,6
65 Hz	1	171,4	78,0	48,4	16,5
	2	170,6	79,0	44,4	16,7
	3	171,7	78,7	52,1	16,6
	Promedio general	171,2	78,5	48,3	16,6

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las temperaturas de entrada y salida del sistema de deshidratación, Westergaard (2004) indica que la temperatura del aire de entrada en leche entera puede trabajar con temperaturas de 180-200° C, así mismo Brennan (2008) establece que la temperatura del aire de entrada para el procesamiento de leche entera puede ir desde 175-200° C y la temperatura del aire de salida puede ser de 75-95° C. A pesar de que la temperatura mínima de entrada que se recomienda es de 175° C y 180° C, el equipo usado en las pruebas de proceso es capaz de alcanzar una temperatura máxima de $171 \pm 1^\circ \text{C}$ debido a la capacidad de la caldera y resistencias eléctricas con las que funciona. A pesar de esta condición, se logra deshidratar la leche y al mismo tiempo, no sobrepasar el rango máximo recomendado, que pudiese haber provocado problemas de calidad en la leche en polvo.

El promedio de temperatura de entrada correspondiente a la prueba 1 del tratamiento de 60 Hz, es considerablemente más bajo que los otros resultados, lo cual es ocasionado por una falta de combustible en la caldera, ante esta situación y en cuanto se corrigió, se ajustó la velocidad de alimentación de forma tal que la temperatura de salida cumpliera con el rango propuesto, logrando aun así secar la leche fluida.

En cuanto a la temperatura de salida, se manipuló la velocidad de alimentación de la leche fluida de forma tal que esta se mantuvo en el rango propuesto en la metodología del proyecto (78-80° C) y de esta manera, se cumple con lo recomendado en la teoría para este aspecto. Además de acuerdo a Westergaard (2004), al haberse controlado apropiadamente es posible que haya generado beneficios al producto final e indique que el proceso es correcto, ya que:

- a. Puede incidir en el contenido de humedad residual porque si se mantiene constante, la humedad residual del producto también será constante.
- b. Influye sobre la temperatura de las partículas de polvo ya que, si es muy alta, las partículas pueden explotar y formárseles una pequeña cáscara por lo que abandonaría el secador de aire en forma de finos.

- c. Además, una alta temperatura de salida, podría indicar que el aire no está siendo aprovechado debido a una mala atomización o mala distribución del aire.

Siguiendo con los resultados expuestos en la Tabla 9, las temperaturas de la leche fluida utilizada como materia prima, no se mantuvieron dentro de lo estipulado en la metodología (temperatura inicial entre 60-65° C) debido a los tiempos de transporte de la Planta de Lácteos a la Planta de Deshidratación, trasvasado al tanque de alimentación y alimentación de la máquina, hicieron que hubiese un intercambio de temperatura con el medio ambiente, perdiéndola rápidamente del rango propuesto.

A pesar de esto, Westergaard (2004) menciona que una temperatura normal en los tanques de alimentación es de 45-50° C y de acuerdo a ServSafe (2012), el tiempo máximo para mantener un producto en el rango de la zona de peligro de 57° C a 21°C es de 2 horas. Debido a lo anterior, la temperatura de la leche fluida usada no tuvo un impacto negativo sobre el proceso y no puso en riesgo la inocuidad de la misma, ya que el tiempo total de proceso es de 1 hora \pm 5 minutos.

4.2 Análisis de las variables en estudio

A continuación, se muestran gráficos que indican el valor promedio de los análisis de cada variable en estudio de la leche en polvo (humedad, índice de insolubilidad y partículas quemadas) para cada uno de los dos tratamientos: 60 Hz y 65 Hz. Además, se presentan los resultados producto del análisis estadístico realizado y su discusión. En el Apéndice 15, se pueden observar con mayores detalles los resultados de cada una de las repeticiones de cada tratamiento.

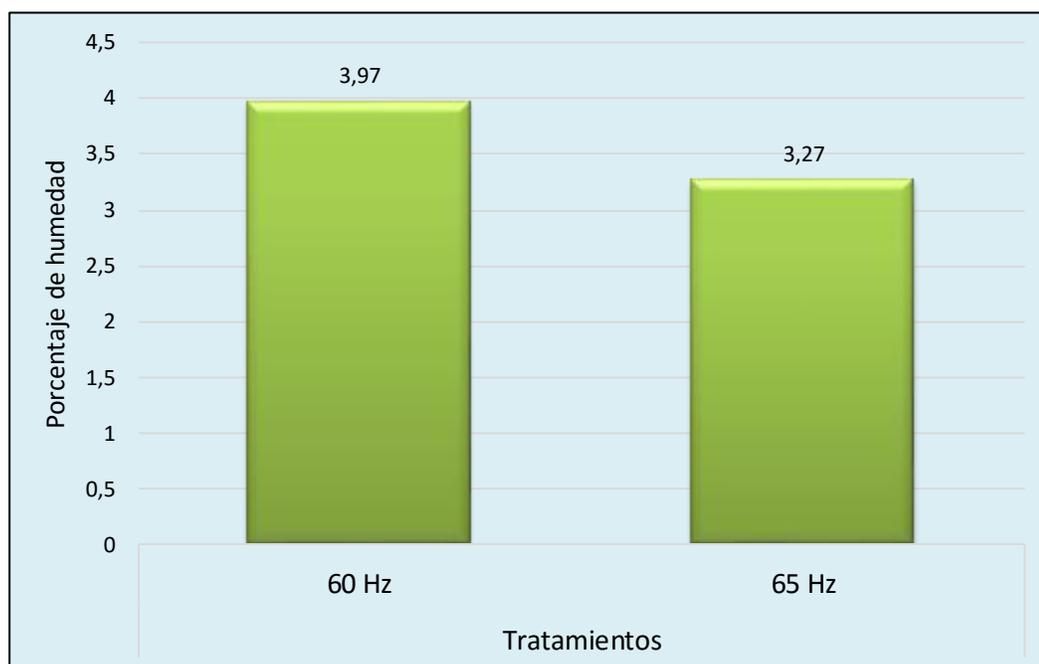
4.2.1 Porcentaje de humedad

Los resultados del porcentaje de humedad del tratamiento de 60 Hz poseen un coeficiente de variación de 6,0 % por lo que se considera que en los datos se

presenta poca variabilidad, y para el tratamiento de 65 Hz, el coeficiente de variación es de 7,3 % considerándose también poco variables los datos.

De acuerdo con los análisis realizados a la leche en polvo de cada una de las repeticiones que se hicieron, se obtuvieron los promedios del porcentaje de húmeda de ambos tratamientos, los cuales se muestran gráficamente a continuación.

Gráfico 1. Promedio del porcentaje de humedad de la leche en polvo en los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz



Como se puede observar, el resultado del promedio de esta variable en el tratamiento de 60 Hz es de 3,97 % con una desviación estándar de 0,24 %, cumpliendo con lo establecido en la reglamentación de Costa Rica, la cual indica que debe tener un porcentaje menor a 5 % de humedad.

El porcentaje de humedad del tratamiento de 65 Hz presenta un promedio de 3,27 % y una desviación estándar de 0,24 %, por lo que, de igual forma, cumple con la reglamentación al respecto.

Al ser analizadas los promedios de ambos tratamientos, se obtiene un valor de probabilidad $p\text{-value}= 0,00066$, por lo que se puede afirmar que, el porcentaje

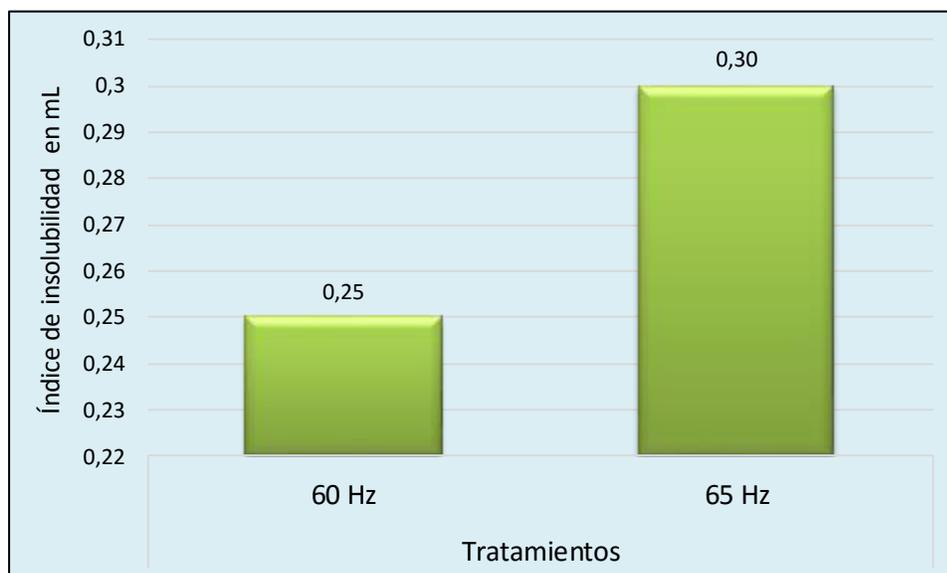
promedio de humedad es significativamente menor en el tratamiento de 65 Hz. Este comportamiento, puede deberse a que a una mayor velocidad del disco aspersor, el tamaño de gota es más pequeño, por lo que la superficie alcanzada de gotas de leche es más extensa y al entrar en contacto con la corriente de aire caliente, la evaporación del agua de cada gota es mayor. Este comportamiento es favorecido si las condiciones de proceso son estables.

4.2.2 Índice de insolubilidad

Los resultados del índice de insolubilidad del tratamiento de 60 Hz poseen un coeficiente de variación de 21 % por lo que se considera que en los datos no existe mucha variabilidad, y para el tratamiento de 65 Hz, el coeficiente de variación es de 11 % considerándose también que en los datos no tienen mucha variabilidad entre uno y otro.

De acuerdo con los análisis realizados a la leche en polvo de cada una de las repeticiones que se hicieron, se obtuvieron los promedios del índice de insolubilidad de ambos tratamientos, los cuales se muestran gráficamente a continuación.

Gráfico 2. Promedio del índice de insolubilidad de la leche en polvo de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz



Como se puede observar, el resultado del promedio de esta variable en el tratamiento de 60 Hz es de 0,25 mL con una desviación estándar de 0,05 mL, y el promedio en el tratamiento de 65 Hz es de 0,30 mL con una desviación estándar de 0,03 mL. Estos datos cumplen con el resultado recomendado en el American Dairy Products Institute (2002), el cual establece en una ficha técnica de leche entera en polvo, un índice máximo aceptable igual o menor a 1,2 mL. Además, se acercan a lo que indica Westergaard (2004) al mencionar que un bajo índice de insolubilidad, es de 0,2 mL.

Un resultado aceptable en el índice de insolubilidad, indica que las condiciones de proceso o materia prima han sido controladas y se dieron dentro de lo recomendado, los referentes teóricos mencionan que un alto índice de insolubilidad puede deberse a caseínas desnaturalizadas, combinaciones muy complejas de proteínas de caseína-suero y lactosa, leche con alto desarrollo de ácido láctico (provocando con el calentamiento la desnaturalización de proteínas), tratamientos intensos de calor a la leche (pueden producir desnaturalizaciones irreversibles de proteínas), además la alta viscosidad de la leche o concentrado, mala atomización y altas temperaturas durante el secado influyen sobre este parámetro de calidad.

Al ser analizados los datos, se obtiene como resultado una $p\text{-value}= 0,10$. Al analizar este dato, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa. Esto quiere decir que no se aprecia diferencia significativa entre las medias del índice de insolubilidad para ambos tratamientos. Por ello, para este caso, no se puede afirmar que uno u otro tratamiento genera mejores resultados con respecto a esta variable.

Debido al cumplimiento del parámetro en ambos tratamientos, se puede afirmar que los procesos cumplieron con las especificaciones y recomendaciones: desde trabajar con leche aceptable para este proceso, hasta el manejo apropiado de los parámetros del equipo, como por ejemplo las temperaturas, ya que como se mencionó anteriormente, son determinantes para evitar desnaturalizaciones de proteína. Además, este resultado aceptable, indica

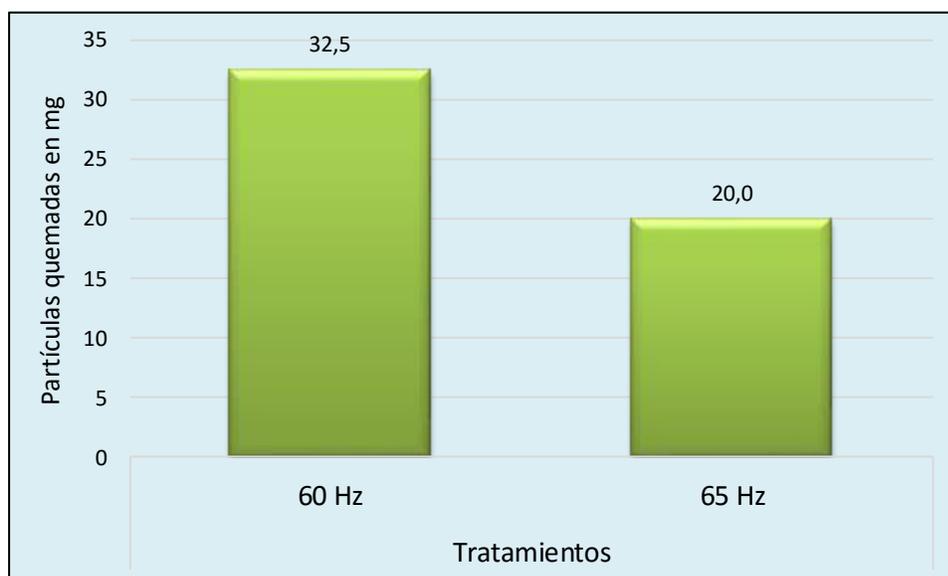
que hubo buena atomización de la leche por lo que ambas velocidades del disco, para este aspecto de calidad, pueden ser utilizadas ya que no alteran negativamente este resultado y, estadísticamente no existe diferencia en el resultado final entre uno u otro.

4.2.3 Partículas quemadas

Los resultados de las partículas quemadas en el tratamiento de 60 Hz, poseen un coeficiente de variación de 0 % por lo que en los datos no existe variabilidad, y para el tratamiento de 65 Hz, el coeficiente de variación es de 18 % considerándose que en los datos no existe mucha variabilidad.

De acuerdo con los análisis realizados a la leche en polvo de cada una de las repeticiones que se hicieron, se logra obtener los promedios de las partículas quemadas de ambos tratamientos, los cuales se muestran gráficamente a continuación.

Gráfico 3. Promedio de partículas quemadas de la leche en polvo de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz



Como se puede observar, el resultado del promedio de esta variable en el tratamiento de 60 Hz es de 32,5 mg con una desviación estándar de 0 mg, y el promedio en el tratamiento de 65 Hz es de 20,0 mg con una desviación estándar de 3,75 mg. Ambos datos incumplen con el resultado recomendado, ya que, de

acuerdo a la recomendación de American Dairy Products Institute (2002), debe encontrarse entre 7,5 y 15 mg.

Las partículas quemadas denotan partículas expuestas a altas temperaturas y tiempo, observándose con colores amarillo y café en diferentes tonalidades, dichas partículas son insolubles. Las fuentes bibliográficas indican que se puede deber a leche con suciedad o sedimentos que luego suelen estar presentes en el polvo, formación de depósitos en los diferentes conductos del sistema, en la rueda atomizadora o en el dispersor de aire y limpiezas poco profundas.

Analizando el incumplimiento de este aspecto, se observó partículas quemadas en los filtros y también se observaron partículas oscuras, como partículas de polvo y otras suciedades (Apéndice 1-6), por lo que, es probable que el resultado se ve alterado por otras causas.

Al analizar las condiciones de proceso con los resultados desde el punto de vista de partículas de polvo y suciedad, se pueden identificar posibles razones por las cuales el resultado es insatisfactorio: ausencia del filtro en el aire de entrada al deshidratador permitiendo que cualquier suciedad ingrese al sistema, metodología de limpieza realizada al equipo deshidratador e instalaciones insatisfactorias de la Planta de Deshidratación, ya que se observan aberturas y el piso y paredes no cumplen con un diseño sanitario, generando fácilmente el desprendimiento de polvo.

Al ser analizados los datos, se obtiene como resultado una $p\text{-value} = 4,24 \times 10^{-6}$, por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Es así como se puede afirmar que, a pesar de que en ambos tratamientos se incumple el parámetro, las partículas quemadas son significativamente, menores en el tratamiento de 65 Hz, aunque exista en ambos tratamientos condiciones de proceso desfavorables para este aspecto de calidad.

A pesar de que las condiciones de proceso y ambientales sean similares en ambos tratamientos, tiene una diferencia significativa entre el resultado de uno y otro, por ello esto se ve afectado por la velocidad del disco, ya que se pueden

formar depósitos en diferentes puntos del sistema, o en la rueda atomizadora, además también se puede admitir que el comportamiento podría deberse a que, como esta velocidad produce un tamaño de partícula más pequeño, la superficie de líquido expuesto en pequeñas gotas al aire de secado es mayor, la transferencia de calor es más eficiente y, posiblemente, el aire de secado se enfría más con respecto al aire del tratamiento de 60 Hz, por lo que posee menor potencial de quemar partículas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los datos obtenidos en el análisis de los resultados se presentan diversas conclusiones importantes para lograr los objetivos del proyecto y también se hacen recomendaciones muy necesarias para la mejora continua del proceso de leche en polvo de la Universidad Técnica Nacional.

5.1 Conclusiones

- a. La leche fluida como materia prima es apta para el proceso de deshidratación: el pH en los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz es de 6,75 y 6,70 respectivamente, y la acidez expresada como ATECAL en el tratamiento de 60 Hz es de 0,14 % y para el de 65 Hz es de 0,13 %.
- b. El porcentaje de humedad promedio en las repeticiones de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz es de 3,97 % y 3,27 % respectivamente, con una desviación estándar de 0,24 % para ambos tratamientos, por lo que cumplen con la reglamentación nacional, con valores menores de 5% de humedad.
- c. Los promedios de los resultados del índice de insolubilidad de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz son de 0,25 mL con una desviación estándar de 0,05 mL y 0,30 mL con una desviación estándar de 0,03 mL, respectivamente, cumplen con la recomendación la cual indica un índice máximo aceptable de 1,2 mL.
- d. El resultado promedio para las partículas quemadas de los tratamientos de 60 Hz y 65 Hz es de 32,5 mg con una desviación estándar de 0 mg y 20 mg con una desviación estándar de 3,75 mg, respectivamente, por lo que no cumplen con la recomendación la cual indica un máximo aceptable de 15 mg.

- e. El porcentaje de humedad depende de la velocidad del disco aspersor, concluyendo que a mayor velocidad del disco aspersor, menor porcentaje de humedad en la leche en polvo, manteniendo condiciones estables de proceso.
- f. El índice de insolubilidad no se ve afectado por la velocidad del disco aspersor, ya que en ambos tratamientos los resultados promedios obtenidos no presentaron una diferencia significativa.
- g. Las partículas quemadas son significativamente menores en el tratamiento de 65 Hz, bajo el supuesto de la formación de depósitos en diferentes puntos del equipo y a la cinética de secado.
- h. De acuerdo a los resultados analizados para cada variable de calidad de la leche en polvo, el tratamiento con una velocidad de disco aspersor de 65 Hz bajo condiciones estándares de proceso y con el tipo de materia prima utilizada, es el más conveniente.

5.2 Recomendaciones

- a. Efectuar análisis de pH y ATECAL a la leche fluida como materia prima para evitar desnaturalización de proteínas y posteriormente, un alto resultados de índice de insolubilidad.
- b. Controlar efectivamente las condiciones de proceso y mantenerlas estables para obtener leche en polvo con características homogéneas.
- c. Colocar un filtro en la entrada de aire al equipo de deshidratación, ya que provoca incorporación de partículas contaminantes al producto final.
- d. Mejorar las instalaciones de la Planta de Deshidratación de leche, debido a que no cumple con las condiciones mínimas estipuladas en el Reglamento

Técnico Centroamericano de Buenas Prácticas de Manufactura, ya que se encuentran aberturas y las paredes y piso no cuentan con las condiciones para reducir la contaminación.

- e. Generar y validar una metodología de limpieza y desinfección del equipo de deshidratación.
- f. Efectuar una estandarización del proceso y estudio de todas las características de calidad, así como un estudio de vida útil de la leche en polvo.
- g. Concentrar la leche por medio de un evaporador para que el proceso sea más eficiente y genere mejores características de calidad.
- h. Incorporar un sistema vibratorio automático para facilitar el desprendimiento de partículas de las paredes de la cámara de secado y con esto una mejor recuperación de la leche en polvo.
- i. Para evitar que cuando la leche es reconstituida la grasa se separe y sea más propensa a oxidarse, se recomienda realizar una homogeneización a la leche fluida antes del proceso.
- j. Valorar la posibilidad de mejorar la humectación de la leche por medio de cambios al proceso (aglomeración) o lecitinización.
- k. Validar la variación de los cambios realizados a los métodos de análisis modificados de las variables de índice de insolubilidad y partículas quemadas.

- l. Efectuar una investigación de la relación entre la temperatura de entrada, la velocidad de alimentación y la temperatura de salida sobre el porcentaje de humedad.

- m. Efectuar un estudio de producción para determinar costos de operación del proceso y producto final.

- n. Realizar análisis microbiológicos al producto final para determinar si es inocuo y cumple con la reglamentación nacional al respecto.

VI. REFERENCIAS

- Acuña, A. (2012). *Control de la calidad un enfoque integral y estadístico*. (4ta ed). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- American Dairy Products Institute. (2002). *Standards for Grades of Dry Milks Including Methods of Analysis*. Recuperado de <https://www.adpi.org/Portals/0/PDF/Publications/Ingredient%20Description%20Brochure-Revised012203.pdf>
- Brennan, J. (2008). *Manual de procesos de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- Castro, K. (2010). *Tecnología de Alimentos*. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/biblioutnsp/reader.action?docID=10559592&ppg=1>
- Codex Alimentarius. (2011). *Leche y Productos Lácteos*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i2085s.pdf>
- Codex Stan. (1999). *Norma general del Codex para el uso de términos lecheros, 206*. Recuperado de [file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CXS_206s%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PERSONAL/Downloads/CXS_206s%20(2).pdf)
- Cordero, Q.M., Quesada, B.M., Rodríguez, B.J., Sánchez, G.J., Serrano, R.M., y Soto, D.A. (2014). *Factores asociados con el rendimiento académico en Matemáticas de algunos estudiantes de décimo año del Colegio Bilingüe de Palmares en el tema de función lineal*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- GEA Niro. (s.f). *Analytical methods*. Recuperado de <http://documents.tips/documents/niro-analytical-methods-allv2-55844856e61ae.html>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2016). Información datos meteorológicos Atenas. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>

- Ramos, E. (2014). *Determinación de las condiciones de operación del secador por aspersión de la Facultad de Ciencias Químicas para la producción de leche en polvo*. Xalapa, México. Recuperado de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/38614/1/RamosEsteban.pdf>
- Reglamento Técnico Centroamericano, RTCR 423. (2008). *Leche en polvo*. La Gaceta Decreto N° 35611 (2009). Recuperado de http://www.gaceta.go.cr/pub/2009/11/24/COMP_24_11_2009.pdf
- Revilla, A. (2009). *Tecnología de la leche*. (5ta. ed.). Honduras: Zamorano Academic Press.
- Sánchez, L. (2015). *Aspectos técnicos equipo deshidratador de leche*. Costa Rica: Alajucla. Teknomáquinas.
- Sarria, B. (1998). *Efectos del Tratamiento Térmico de Formulas infantiles y Leche de vaca sobre el efecto de la biodisponibilidad mineral y proteica*. (Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/X/3/X3068001.pdf>
- ServSafe. (2012). *Cuaderno de ServSafe para el gerente*. (6ta ed). Chicago: National Restaurant Association.
- Tetra Pak. (1996). *Manual de industrias lácteas. Leche en polvo*. En Tecnotext Trad. A. López y A Madrid Vicente, Madrid, España: Ediciones Madrid Vicente. P. 361-373.
- Westergaard, V. (2004). *Tecnología de la leche en polvo, evaporación y secado por atomización*. Copenhague, Dinamarca: Niro A/S. Recuperado de [http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/filenames/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf/\\$file/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf](http://www.niro.com/niro/cmsresources.nsf/filenames/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf/$file/es_Tecnologia-de-la-Leche-en-Polvo_todo.pdf)

VII. APÉNDICES

Apéndice 1. Partículas quemadas prueba 1 tratamiento de 60 Hz



Apéndice 2. Partículas quemadas prueba 2 tratamiento de 60 Hz



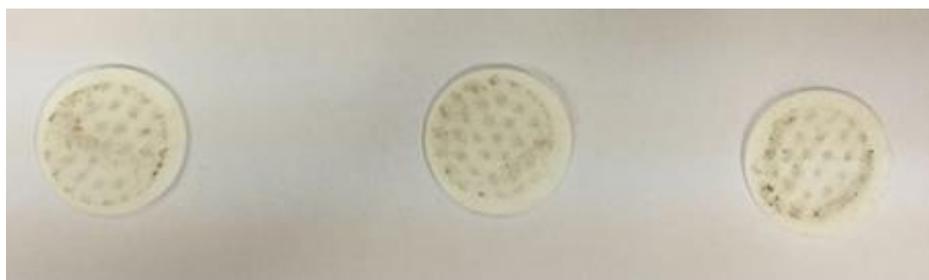
Apéndice 3. Partículas quemadas prueba 3 tratamiento de 60 Hz



Apéndice 4. Partículas quemadas prueba 1 tratamiento de 65 Hz

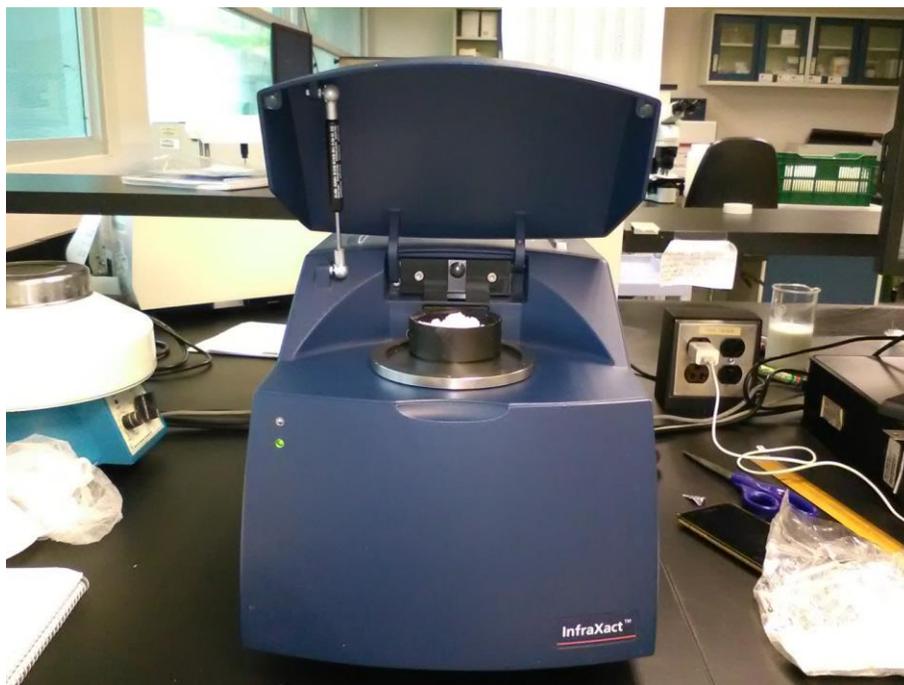
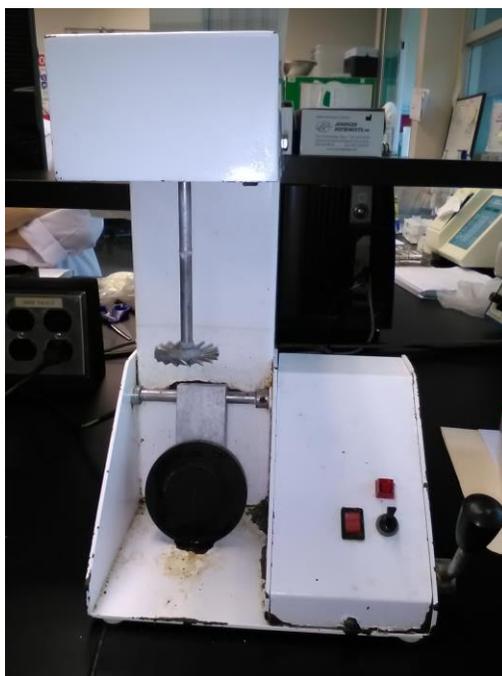


Apéndice 5. Partículas quemadas prueba 2 tratamiento de 65 Hz



Apéndice 6. Partículas quemadas prueba 3 tratamiento de 65 Hz

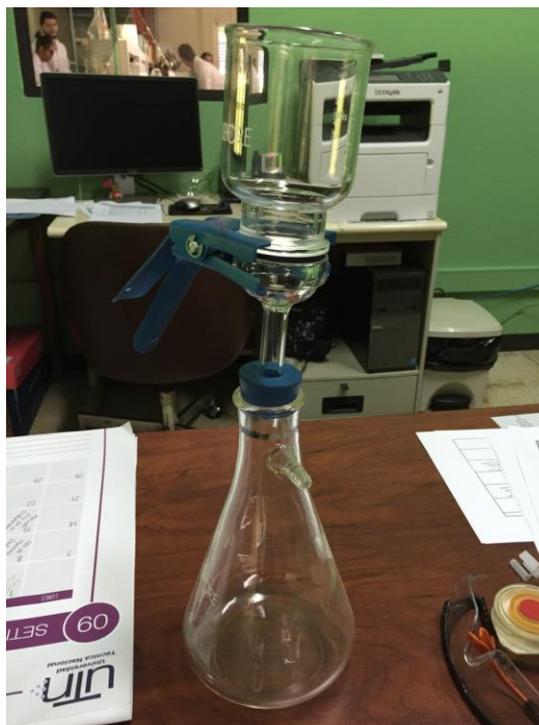


Apéndice 7. InfraXact™ FOSS**Apéndice 8. Mezclador para índice de insolubilidad**

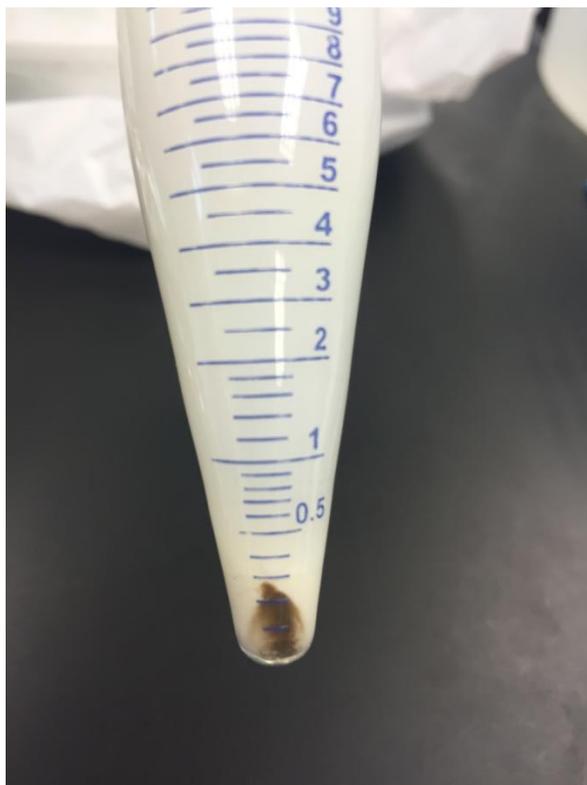
Apéndice 9. Fondo del vaso utilizado en el mezclador para índice de insolubilidad



Apéndice 10. Equipo filtrador utilizado para el análisis de partículas quemadas



Apéndice 11. Tubo cónico 50 ml utilizado para el análisis de índice de insolubilidad



Apéndice 12. Disco aspersor luego de una de las repeticiones



Apéndice 13. Cono del equipo deshidratador parte interna



Apéndice 14. Leche en polvo



Apéndice 15. Promedio y desviación estándar de los resultados de tres repeticiones de las variables analizadas a la leche en polvo obtenida de las pruebas de ambos tratamientos

Tratamiento 60 Hz	Repeticón 1			Promedio	Repeticón 2			Promedio	Repeticón 3			Promedio	Promedio total
Porcentaje humedad	4,39	4,23	4,22	4,28	3,79	3,79	3,80	3,79	3,84	3,84	3,83	3,84	3,97
Índice de Insolubilidad en mL	0,30	0,30	0,20	0,27	0,30	0,30	0,20	0,27	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25
Partículas quemadas en mg	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Tratamiento 65 Hz	Repeticón 1			Promedio	Repeticón 2			Promedio	Repeticón 3			Promedio	Promedio total
Porcentaje humedad	3,03	3,03	3,03	3,03	3,22	3,20	3,20	3,21	3,56	3,58	3,57	3,57	3,27
Índice de Insolubilidad en mL	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,27	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Partículas quemadas en mg	15,0	15,0	15,0	15,0	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	20,0

Fuente: Elaboración propia

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento de acidez titulable expresada como ácido láctico (ATECAL) en leche, suero de mantequilla y suero de queso

Equipo

Bureta especial calibrada en porcentaje o bureta regular calibrada en mililitros, taza de porcelana con interior blanco o vaso químico, pipeta de 9 mL o de 18 mL y gotero.

Reactivos

Solución de hidróxido de sodio al 0,1N, solución de fenolftaleína al 1 % en alcohol etílico de 95 % (1 g de fenolftaleína mezclado con 99 g de alcohol).

Procedimiento

1. Regule la temperatura de la muestra a 20° C.
2. Tome 9 mL de muestra y coloque en la taza.
3. Agregue tres gotas de la solución de fenolftaleína.
4. Agregue el hidróxido de sodio en forma lenta y con agitación constante, hasta que aparezca un color ligeramente rosado y que permanezca así, por lo menos, durante 30 s.
5. Lea el porcentaje de acidez directamente o los mL usados de hidróxido de sodio; en este caso aplique la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de acidez:

$$\text{ATECAL} = \frac{\text{mL de 0,1N de NaOH} \times 0,009}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

6. Cuando se utilizan 9 g de muestra basta multiplicar los mililitros de hidróxido de sodio por 0,1 para averiguar el porcentaje de acidez.

Anexo 2. Procedimiento GEA Niro Method No. A 3 a – Insolubility Index.



A 3 a - Insolubility Index

GEA Niro Method No. A 3 a

Revised: September 2006

1. Definition

The Insoluble Index is a measure for the ability of a powder to dissolve in water. It is defined as the volume of sediments in ml after centrifuging.

2. Scope

This method is normally used for skimmed milk, whole milk and sweet buttermilk powder, but can also be applied to other soluble, dried dairy products.

3. Principle

The powder is dissolved in water at a certain temperature and centrifuged. The supernatant is removed and replaced by water, and is centrifuged again before reading the volume of insoluble residue.

4. Apparatus

- 4.1 Balance, sensitivity 0.1 g.
- 4.2 Thermometer, sensibility $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$.
- 4.2 Solubility Index Mixer, Sniijders, The Netherlands, or equivalent.
Speed: 3800-4000 rpm.
- 4.3 Centrifuge, e.g. Funke-Gerber Super Quatro. The speed depends on the diameter from the bottom of the centrifugal glass to that of the diametrically opposite glass. See Table 1.
- 4.4 50 ml centrifuge glass, graduated.
- 4.5 Vacuum pump.
- 4.6 Spatula.
- 4.7 Wire.

5. Reagents

Defoaming agent: Octylalcohol or diglycol laurate.

6. Procedure

6.1 Amount of powder:

Whey:	6 g
Skimmed milk:	10 g
Whole milk:	13 g

- 6.2 Pour 100 ml of water with a temperature of $24^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ into the mixer jar. Check the temperature before adding the powder into the water.
- 6.3 Add 2-3 drops of de-foaming agent.
- 6.4 Mix for 90 seconds at 3800-4000 rpm.
- 6.5 Wait 15 min. Stir with a spatula before filling the solution in two centrifuge glasses to the 50 ml mark.
- 6.6 Centrifuge the solution for 5 min. at the required speed.
- 6.7 Use of a vacuum pump to suck up all sediment-free liquid that is more than 5 ml above the sediment layer. Fill the glasses with water to the 50 ml mark. Disperse the sediment into the water phase with a piece of wire.
- 6.8 Centrifuge for 5 min. at 900 rpm and read the amount of sediment in ml.

7. Results

Insolubility Index = ml sediment.

The average value of the two determinations is calculated, and the result is recorded to 1 decimal place.

8. Reproducibility

- 0.1 ml for insolubility index < 1.0 ml.
- 0.2 ml for insolubility index > 1.0 ml.

9. Remarks

The Insolubility Index is obtained from 50 ml of reconstituted powder.

10. Literature

GEA Niro Research Laboratory
IDF Method 129A:1988

Table 1: Centrifugal speed depends on the diameter from the bottom of the centrifuge glass to that of the diametrically opposite centrifuge glass.

Diameter		Speed
(mm)	(inches)	(r.p.m.)
254	10	1075
305	12	980
356	14	909
406	16	848
457	18	800
508	20	759
559	22	724
610	24	695

Anexo 3. Procedimiento GEA Niro Method No. A 4 a – Scorched Particles

GEA Niro analytical methods

Scorched Particles
GEA Niro analytical method A 4 a
(Page 2 of 3)



7. Results

Compare the results with the original ADMI standard chart. The comparison is visual. The standard chart is divided into a scale from A-D, where

A =	7.5 mg
B =	15.0 mg
C =	22.5 mg
D =	32.5 mg

If a sample is classified as being between two standards it is always set at the highest value. A sketch of the ADMI chart is shown on Fig. 1.

8. Reproducibility

Single determination.

9. Remarks

9.1 The filtration (E4) can also be carried out with compressed air.

9.2. The procedure for caseinate and casein:

9.2.1 Weigh out 25 g powder \pm 0.1 g.

9.2.2 Pour the powder into 200 ml sodium carbonate 9.09% V/W.

9.2.3 Add 300 ml of 18-27°C water.

9.2.4 Add 2 or 3 drops of defoaming agent.

9.2.5 Mix for 60 seconds in the Cenco Mixer.

9.2.6 Use a vacuum to filter the solution immediately through the filter in the tester. Rinse the blender glass with about 50 ml water and filter it through the same filter.

9.2.7 Let the filter dry for 2 hours at approx. 35°C.

9.2.8 Measurements are carried out as single determinations.

The most recent version of this document is available at www.niro.com/methods

GEA Niro

Gledsøvej 305, PO Box 45, DK-2860 Søborg, Denmark - Tel +45 39 54 54 54 - Fax +45 39 54 58 00 - E-mail: niro@niro.dk - Website: www.niro.com

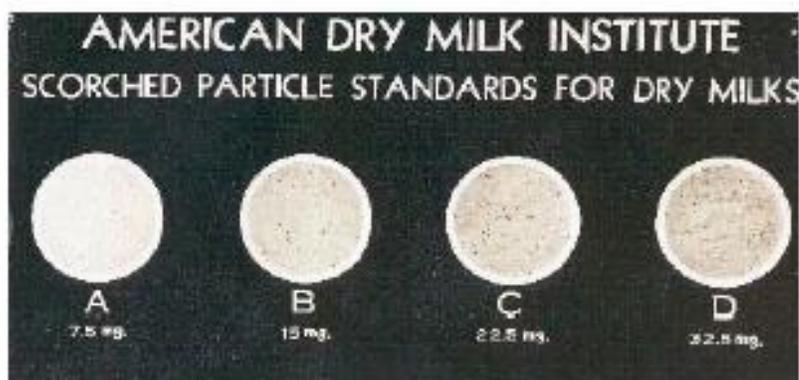
Scorched Particles
GEA Niro analytical method A 4 a

(Page 5 of 5)

**10. Reference**

- [GEA Niro Research Laboratory](#)
- [ADPI](#) Bulletin 916. (previously called ADMI, American Dry Milk Institute)
- Modification of the Harland-Ashworth method, published by Kuramoto, Jeness, Coulter and Choi. Journal of Dairy Science 42:28, 1959.

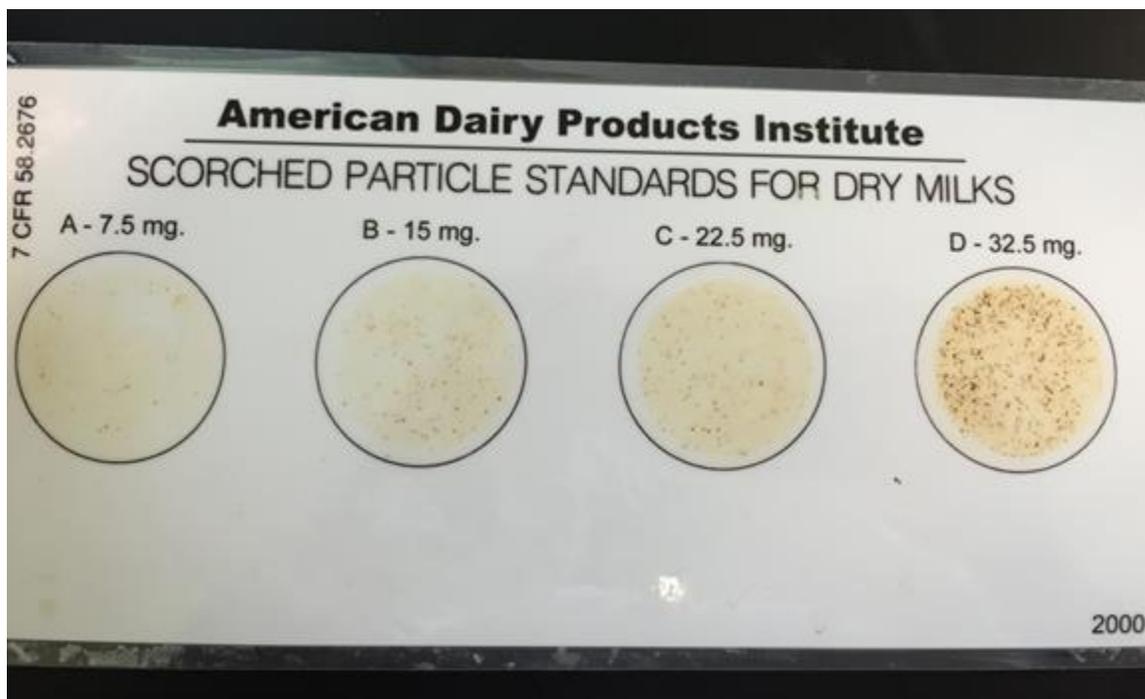
Fig.1 ADMI chart 'Scorched Particles Standards for Dry Milk'



The most recent version of this document is available at www.niro.com/methods

GEA Niro

Gledsøvej 305, PO Box 45, DK-2890 Søborg, Denmark - Tel +45 39 54 54 54 - Fax +45 39 54 58 00 - E-mail: niro@niro.dk - Website: www.niro.com

Anexo 4. Copias del estándar ADMI “Scorched Particle Standard for Dry Milks”

Anexo 5. Cartas de autorización de autoras para uso y publicación del proyecto

Atenas, 16 de setiembre de 2016.

Señores

Vicerrectoría de Investigación

Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo Carolina Herrera González portadora de la cédula de identidad número 2 673 128, en mi calidad de autora del trabajo de graduación titulado "Efecto de la velocidad del aspersor de un equipo deshidratador de leche en la calidad del producto final en la Universidad Técnica Nacional Sede de Atenas", el cual se presenta bajo la modalidad de Proyecto de Graduación y presentado en la fecha 25/08/2016, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	x	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	x	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	x	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	x	
Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	x	

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante  _____

Cédula 2 673 128

Fecha: 16 setiembre, 2016.

Atenas, 16 de setiembre de 2016.

Señores

Vicerrectoría de Investigación

Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores:

Yo Katia Lizeth Rodríguez Hernández portadora de la cédula de identidad número 2 670 020, en mi calidad de autora del trabajo de graduación titulado "Efecto de la velocidad del aspersion de un equipo deshidratador de leche en la calidad del producto final en la Universidad Técnica Nacional Sede de Atenas", el cual se presenta bajo la modalidad de Proyecto de Graduación y presentado en la fecha 25/08/2016, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, Sede de Atenas, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo	SI	No
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca	x	
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	x	
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	x	
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	x	
Consulta electrónica con texto protegido	X	
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X	
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	x	

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presenta es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica o intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante Katia Lizeth Rodríguez H.

Cédula 2 670 020

Fecha: 16 setiembre, 2016.