

VCH - FC  
22. Ambiental  
A. 662  
C. 1



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**“MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL CONSUMO Y PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS  
PROCESOS PRODUCTIVOS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA, ANALIZANDO SU  
REÚSO MEDIANTE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en el cumplimiento parcial de  
los requisitos para optar al Título de:

**Químico Ambiental**

**ALEJANDRA CAMILA ARAOS VERDUGO**

Directora de Seminario de Título:  
Ing. Catalina Rodríguez Vidal

Co-Director de Seminario de Título:  
Ing. Héctor Salinas Zepeda

Patrocinante de Seminario de Título:  
Dra. Isel Cortés Nodarse

Agosto, 2014

Santiago – Chile

**ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS- UNIVERSIDAD DE CHILE**



**INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO**

Se informa a la Escuela de Pregrado, de la Universidad de Chile, que el Seminario de Título presentado por la candidata

**ALEJANDRA CAMILA ARAOS VERDUGO**

**“MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL CONSUMO Y PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA, ANALIZANDO SU REÚSO MEDIANTE ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS”**

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

**COMISIÓN DE EVALUACIÓN**

*Ing. Catalina Rodríguez*  
**Directora Seminario de Título**

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

*Ing. Héctor Salinas*  
**Co- Director Seminario de Título**

Firma manuscrita en azul con las iniciales "P.P." a la derecha, sobre una línea horizontal.

*Dra. Isel Cortés*  
**Profesora Patrocinante**

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

*Prof. María Inés Toral*  
**Presidenta**

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

*Dr. Paul Jara*  
**Corrector**

Firma manuscrita en azul sobre una línea horizontal.

Santiago de Chile, Agosto de 2014.

## RESEÑA



Alejandra Camila Araos Verdugo nació el 22 de Julio de 1990 en la comuna de Las Condes, sus padres son Hugo Araos Romo y Mónica Verdugo Cifuentes. Fue la segunda de tres hermanos los cuales se llaman Pablo y Fernando.

Durante toda su vida ha residido en la comuna de El Monte, ubicada en la zona rural de la Región Metropolitana de Chile. Su educación pre-escolar y gran parte de su educación básica la desarrolló en el colegio Instituto San Francisco de

El Monte durante los años de 1994 a 2003, donde se destacó por su buena conducta y su excelencia académica.

En el año 2004 mientras cursaba octavo básico sus padres decidieron cambiarla de complejo educacional e ingreso al Colegio Alonso de Ercilla ubicada en la Comuna de Melipilla; es en este colegio donde terminó su enseñanza media en el año 2008.

Es durante su educación media donde nace su preocupación y cuidado por el medio ambiente, es por este motivo que decide estudiar la carrera de Química Ambiental en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, carrera a la cual ingresó en el año 2009 y egresó en el año 2013, obteniendo el grado de Licenciada en Ciencias Ambientales con Mención en Química.

Actualmente se encuentra desarrollando su Seminario de Título para optar al título de Química Ambiental.

## DEDICATORIA

A Dios, por llenarme de energía, vitalidad, ideas y bendiciones para seguir adelante  
con los proyectos y metas que tengo en la vida.

A mis padres Hugo y Mónica, por su cariño, amor, por su gran dedicación y esfuerzo  
para sacarnos adelante como familia; por estar siempre presente en mi formación y  
por ser una gran ejemplo a seguir. Ambos son un pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Pablo y Fernando, por acompañarme en cada paso y alegrarme y  
apoyarme cuando más lo necesité.

A mis abuelos, tíos y primos por creer en mis capacidades y darme su apoyo durante  
este proceso.

A mis amigos y compañeros de carrera, por apoyarnos mutuamente durante nuestro  
proceso de formación universitaria

Gracias por su apoyo incondicional,

Los quiero.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a la empresa SOPROLE S.A por el financiamiento de este proyecto de Seminario de Título.

A mi Directora y Co-Director de Seminario de Título Catalina Rodríguez y Héctor Salinas, por su apoyo y confianza durante este proceso; por el tiempo que me han brindado como por la información entregada.

A mi profesora Patrocinante de Seminario de Título Isel Cortés, quien con su experiencia como docente ha sido una guía idónea.

A los miembros de la comisión evaluadora, profesora María Inés Toral y profesor Paul Jara, por sus observaciones, consejos y dedicación durante la revisión.

A la Jefa de Carrera de Química Ambiental, profesora Sylvia Copaja, por sus consejos, paciencia y dedicación durante los 5 años en que duró la carrera.

A las personas que conocí durante el proceso de ejecución y elaboración de este Seminario de Título, en especial a don Walter, Marilin, Héctor, Javiera, Paulina y María José, por su confianza y apoyo.

Y finalmente a todas las personas que de forma directa como indirectamente contribuyeron al desarrollo de este proceso en una etapa importante de mi carrera profesional.

## LISTA DE ABREVIATURAS

- CFU= Colony Forming Unit (Unidad de Formadores de Colonias).
- CIIU= Clasificación Industrial Uniforme de Todas las Actividades Económicas.
- CIP= Cleaning In Place (Limpieza en el lugar)
- DBO= Demanda Biológica de Oxígeno.
- DGM= Dirección General de Aguas.
- DQO= Demanda Química de Oxígeno.
- NK= Nitrógeno de Kjeldahl.
- PNUMA= Programas de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente.
- Q= Caudal.
- RAS = Relación de Absorción de Sodio.
- SDT= Sólidos Totales Disueltos.
- UHT= Ultra High Temperature (Ultra Alta Temperatura).

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>I.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1.- El agua como un recurso hídrico .....	1
1.2.- Pérdidas y contaminación del agua .....	1
1.3.- Agua en las Industrias .....	3
1.4.- Industria Láctea .....	4
1.4.1.- Generalidades de la leche y sus derivados .....	4
1.4.2.- Proceso productivo en la Industria Láctea.....	5
1.4.2.1.- Recepción leche cruda.....	5
1.4.2.2.- Descremado leche .....	6
1.4.2.3.- Pasteurización.....	6
1.4.2.4.- Homogenizado .....	7
1.5.- Consumo de agua en Industria Láctea .....	7
1.5.1.- Tipo de agua utilizada en la industria láctea.....	7
1.5.1.1.- Agua dura .....	7
1.5.1.2.- Agua blanda.....	8
1.5.1.3.- Agua de osmosis.....	9
1.5.2.- Pérdidas de agua en Industria Láctea .....	9
1.6.- Parámetros Fisicoquímicos a analizar .....	10
1.6.1.- Parámetros Físicos .....	10
1.6.1.1.- Potencial de Hidrógeno (pH) .....	10
1.6.1.2.- Temperatura.....	10
1.6.1.3.- Conductividad Eléctrica.....	10

1.6.1.4.- Sólidos Totales Disueltos (STD).....	11
1.6.1.5.- Caudal.....	11
1.6.2.- Parámetros Químicos .....	11
1.6.2.1.- Fósforo total .....	11
1.6.2.2.- Nitrógeno de Kjeldahl.....	12
1.6.2.3.- Dureza total.....	12
1.6.2.4.- Oxígeno disuelto .....	12
1.6.2.5.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	12
1.6.2.6.- Aceites y Grasas .....	13
1.7.- Legislación ambiental en Chile sobre temas de aguas .....	13
1.7.1.- Norma Chilena de calidad de agua potable (NCh 409/2005).....	14
1.7.2.- Norma Chilena sobre requisitos de calidad de agua para diferentes usos (NCh 1333/78) .....	15
1.7.3.- Normas Internacionales de calidad de agua .....	16
1.8.- Objetivos .....	17
1.8.1.- Objetivo General .....	17
1.8.2.- Objetivos Específicos.....	17
<b>II.- MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
2.1.- Materiales.....	18
2.2.- Metodología.....	18
2.2.1.- Localización .....	18
2.2.2.- Recopilación de información .....	18
2.2.3.- Medición de caudales pérdidas de agua e identificación de puntos críticos.	

2.2.4.- Análisis de parámetros Físicoquímicos .....	18
<b>III.- RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>20</b>
3.1.- Recopilación de información de procesos productivos y potabilización de agua .....	20
3.1.1.- Recopilación de información en Planta Productiva UHT .....	20
3.1.1.1- Pasteurización.....	20
3.1.1.2.- Formulado.....	22
3.1.1.3.- Esterilización.....	23
3.1.1.4.- Envasado Tetra Pak.....	25
3.2.- Recopilación de información en Planta de Agua.....	26
3.2.1.- Agua dura .....	26
3.2.2.- Agua blanda.....	26
3.2.3.- Agua de osmosis .....	27
3. 3.- Pérdidas de agua en Planta Productiva.....	30
3. 3.1.- Identificación de Puntos Críticos .....	30
3.3.1.1.- Sección de Pasteurización .....	30
3.3.1.2.- Sección de Formulado .....	31
3.3.1.3.- Sección de Esterilización .....	32
3. 3.1.4.- Envasado Tetra Pak.....	33
3.3.2.- Oportunidades de mejora en pérdidas de agua por parte de operadores. 35	
3.3.2.1.- Malas prácticas por parte de operadores .....	35
3.3.2.2.- Falta de mantenimiento en equipos.....	35
3.3.3.- Estándar Internacionales de pérdidas de agua .....	35
3. 4.- Análisis de parámetros físicoquímicos .....	36

3.4.1.- Análisis de agua de Planta Productiva .....	37
3.4.1.1.- Parámetros Físicos .....	37
3.4.1.1.1.- pH .....	38
3.4.1.1.2.- Temperatura .....	38
3.4.1.1.3.- Conductividad Eléctrica .....	39
3.4.1.1.4.- Sólidos Disueltos .....	40
3.4.1.2.- Parámetros Químicos.....	40
3.4.1.2.1.- Aceites y Grasas .....	41
3.4.1.2.2.- Demanda Biológica de Oxígeno .....	41
3.4.1.2.3.- Nitrógeno de Kjeldhal .....	42
3.4.1.2.4.- Fósforo .....	43
3.4.1.2.5.- Oxígeno Disuelto .....	43
3.4.1.2.6.- Dureza Total.....	43
3.4.1.3.- Tipo de contaminación presente en agua de puntos críticos .....	43
3.4.2.- Análisis agua de rechazo .....	44
3.4.2.1.- Reutilización como agua de riego .....	44
3.4.2.1.1.-Salinidad .....	45
3.4.2.1.2.- Permeabilidad .....	46
3.4.2.1.3.- Dureza del agua .....	47
3.4.2.1.4.- Coeficiente Alcalimétrico (Índice de Scott).....	47
3.4.2.1.5.- Índice de Kelly .....	48
3.4.2.1.6.- Clasificación de las aguas según Porcentaje de sodio intercambiable y Conductividad Eléctrica.....	49
3.4.2.1.7.- Efecto de Sulfato .....	49

3.4.2.2.- Reutilización como agua de alimentación de sistema de agua potable.....	50
<b>IV.- DISCUSIÓN Y/O PROYECCIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>V.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>VI.- REFERENCIAS .....</b>	<b>60</b>
<b>VII.- ANEXOS.....</b>	<b>62</b>
7.1.- Anexo 1. Agua de proceso Planta UHT.....	62
7.2.- Anexo 2. Agua de puntos críticos.....	64
7.3.- Anexo 3. Análisis Agua de Rechazo .....	65

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración máxima de elementos químicos en agua potable.....	14
Tabla 2. Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de riego. ....	15
Tabla 3. Límites máximos de parámetros físico-químicos según Normas Internacionales. .....	16
Tabla 4. Clasificación de leche según el contenido de materia grasa determinados por el Reglamento Sanitario. ....	21
Tabla 5. Características de los equipos pasteurizadores de jugo. ....	22
Tabla 6. Características de equipos pasteurizadores de sección Formulado.....	23
Tabla 7. Características de equipos de la sección de Esterilización. ....	23
Tabla 8. Características de máquinas de la sección de Envasado Tetra Pak. ....	25
Tabla 9. Características fisicoquímicas de agua dura, blanda y de osmosis.....	29
Tabla 10. Pérdidas de agua en sección de Pasteurización.....	30
Tabla 11. Pérdidas de agua en Sección Formulado. ....	31
Tabla 12. Pérdidas de agua en sección de esterilización.....	32
Tabla 13. Pérdida de Agua en sección Tetra Pak.....	34
Tabla 14. Resultados de Parámetros Físicos en puntos críticos.....	37
Tabla 15. Resultados Parámetros Químicos en puntos críticos.....	40
Tabla 16. Tipo de contaminación de agua presentes en puntos críticos identificados. 44	
Tabla 17. Parámetros químicos que sobrepasan lo establecido por la NCh 1333/78 en agua de rechazo.....	45
Tabla 18. Grados de restricción de agua de riego según su conductividad eléctrica y concentración de sólidos disueltos totales. ....	45
Tabla 19. Clasificación de dureza de agua según grados Hidrométricos franceses....	47
Tabla 20. Tipo de agua según Índice de Scott.....	48
Tabla 21. Resultados de Porcentaje de Sodio Intercambiable y Conductividad Eléctrica del agua de rechazo. ....	49
Tabla 22. Cantidad de agua utilizada en Planta UHT durante año 2012 y 2013. ....	62
Tabla 23. Producción de Planta UHT durante año 2012 y 2013. ....	63
Tabla 24. Métodos de análisis de parámetros físico químicos realizados a agua de puntos críticos. ....	64
Tabla 25. Caracterización del agua de Rechazo según Norma Chilena 409/2005.....	65
Tabla 26. Caracterización del agua de Rechazo según Norma Chilena 1333/78.....	66

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipos de Pasteurización a) Pasteurizador, b) Descremadora. ....	21
Figura 2. Equipos esterilizadores a) Equipo de esterilización directa, b) Equipo de esterilización Indirecta. Fuente: Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB, 2002. ....	24
Figura 3. Estanques a) Estanques de filtros de arena, b) Estanques ablandadores. ...	27
Figura 4. Estanques de Filtros de Carbón Activado. ....	28
Figura 5. Equipos de Osmosis Inversa. ....	28
Figura 6. Gráfico de consumo de agua en Planta productiva en función del tiempo. .	29
Figura 7. Variación mensual de pérdidas de agua de puntos críticos en sección de Pasteurización. ....	31
Figura 8. Variación mensual en pérdidas de agua en punto crítico de la sección de Formulados. ....	32
Figura 9. Variación mensual de pérdidas de agua en punto crítico de sección Esterilización. ....	33
Figura 10. Variación de pérdidas de agua en puntos críticos de sección Tetra Pak...	34
Figura 11. Índices de Desempeños Ambientales durante el enero de 2012 a diciembre de 2013. ....	36
Figura 12. Proceso de coagulación. ....	53
Figura 13. Proceso de floculación. ....	54
Figura 14. Salinidad del agua de regadío en función de relación de absorción de sodio (RAS). ....	67
Figura 15. Diagrama de Scholer. ....	68
Figura 16. Características de agua de regadío según concentración de iones. ....	69

## RESUMEN

El agua es un recurso hídrico finito y el ser humano lo ha utilizado durante siglos para diferentes usos, es por este motivo que existe una relación directa en el uso del agua con el crecimiento económico y social de una región. Lo anterior provoca en que tanto las industrias como los asentamientos humanos se ubiquen a orillas de corrientes de agua lo que ha provocado la eventual contaminación de los cuerpos de agua.

Industrialmente el agua se utiliza en diferentes procesos y específicamente en la industria láctea, se utiliza principalmente para el enfriamiento esterilización de producto y para conservar las condiciones de inocuidad. Este Seminario de Título, se desarrolló en una Planta Productiva y en la Planta de Agua que se encuentran en una Industria Láctea, ubicada en la Región Metropolitana de Chile. En la Planta Productiva se desarrollan dos procesos: la recepción de la materia prima (leche) y la elaboración de los productos larga vida, mientras que en la Planta de agua, ocurren procesos de obtención de agua dura, blanda y de osmosis. Actualmente, en la Planta Productiva se pierde una gran cantidad de agua desde equipos de producción, mientras que en la Planta de Agua, se está produciendo una gran cantidad de agua de rechazo (que contiene grandes cantidades que sales) debido a producción de agua de osmosis, a la cual no se le está dando ningún uso por el momento.

Es por esto que el objetivo de este Seminario Título consiste en mejorar la eficiencia en el consumo de agua utilizada en los procesos productivo y proponer alternativas para el reúso del agua a partir de análisis fisicoquímicos.

Para el cumplimiento de los objetivos fue necesario identificar los puntos con mayores pérdidas de agua dentro de la Planta UHT (Ultra High Temperature). En la identificación

de puntos críticos se calculó el porcentaje de pérdidas de agua mediante el cálculo de los caudales de pérdidas de agua de los puntos de medición; el método empleado en la realización de ésta investigación fue el Método Volumétrico. Los puntos con los porcentajes de pérdidas más alto se identificaron como puntos críticos, los cuales fueron: Homogenizador 2 Leche Sabor 2, A3 FLEX 19, Homogenizador Tetra Flex 2, A3 SPEED 91, Descremadora 1, Bombas Centrífugas Descremadora 1 y TBA 22-17.

A partir de los análisis fisicoquímicos realizados tanto a puntos críticos de pérdidas de agua como al agua de rechazo que se produce en Planta de agua, se concluye que es posible su reúso. El agua de los puntos críticos se puede reutilizar dentro de los procesos productivos con previo tratamiento para la disminución de sólidos disueltos como reajuste de pH y temperatura o utilizando filtros de carbón activado; el agua de rechazo se puede reutilizar como agua de regadío de las áreas verdes ubicado en la planta productiva, pero con cierta precaución y por períodos cortos de tiempos para evitar una eventual contaminación de suelo.

## ABSTRACT

The water is a limited hydric resource and the humans had been using it over centuries for many different uses, this is why exists a direct relation in the use of water with the economic and social growth in a region. This concurs that the industries and the settlement of the humans, situate in the water currents, provoking water contamination.

In terms of the industry, the water is utilized in different processes, and specifically in the dairy industry is used mainly to cool up the product in the sterility area and to keep the safeness in the process.

This Seminar, was developed in a productive plant and specially in the plant of water, which is located in a dairy industry in the Metropolitan Region of Chile. In the productive plant, they develop two processes, the milk reception and the elaboration of long life products, meanwhile, in the plant of water, occurs the processes of obtaining soft, hard and osmosis water.

Currently, the productive plant has a huge loss of water, mainly from production equipment; and in the plant of water the main reason. Is because it is producing reject water that contains large amount of salts, because of the production of osmosis water, which is not giving any use for the moment.

This is why, the objective of this seminar consist in improving the efficiency in the use of water, utilized in the productive processes and to propose an alternative for the reuse of the water starting with the fisioquimical analysis.

For the achievement of the objectives, was necessary identify the biggest points of water loss within the UHT (Ultra High Temperature) Plant. In the identification of critical points, the calculus of the percentage of water loss was calculated through the flow of this waste water, the method that has been used, was the volumetrical method.

The places that result with the highest amount of loss in terms of percentage were critical, such as: Homogenizador 2 Leche Sabor 2, A3 FLEX 19, Homogenizador Tetra Flex 2, A3 SPEED 91, Descremadora 1, Bombas Centrifugas Descremadora 1 y TBA 22-17.

With the fisicoquimical analysis of the critical points of water loss and the reject water that occurs in the plant of water, it is concluded that it is possible for this water to be reuse. In the critical points the water can be reuse among the productive processes with previous treatment to diminish the amount of dissolved solids such as readjustment of pH and temperature, or utilizing activated carbon filters, the water can be reutilized for irrigation water on green areas located in the productive plant, but with certain precaution and for short periods of time to avoid an eventual soil contamination.

## **I.- INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- El agua como un recurso hídrico**

El agua es vital para la vida humana; se utiliza para beber, para producir nuestros alimentos, para sanear nuestro ambiente, como medio de transporte, para generar energía y muchos otros fines. Sin embargo, los recursos hídricos son finitos y se encuentran distribuidos desigualmente en el mundo (Clegg & Laclette, 2012).

Las velocidades relativas de alteración y recuperación natural de cada uno de los tramos del ciclo, pueden variar notablemente, condicionando así las estrategias de conservación por parte del ser humano (Cortés & Montalvo, 2009). La disponibilidad de este recurso depende de la dinámica del ciclo hidrológico, en el cual los procesos de evaporación, precipitación, transpiración y escurrimientos dependen del clima, las características del suelo, la vegetación y ubicación geográfica (Gómez & Díaz, 2011). El uso del agua está directamente relacionado con el crecimiento económico y social de una región o país (COCHILCO, 2009), puesto que es un elemento fundamental para los ecosistemas y requisito para la sustentabilidad ambiental (Gómez & Díaz, 2011).

### **1.2.- Pérdidas y contaminación del agua**

Según la NCh 409/2005, contaminación del agua se define como la presencia en el agua potable de elementos, compuestos u organismos que modifican o alteran sus propiedades físicas, químicas, biológicas y/o radioactivas excediendo los límites permisibles, mientras que según la OMS el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales. Por su

parte, la calidad del agua, está relacionada con el uso o actividad a que se destina la misma; la forma más sencilla y práctica de estimar la calidad del agua consiste en definir ciertos índices o relaciones de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definido por estándares o criterios aceptados a nivel nacional como internacional (Cortés & Montalvo, 2009).

Aunque en la última década la sociedad se ha ido concientizado de la necesidad de mejorar la gestión y la protección del agua, los criterios económicos y los factores políticos todavía tienden a dirigir todos los ámbitos de la política del agua, la presión sobre los recursos hídricos está aumentando, principalmente como resultado de actividades humanas tales como la urbanización, el crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida, la creciente competencia por el agua y la contaminación, cuyas consecuencias se ven agravadas por el cambio climático y las variaciones en las condiciones naturales (Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2012). A todo esto se debe sumar el hecho de que el agua siempre ha sido la principal vía de eliminación de desechos de los residuos generados por las actividades del hombre; esto ha impactado de tal manera, que la hidrósfera ha superado ampliamente su capacidad de auto depuración, trayendo como consecuencia la pérdida en la calidad y por ende la disminución del agua como recurso.

A lo anterior se suma el fenómeno de "Cambio Climático", producto del cual se estima que en Chile aumentará la temperatura continental entre 2 a 4 °C, el que será más notorio en los sectores andinos e irá disminuyendo de norte a sur. Esto sumado al sostenido crecimiento económico y al desarrollo social, ha generado mayores demandas de agua por parte de los diferentes usuarios. En este escenario y dada la disponibilidad natural del agua y su demanda en las distintas regiones del país, es

posible obtener un balance hídrico a nivel nacional que nos permite concluir que ya al año 2010, desde la Región Metropolitana al norte del país, la demanda superaba con creces la disponibilidad de este recurso, observándose en esta zona un déficit en la disponibilidad de agua en relación a su demanda (Banco Mundial, 2011).

### **1.3.- Agua en las Industrias**

Habitualmente, las industrias y asentamientos humanos se ubican a la orilla de las corrientes de agua, para utilizar dicho líquido y al mismo tiempo verter los residuos del proceso industrial y de la actividad humana. Esto trae como consecuencia la contaminación de las fuentes de agua y por consiguiente la pérdida de grandes volúmenes de este recurso. Uno de los mayores desafíos del siglo XXI es asegurar la suficiente energía y agua para el bienestar de la humanidad, manteniendo al mismo tiempo la salud ecológica, integridad y capacidad de recuperación de las cuencas hidrográficas.

El ser humano utiliza el agua para diversas actividades: obtención de agua potable, procesos industriales, generación de energía eléctrica, actividad minera, agricultura y ganadería. Según datos de la UNESCO, en su Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos Agua para la vida, la distribución mundial del uso de agua es 8% uso doméstico, 22% uso industrial y 70% uso en agricultura (UNESCO, 2007).

Generalmente, los usos del agua en la industria son muy variados y específicos, por lo que puede necesitarse poco tratamiento como en el caso de aguas de enfriamiento, o por el contrario precisarse una pureza máxima como en el caso de la industria alimentaria.

La Región Metropolitana de Chile concentra la mayor parte de la actividad económica del país. La base industrial de la región es diversa, incluyendo rubros tan variados como alimentos, textiles, productos químicos, plásticos, papel, caucho y metales básicos. Sin embargo, el rápido crecimiento económico e industrial ha traído consigo serios problemas de contaminación ambiental, como la polución de aire, agua y suelo.

Respecto a las proyecciones de demanda del sector, el uso industrial presenta una dificultad particular al agrupar un gran número de subsectores productivos, cada uno de ellos con realidades muy diferentes en cuanto a demandas del recurso hídrico, tipos de procesos productivos, eficiencias, etc. Por este motivo, la determinación de las demandas futuras se logra sobre la base de la estimación del crecimiento de cada sector. Asimismo, este sector tiene el desafío de minimizar el riesgo de contaminación de las aguas y optimizar su uso en los respectivos procesos productivos industriales.

La contaminación del agua tiene su principal origen en las descargas directas de aguas servidas domésticas y residuos industriales líquidos a las masas de agua superficiales, terrestres o marítimas, sin previo tratamiento, y a las descargas difusas derivadas de actividades agrícolas o forestales, que llegan de forma indirecta a las masas o corrientes de agua superficiales y también a las subterráneas.

Todo ello se traduce en que actualmente Chile posea cuerpos de agua deteriorados que deben ser recuperados, algunos de nivel aceptable que deben mantenerse y recursos hídricos prístinos que necesitan ser preservados.

#### **1.4.- Industria Láctea**

##### **1.4.1.- Generalidades de la leche y sus derivados**

La leche puede considerarse como el alimento más completo que la naturaleza nos ofrece, puesto que provee nutrientes fundamentales para el crecimiento. De ella se

puede obtener una gran diversidad de productos lácteos, tales como queso, crema, mantequilla, yogurt, helados, etc.

La leche de consumo humano se puede clasificar en leche cruda (aquella leche que no tiene transformación alguna, y que se consume como producto natural) y leche tratada térmicamente, ya sea pasteurizada o esterilizada (sometida a un proceso de conservación, eliminar posibles contaminantes antes de ser consumida).

Ya tratada industrialmente la leche, ésta se puede clasificar en tres tipos: leche natural, leche reconstituida y leche re combinada, los cuales se describen a continuación (CONAMA, 1998).

- Leche natural: es aquella que sólo ha sido sometida a enfriamiento y estandarización de su contenido de materia grasa, antes del proceso de pasteurización o esterilización.
- Leche reconstituida: es obtenida por la adición de agua potable a leche en polvo, en proporción tal que cumpla con la cantidad de materia grasa que esta contenga. Deberá ser esterilizada y pasteurizada.
- Leche re combinada: es el producto obtenido de la mezcla de leche descremada, grasa de leche y agua potable en proporción, que cumpla con los requisitos de la leche natural, al igual que la cantidad de materia grasa que ésta contenga. Deberá ser esterilizada y pasteurizada.

#### **1.4.2.- Proceso productivo en la Industria Láctea**

##### **1.4.2.1.- Recepción leche cruda**

La primera etapa en la elaboración de la productos lácteos corresponde a la recepción de la leche cruda, donde se controla la calidad de la materia prima y se asegura que ésta reúne las características de calidad las cuales son: población bacteriana (la cual

debe fluctuar entre 3 a 300000 CFU/mL) y además no debe contener residuos de fungicidas, antibióticos o desinfectantes. Dicha calidad es indispensable para el adecuado procesamiento de la misma.

Posteriormente si la leche cumple con los estándares de calidad establecidos por las empresas, ésta debe ser almacenada en tanques refrigerados a fin de preservar la cadena de frío.

#### **1.4.2.2.- Descremado leche**

Este proceso se realiza a toda la leche que ingresa a las plantas procesadoras, con el objetivo de extraer su materia grasa, el que se realiza con un proceso de centrifugado y estandarización de la leche a un nivel de 0% de grasa, dependiendo del producto que se desea obtener.

Debido a que a toda la leche se le remueve la grasa durante el proceso de descremado esta misma es incorporada posteriormente bajo un proceso controlado a la leche bajo los diferentes porcentajes de ésta para su posterior comercialización. Otro proceso que se obtiene de este proceso es la crema pura.

#### **1.4.2.3.- Pasteurización**

En este proceso se busca eliminar posibles agentes contaminantes o microorganismos patógenos los que pueden causar daños a la salud humana. En este proceso se somete el producto a un choque térmico a temperatura constante durante un periodo de tiempo determinado, el que es controlado sistemáticamente para garantizar de esta forma la calidad de la leche y conservar las propiedades físicas y organolépticas del producto; se prolonga el tiempo de vida útil y se inhibe del crecimiento microbiano.

#### **1.4.2.4.- Homogenizado**

La finalidad del proceso es disminuir los glóbulos de grasa de la leche, para evitar de esta forma que se forme la nata de la leche. Esto se logra mediante un proceso físico que consta en pulverizar la leche entera, haciéndola pasar a presión por medio de pequeñas boquillas. Además, mediante el proceso de homogenización de la leche, se logra estabilizar la grasa en pequeñas partículas, lo cual genera una mejor textura lo que provoca que exista una mejor interacción entre las caseínas y los glóbulos de grasa.

#### **1.5.- Consumo de agua en Industria Láctea**

El agua es uno de los recursos utilizados intensivamente para la limpieza de la planta, para garantizar los estándares higiénicos del producto para el funcionamiento de máquinas envasadoras y equipos de proceso. Las aguas residuales son generadas principalmente por las pérdidas de producto, materias primas y por las aguas de lavado, que son utilizadas con el fin de desinfectar los equipos en cada etapa del proceso y la planta (Centro de Producción más Limpia, 1994).

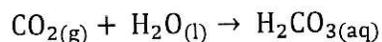
##### **1.5.1.- Tipo de agua utilizada en la industria láctea.**

En la industria láctea se utilizan en general tres tipos de agua: agua dura, agua blanda y agua de osmosis inversa, los cuales se describirán a continuación:

##### **1.5.1.1.- Agua dura**

Contiene más minerales que un agua normal, hay especialmente minerales de calcio y magnesio. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto; éstos son los causantes de la formación de depósitos y precipitaciones que produce el agua dura. La forma de dureza más común y problemática es la causada por la presencia de bicarbonato de sodio ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Cuando el agua de lluvia cae

disuelve dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire y forma ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), por lo que se acidifica ligeramente (Droste R, 1997).



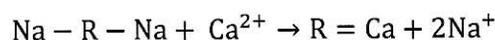
El agua dura deja depósitos sólidos o costras en las tuberías cuando se evapora. El calor convierte los bicarbonatos solubles en carbonatos (por pérdida de  $\text{CO}_2$ ) y se forma un precipitado de  $\text{CaCO}_3$  que puede llegar a obstruir las tuberías de una caldera. La fracción de dureza a causa del  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  se denomina dureza temporal porque este calcio se pierde al calentar por precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .



La dureza debida a otras sales, sobre todo  $\text{CaSO}_4$  disuelto, se denomina dureza permanente porque no se elimina por calefacción.

#### 1.5.1.2.- Agua blanda

El agua blanda se obtiene por procesos de ablandadores, los que contienen en su interior resinas de sodio con el fin de intercambiar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua por iones de sodio.



El intercambiador iónico es una técnica que permite intercambiar iones entre un líquido y un sólido. El sólido es llamado resina, y existen de dos tipos, las resinas catiónicas (intercambio de cationes) y resinas aniónicas (intercambio de aniones). Para remover calcio y magnesio, es necesaria la utilización de una resina catiónica, la cual contiene iones de sodio, por lo tanto, los iones de sodio quedarán en el agua, mientras que los iones de calcio y magnesio quedarán retenidas en la resina.

### **1.5.1.3.- Agua de osmosis**

El agua de osmosis, se obtiene mediante el proceso de osmosis inversa, el cual consiste en un procesos de filtración a alta presión que logra traspasar agua de alta concentración de minerales a través de una membrana semipermeable que contiene  $\text{Na}^+$  con el fin de eliminar y/o reducir los minerales presentes en dicha agua, sobre todo  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Ca}^{+2}$ , responsables de la dureza del agua. De esta forma, se obtiene por lo general una extracción entre 95 a 98%.

Sin embargo, a partir de este proceso se produce un agua de rechazo, el que contiene un alto contenido de sales y minerales la que tiene una concentración de aproximadamente 2200 mg/L. Alrededor del 62% del agua que se utiliza para la generación de agua de osmosis inversa queda como producto permeable (agua de osmosis) y el 38% restante (se desagua a canaleta sin ningún uso), el cual es una cifra importante a la que se le podría dar otro tipo de uso, como por ejemplo para el riego de los jardines existentes en la industria Láctea, para analizar si es factible hacerlo, se debe hacer análisis químicos y procesos para que esta agua cumpla con los parámetros establecidos en la NCh 1333/78.

### **1.5.2.- Pérdidas de agua en Industria Láctea**

Para relacionar las pérdidas de agua con algún estándar internacional, se utiliza un Índices de Desempeño Ambiental que relaciona el consumo de agua ( $\text{m}^3$ ) en función de la cantidad de leche procesada (toneladas).

En Chile no existe un valor específico, pero si se puede comparar con valores establecidos por organismos internacionales. Según la PNUMA, este consumo suele encontrarse entre 1,3 - 3,2  $\text{m}^3$  de agua/ tonelada de leche recibida, pudiéndose alcanzar valores tan elevados como 10  $\text{m}^3$  de agua/tonelada de leche recibida (Gandarillas y col.,

2009). Cabe señalar que las pérdidas de leche en una industria sin una automatización elevada son del orden de un 10 a un 20%, mientras que en una industria completamente automática puede reducirse al 2% (CONAMA, 1998).

## **1.6.- Parámetros Fisicoquímicos a analizar**

### **1.6.1.- Parámetros Físicos**

#### **1.6.1.1.- Potencial de Hidrógeno (pH)**

Es una de las pruebas más frecuentes utilizadas en análisis de aguas. Se define como el logaritmo negativo de la concentración de ión hidrógeno en una solución (González, 2011).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad \text{Ec/1/}$$

#### **1.6.1.2.- Temperatura**

La temperatura se define como el potencial o grado calorífico referido a un cierto cuerpo. Cabe señalar que temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua (Secretaría de Fomento y Comercio Industrial, 2000).

#### **1.6.1.3.- Conductividad Eléctrica**

Expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, la cual depende directamente de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad y estado de oxidación. Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la

cantidad de iones en solución, fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio (Goyenola, 2007).

#### **1.6.1.4.- Sólidos Totales Disueltos (STD)**

Se atribuyen a la presencia de muchas sales solubles de naturaleza inorgánica que se encuentran normalmente presentes en aguas superficiales y subterráneas (Cortés& Montalvo, 2009) esto es cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ) y aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SiO}_3^{2-}$ ). Se determinan de forma directa por evaporación del agua y pesada del residuo salino, aunque también es posible determinarlo por calculo a partir de la conductividad del agua (Nevarez, 2009).

#### **1.6.1.5.- Caudal**

Corresponde a la cantidad de agua que fluye por un lugar a una cierta cantidad de tiempo, es decir, corresponde a un volumen de agua por unidad de tiempo (Bello & Pino, 2000).

### **1.6.2.- Parámetros Químicos**

#### **1.6.2.1.- Fósforo total**

Se encuentra casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, pirofosfatos, metafosfatos y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. En los casos en que constituye el nutriente limitante del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenadas agrícolas o ciertos residuos industriales a esa agua puede estimular el crecimiento de micro y macro organismos acuáticos fotosintéticos en cantidades molestas. El fósforo total es una medida de la concentración del fósforo total

biológicamente disponible y por ende de la calidad del cuerpo de agua (Murphey & Riley, 1962).

#### **1.6.2.2.- Nitrógeno de Kjeldahl**

El nitrógeno total está formado por nitrógeno orgánico y amoniacal más nitrato, nitrito y amonio. Para determinación del Nitrógeno total, se utiliza generalmente el método Kjeldahl, (Secretaría de Fomento y Comercio Industrial, 2001).

#### **1.6.2.3.- Dureza total**

Se refiere a la suma de las concentraciones de cationes metálicos excepto metales alcalinos e ión hidrógeno. Sin embargo, ésta es producida principalmente por la presencia de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua, otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza como son, estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado ya que generalmente están contenidos en pequeñas cantidades (Rodríguez & Rodríguez, 2010).

#### **1.6.2.4.- Oxígeno disuelto**

Los niveles de oxígeno disuelto en las aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y biológica del sistema de aguas. El análisis de oxígeno disuelto es un ensayo altamente utilizado tanto en la evaluación del grado de contaminación de los cuerpos de agua como en el control del proceso de tratamiento de aguas residuales (Fernández y col., 2010).

#### **1.6.2.5.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos al oxígeno por parte de las aguas residuales,

efluentes y aguas contaminadas. El método experimental se basa en medir el oxígeno consumido por una población de microorganismos vivos, en condiciones tales que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de microorganismos (Cortés & Montalvo, 2009).

#### **1.6.2.6.- Aceites y Grasas**

Las grasas animales y aceites de origen orgánico están constituidos por ésteres de alcohol y glicerol y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a temperatura ambiente se denominan aceites y los que son sólidos se denominan grasas. Los aceites y grasas también pueden tener una procedencia mineral como los aceites lubricantes, kerosén y materiales bituminosos que son derivados del petróleo y contiene básicamente carbono e hidrógeno (Cortés & Monvalvo, 2009).

#### **1.7.- Legislación ambiental en Chile sobre temas de aguas**

En Chile, la gestión sobre los recursos hídricos queda condicionada por dos temas principalmente (DGA, 1999), en primer lugar en los requerimientos hídricos para fines ambientales, el que trata fundamentalmente de que la demanda ambiental hídrica considere el mantenimiento de caudales y niveles de acuíferos y lagos, para la protección de ecosistemas y de los valores paisajísticos y turísticos asociados. Y en segundo término la contaminación de las aguas, en la que debe abordarse tanto desde la perspectiva de las características propias del cuerpo receptor y su vulnerabilidad frente a la contaminación, como desde las fuentes contaminantes y su relación con los recursos afectados. Para asegurar la calidad y cantidad del recurso hídrico para las generaciones futuras es fundamental la gestión eficiente y sustentable del agua (Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2012).

### 1.7.1.- Norma Chilena de calidad de agua potable (NCh 409/2005)

Establece los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos que debe cumplir el agua potable destinada a la bebida, junto con los procedimientos de inspección y muestreo para verificar el cumplimiento de lo anterior. En la Tabla 1, se muestra las concentraciones máximas de elementos químicos según la NCh 409/2005.

**Tabla 1. Concentración máxima de elementos químicos en agua potable.**

Elemento	Unidad	Límite máx.	Elemento	Unidad	Límite máx.
Cobre	mg/L	2,0	Nitrato	mg/L	3
Cromo	mg/L	0,05	R. nitrito – Nitrato	mg/L	1
Fluoruro	mg/L	1,5	Plomo	mg/L	0,05
Hierro	mg/L	0,3	Tetracloroetano	µg/L	40
Manganeso	mg/L	0,1	Benceno	µg/L	10
Magnesio	mg/L	125,0	Tolueno	µg/L	700
Selenio	mg/L	0,01	Xilenos	µg/L	500
Zinc	mg/L	3,0	DDT+DDD+DDE	µg/L	2
Arsénico	mg/L	0,01	2,4 D	µg/L	30
Cadmio	mg/L	0,01	Lindano	µg/L	2
Cianuro	mg/L	0,05	Metoxicloro	µg/L	20
Mercurio	mg/L	0,001	Pentaclorofenol	µg/L	9
Nitrato	mg/L	50	Monocloroamina	mg/L	3
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	Bromodiclorometano	mg/L	0,06
Tribromometano	mg/L	0,1	Triclorometano	mg/L	0,2
Trihalometano	mg/L	1	Color	Un Pt-Co	20
Olor	---	Inodoro	Sabor	---	Insípido
Amonio		1,5	Cloruro	mg/L	400
pH	---	6,5 –8,5	Sulfato	mg/L	500
SDT	mg/L	1500	Comp. Fenólicos	µg/L	2
Turbiedad	UNT	2			

(Norma Chilena 409/2005.)

*Calidad?*



### 1.7.2.- Norma Chilena sobre requisitos de calidad de agua para diferentes usos (NCh 1333/78)

La NCh 1333/78 es una Norma de Calidad para el Recurso agua según el uso dado en el cuerpo receptor o masa de agua usado como receptor, la cual fija los límites máximos para los diferentes parámetros considerados como requisitos de calidad, con el objetivo de proteger y conservar la calidad del agua que se destinen a sus usos específicos. Esta norma se refiere a toda situación donde un determinado cuerpo o masa de agua pueda ser utilizado como receptor de residuos líquidos o sólidos, domiciliarios o industriales. Las concentraciones máximas de iones en el agua que se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de riego.**

Elemento	Unidad	Límite máx.	Elemento	Unidad	Límite máx.
Aluminio	mg/L	5,00	Litio	mg/L	2,50
Arsénico	mg/L	0,10	Litio (críticos)	mg/L	0,075
Bario	mg/L	4,00	Manganeso	mg/L	0,20
Berilio	mg/L	0,10	Mercurio	mg/L	0,001
Boro	mg/L	0,75	Molibdeno	mg/L	0,010
Cadmio	mg/L	0,010	Níquel	mg/L	0,20
Cianuro	mg/L	0,20	Plata	mg/L	0,20
Cloruro	mg/L	200,00	Plomo	mg/L	5,00
Cobalto	mg/L	0,050	Selenio	mg/L	0,020
Cobre	mg/L	0,20	Sodio porcentual	%	35,00
Cromo	mg/L	0,10	Sulfato	mg/L	250,00
Fluoruro	mg/L	1,00	Vanadio	mg/L	0,10
Hierro	mg/L	5,00	Zinc	mg/L	2,00

(Norma Chilena 1333/78.)

### 1.7.3.- Normas Internacionales de calidad de agua

Según manuales de las máquinas de estudio, la calidad del agua que se debe utilizar para enfriamiento, limpieza, enjuague, entre otros, debe cumplir con lo establecido por la directrices de la organización Mundial de la salud o de la Directiva Europea sobre agua potable (Directiva 98/83/EC). Además, averiguando sobre normas internacionales sobre la calidad de agua de industrial, se encuentro que reglamento N°4 de la Ley Organiza ambiental de Venezuela establece parámetros de calidad.

En la Tabla 3 se muestran estos valores.

**Tabla3.Límites máximos de parámetros físico-químicos según Normas Internacionales.**

Parámetro	OMS	Directiva 98/83/EC (Unión Europea)	Reg. N°4. Ley Org. Amb. Venezuela.
DBO (mg/L)	---	---	< 1,5
pH	7 – 8,5	6,5 – 9,5	6 – 8,5
C.E (µS/cm)	---	2500	---
Temperatura (°C)	---	25	---
O <sub>2</sub> disuelto (mg/L)	---	---	> 4
Color (U Pt-Co)	15	20	> 50
Turbidez (NTU)	5,0	10	> 25
Dureza (mg/L)	---	---	500
SDT (mg/L)	1000	1500	1500
Calcio (mg/L)	---	100	---
Magnesio (mg/L)	---	50	---
N. de Kjeldahl (mg/L)	---	1	---
Fósforo (µg/L)	---	5000	---

## **1.8.- Objetivos**

### **1.8.1.- Objetivo General**

Mejorar la eficiencia en el consumo de agua utilizada en los procesos productivos de una Empresa Láctea, con el objetivo de optimizar el consumo, reducir las pérdidas de este recurso hídrico y proponer alternativas de reúso del agua que se pierde a partir de análisis fisicoquímicos.

### **1.8.2.- Objetivos Específicos**

- Identificar puntos críticos de pérdidas de agua del proceso a investigar y la contaminación de agua implicada en cada uno de los procesos productivos.
- Analizar parámetros fisicoquímicos del agua que se pierde en los procesos de producción.
- Comparar las pérdidas de agua que se producen en la Planta de la Industria Láctea con algún estándar internacional que en los procesos productivos.
- Comparar porcentajes de pérdidas de agua mensualmente de cada punto crítico identificado.
- Proponer alternativas de reúso el agua de rechazo producido en los equipos de osmosis inversa así como también del agua que se pierde en los procesos productivos, a partir de análisis fisicoquímicos.

## **II.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1.- Materiales**

- Cronómetro.
- Recipiente de 750 mL.
- Probeta de 500 mL.

### **2.2.- Metodología**

#### **2.2.1.- Localización**

La investigación se realizó en una empresa láctea ubicada en la comuna de San Bernardo.

#### **2.2.2.- Recopilación de información**

Se realizaron visitas a terreno tanto a la Planta Productiva y de Agua presentes en la Industria Láctea, con el fin de recopilar información sobre el proceso de fabricación de productos lácteos y de potabilización de agua, para lo cual se realizaron entrevistas a operadores, mecánicos y encargados de turnos de ambas plantas. Se identificó el tipo de agua de entrada utilizada en el proceso productivo y el tipo de uso dado.

#### **2.2.3.- Medición de caudales pérdidas de agua e identificación de puntos críticos.**

Se calculó el caudal de agua de salida de cada equipo y máquina al que se tenía fácil acceso presente en la Industria Láctea, mediante un recipiente de 750 mL y una probeta de 500 mL. El método utilizado en la medición de caudal es el método volumétrico.

$$Q = V / t$$

Ec/2/

Donde: Q= caudal (mL/seg); V = Volumen (mL); t = tiempo (s).

A partir de la cantidad de ingreso de agua a planta, se obtuvieron los porcentajes de pérdidas de agua en cada punto, mediante sus respectivos caudales y se realizó un seguimiento semanal de las pérdidas de agua, con fin de obtener un promedio mensual. Luego, se identificaron los puntos críticos con mayores porcentajes de pérdidas de agua a partir de mediciones de caudales del agua de salida de cada máquina y/o equipo y las posibles causas del problema.

#### **2.2.4.- Análisis de parámetros Fisicoquímicos**

Se realizó el análisis físico químicos de las aguas que se pierden identificado en cada punto crítico y al agua de rechazo a la empresa de análisis ambientales ANAM S.A, los cuales son T°, pH, Conductividad eléctrica, DBO, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Dureza Total, Sólidos Disueltos, Oxígeno Disuelto para el agua de proceso, mientras que para el agua de rechazo, se midieron los parámetros establecidos por la NCh 1333/78 para el agua de Rechazo.

Se evaluó a partir de parámetros físicos químicos el tipo de reuso que puede tener el agua de pérdida a partir de Normas Nacionales (NCh 409/2005, NCh 1333/78, entre otros) y se plantearon propuestas de plan de acción para solucionar los eventuales problemas de pérdidas de agua.

### **III.- RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1.- Recopilación de información de procesos productivos y potabilización de agua**

##### **3.1.1.- Recopilación de información en Planta Productiva UHT**

En la Planta UHT, se desarrollan dos procesos: la recepción de la materia prima (leche cruda) y la producción de los productos larga vida. Actualmente ocurre un gran cantidad de pérdidas diarias de agua en los equipos utilizados en los procesos de producción, sin embargo, no se tiene un catastro específico del porcentaje de pérdidas de agua que ocurren en cada proceso de producción, por lo que resulta necesario identificar los puntos críticos de pérdidas de agua, evaluar las más significativas y proponer propuestas para mejorar el problema.

##### **3.1.1.1- Pasteurización**

En esta sección de la Planta UHT, existen tres equipos que llevan a cabo este proceso, que además cumplen la función de descremar la leche cruda. La leche que se encuentra en los silos de leche cruda es transferida a una olla de balance propia de cada equipo, luego pasa por unos filtros que separa la leche de materiales externo de la leche. Posteriormente a la leche pasa por las descremadoras, que tiene la función de separar la materia grasa de la leche. Debido a que la descremadora retira toda la materia grasa de la leche, es necesario volver a incorporar cierto porcentaje de crema a la leche, según el producto que se desee, por ejemplo, leche descremada, leche entera, leche semidescremada, entre otros. En la Tabla 4 se muestra la clasificación de la leche según su contenido de materia grasa.

**Tabla 4. Clasificación de leche según el contenido de materia grasa determinados por el Reglamento Sanitario.**

Tipo de leche	g de grasa /L de leche
Leche crema	> 30
Leche entera	25 a 30
Leche parcialmente descremada	5 a 25
Leche descremada	< 5

(CONAMA, 1998.)

Luego, la leche pasa nuevamente por el equipo pasteurizador donde ocurre el proceso de pasteurización de la leche; en ella, se aplica un “shock” de calor de aproximadamente 72 °C durante 13 segundos (mediante la utilización de agua blanda a alta temperatura), además el equipo de transferencia de calor se encarga de enfriar el producto mediante la utilización de agua hielo, el que presenta una temperatura de aproximadamente 2,2 °C. El aumento de temperatura se realiza a través de agua caliente, que fluye a un lado de esas placas y agua fría por el otro lado.



**Figura 1. Equipos de Pasteurización a) Pasteurizador, b) Descremadora.**

### 3.1.1.2.- Formulado

En esta sección de la planta productiva, se agrega a la leche pasteurizada saborizantes tales como chocolate, frutilla, vainilla, entre otros, para obtener de esta forma leche saborizada; además en esta sección de la planta se formulan néctares (sabor damasco, durazno, entre otros) y jugos tropicales (naranja, piña, entre otros). La sección de Formulado cuenta con tres equipos Pasteurizadores de jugo, Fisher, Cherry y Alfa. En la Tabla 5, se muestran las características de estos equipos.

**Tabla 5. Características de los equipos pasteurizadores de jugo.**

Equipo	Tipo de pasteurizador	Capacidad de producción (L/h)	Tipo de agua utilizada
Fischer	Tubular	12000	Blanda
Cherry	Placa	8000	Blanda
Alfa	Placa	4500	Blanda

El jugo que pasteurizan estos equipos proviene desde siete estanques que se encuentran en la sección de formulado. Cabe señalar que cada uno de los equipos cuenta con una olla de balance, la cual presenta dos niveles; el jugo al completar el nivel más alto de la olla de balance, transporta el jugo desde el equipo esterilizador hasta los equipos envasadores que se encuentran en la sección de Envasado Tetra Pak. Por otra parte, la leche sabor es pasteurizada por los equipos Leche Sabor 1 y Leche Sabor 2. Ambos equipos cuentan con homogenizadores de leche, los que presentan diferentes capacidades de producción. En la Tabla 6, se muestran las características de estos equipos.

**Tabla 6. Características de equipos pasteurizadores de sección Formulado.**

Equipo	Tipo de Pasteurización	Capacidad de producción de homogenizadores (L/h)	Tipo de agua utilizada
Leche Sabor 1	Placa	6000	Blanda
Leche Sabor 2	Placa	H1 = 12000; H2= 18000	Blanda

Los pasteurizadores utilizan agua blanda, el que se usa para el calentamiento del producto mediante de agua caliente, que fluye a través del equipo pasteurizador y también agua hielo (que enfría el producto), mientras que el agua utilizada por los Homogenizadores tiene la función de lubricar los pistones presentes en ellos.

### 3.1.1.3.- Esterilización

Esta sección de la Planta productiva cuenta con seis equipos esterilizadores, los que tienen la función de esterilizar la leche sin sabor, leche sabor o crema que provienen desde la sección de Pasterización o Formulado.

**Tabla 7. Características de equipos de la sección de Esterilización.**

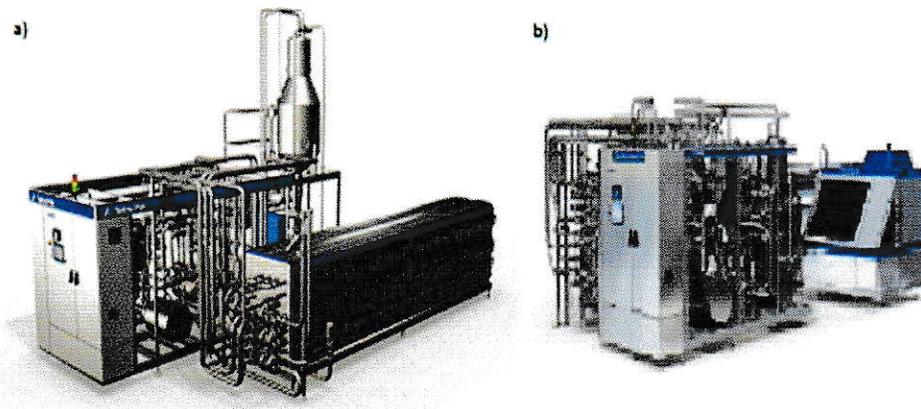
Equipo	Esterilización de producto	Capacidad de producción (L/h)	Tipo de esterilización	Tipo de agua utilizada
Tetra Flex 1	Leche blanca	19000	Indirecta	Osmosis
Tetra Flex 2	Crema y Leche sabor	8000 – 13000	Indirecta	Osmosis
VITS 1	Leche con y sin sabor	19000	Directa	Blanda
VITS 2	Leche con y sin sabor	12000 – 13000	Directa	Blanda
Stork 2	Leche con y sin sabor	12000 – 17000	Indirecta	Blanda
APV	Crema y Leche sabor	8000 – 13000	Indirecta	Blanda

Cada uno de los equipos cuenta con un homogenizador, el cual se encarga de homogenizar leche (posterior a la esterilización) o crema (previa a la esterilización).

Además, la sección de esterilización cuenta con seis equipos de almacenamiento del producto, los cuales reciben el nombre Steritank; éstos tienen la función de almacenar el producto ya esterilizado que no alcanza a ser envasado directamente. También esta sección cuenta con un equipo llamado Aldose, el cual inyecta una enzima a la leche (a una producción de 30 L/min) lo que provoca la inhibición de la lactosa presente en la leche.

El sistema de esterilización directa, se emplea agua de torre a 130 °C con el fin de intercambiar la temperatura con el producto mediante un intercambiador de placa, la temperatura de esterilización de la leche es a 140 °C. Luego, se enfría el producto durante una hora donde el agua llega a una temperatura de 24 °C, para lo cual se utiliza agua hielo (tiene una temperatura de 4 °C).

El sistema de esterilización indirecto, consiste en inyectar de forma indirecta vapor a alta temperatura a la leche. En los equipos no existe pérdida de agua para la esterilización debido a que ésta es recirculada constantemente.



**Figura 2. Equipos esterilizadores a) Equipo de esterilización directa, b) Equipo de esterilización Indirecta. Fuente: Tetra Pak Dairy & Beverage Systems AB, 2002.**

El agua de refrigeración es utilizada para enfriar y lubricar el homogenizador del equipo mientras que el agua de torre es utilizada para enfriar tanto el equipo como la leche. Finalmente, el agua hielo es utilizada para enfriar el producto, ya sea leche o crema a menos de 30 °C, aunque existen algunos productos que necesitan tener una temperatura de 8 a 10°C.

#### 3.1.1.4.- Envasado Tetra Pak

Esta sección de la Planta productiva, cuenta con diez equipos envasadoras, las que envasan en formato Tetra Pak. En la Tabla 8, se especifica cada una de las máquinas, la materia prima que utilizan, el tipo de envase y el tipo de agua que utilizan durante su proceso y lavado.

**Tabla 8. Características de máquinas de la sección de Envasado Tetra Pak.**

Máquina	Materia prima	V de envase (mL)	Tipo de agua de proceso	Tipo de agua de lavado
TBA 22-17	Néctar, leche sabor	200	Osmosis	Osmosis
A3 FLEX 18	Leche sabor, crema	200	Blanda	Blanda
A3 FLEX 19	Leche sabor, crema	200	Osmosis	Blanda
A3 SPEED 201	Leche sabor, crema	200	Osmosis	Osmosis
A3 FLEX 300	Jugo tropical	1000	Osmosis	Osmosis
TBA 85	Leche con y sin sabor	1000	Osmosis	Osmosis
TBA 86	Leche con y sin sabor	1000	Osmosis	Osmosis
TBA 89	Leche con y sin sabor	1000	Blanda	Blanda
TBA 87	Leche con y sin sabor	1000	Blanda	Blanda
A3 SPEED 91	Leche con y sin sabor	1000	Osmosis	Osmosis

Tal como se puede observar en la Tabla 8, los equipos Tetra Pak pueden envasar diferentes tipos de variedades de leche y de jugos (tanto jugos tropicales como néctares) en diferentes formatos de envases.

Cabe señalar que el agua utilizada por las máquinas envasadoras es utilizada principalmente para la lubricación de las máquinas, facilitando de esta forma el desplazamiento de los envases por las cintas, para el enfriamiento de la máquinas, como también para el sellado de los envases, y además para el calentamiento de agua oxigenada (reactivo utilizado para la esterilización de los envases).

### **3.2.- Recopilación de información en Planta de Agua**

La Industria Láctea produce su propia agua para consumo, la cual la extraen de tres pozos de agua ubicados al interior de la empresa. Esta agua se almacena por medio de bombeo en tres estanques de cloración; el rango de cloración fluctúa entre los 0,2 a 0,5 mg/L, a partir de la cual se hacen procesos para producir Agua Dura, Agua Blanda y Agua de Osmosis.

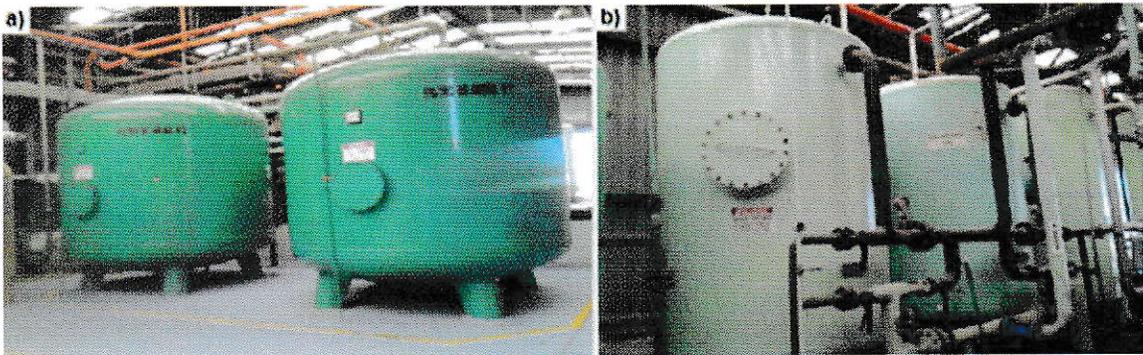
#### **3.2.1.- Agua dura**

El agua que se encuentra depositada en los tanques de cloración se distribuye por medio de tres bombas centrifugas, hacia los baños, casino y laboratorios. Según datos entregados por la Industria Láctea, la cantidad de agua dura que se extrae mensualmente de los pozos bordea los 160000 m<sup>3</sup> en promedio.

#### **3.2.2.- Agua blanda**

El proceso de producción de agua blanda, consiste en transportar el agua que se encuentra almacenada en los tanques de cloración por medio de bombas centrifugas a filtros de arena, los que capturan contaminantes tanto orgánicos como inorgánico. El agua obtenida pasa por ablandadores, los que contienen en su interior resinas de sodio (Na<sup>+</sup>) con el fin de intercambiar los iones de calcio y magnesio presentes en el agua por iones de sodio.

Cabe señalar que para regenerar la resina (cuando ésta se encuentra saturada de calcio y magnesio) se hace pasar una solución concentrada de cloruro de sodio por la resina, de modo que todos los iones de sodio ocupen el lugar ocupado por el magnesio y el calcio, llevando de este modo a la resina a su estado natural y activo. Luego, el agua blanda es almacenada en un estanque con capacidad de 160 m<sup>3</sup> y a partir de esta se distribuye hacia las plantas productivas. La cantidad de agua blanda que se produce mensualmente bordea en promedio los 110000 m<sup>3</sup>.



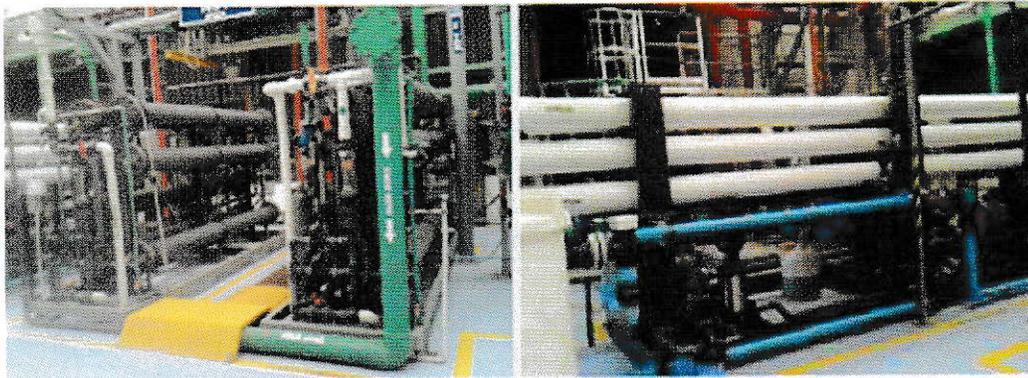
**Figura 3. Estanques a) Estanques de filtros de arena, b) Estanques ablandadores.**

### **3.2.3.- Agua de osmosis**

Finalmente, para obtener el agua de osmosis, el agua que se encuentra en los pozos de cloración es transportada hacia filtros de carbón activado; el carbón activado se utiliza para remover impurezas orgánicas que causan olor, color y sabor indeseable mediante un proceso de adsorción de las partículas y extrae el cloro residual que se encuentra presente en él. Este material adsorbente es muy eficiente ya que su gran porosidad hace aumentar la superficie de contacto con el agua. El agua es trasladada a un equipo de osmosis inversa, obteniéndose de esta forma agua de osmosis y agua de rechazo.



**Figura 4. Estanques de Filtros de Carbón Activado.**



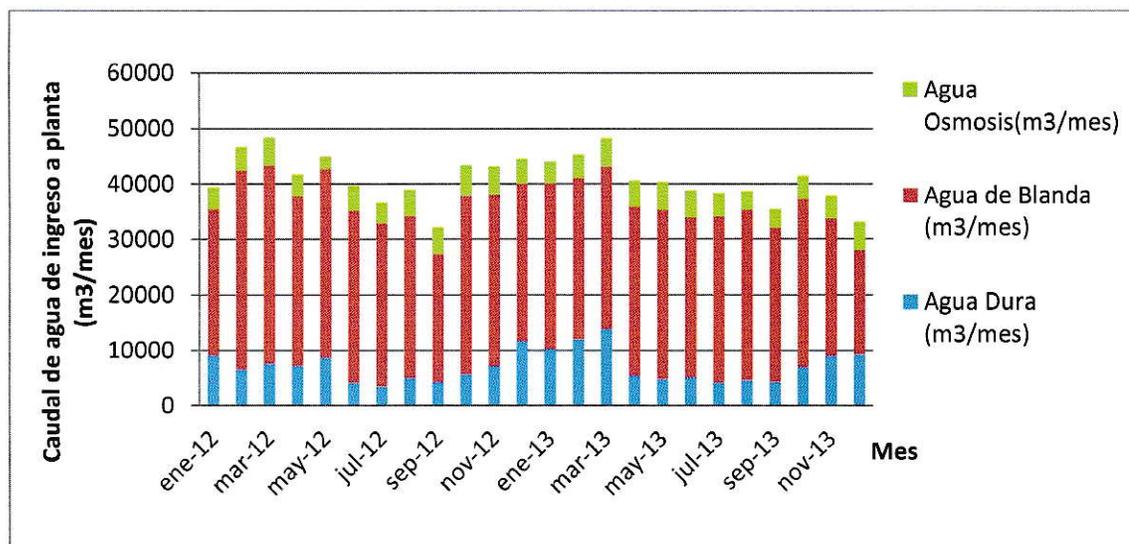
**Figura 5. Equipos de Osmosis Inversa.**

Sin embargo, a partir de este proceso se produce un agua de rechazo, el que contiene un alto contenido de sales y minerales la que tiene una concentración de 2200 mg/L. En la Tabla 9, se muestra las características químicas tanto de agua dura, blanda y de osmosis.

**Tabla 9. Características fisicoquímicas de agua dura, blanda y de osmosis.**

Parámetro	Agua Dura	Agua Blanda	Agua de Osmosis
pH	7,42	7,37	5,8
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1460	1450	36
Sulfato (mg/L)	138,0	138,0	3,8
Dureza total (mg/L)	580,0	8,0	3,0
Calcio (mg/L)	464,0	6,4	2,4
Alcalinidad M (mg/L)	240,0	240,0	5,0
Cloruro (mg/L)	230,0	240,0	10,0
Hierro (mg/L)	0,01	0,02	0,0
Magnesio (mg/L)	116,0	1,6	0,6
Sílice (mg/L)	27,8	17,8	0,8
Turbidez (NTU)	0,0	0,0	0,0
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,0	22,0	22,1

La cantidad de aguadura, blanda y de osmosis que suministra a la Planta UHT se muestra en la Figura 6.



**Figura 6. Gráfico de consumo de agua en Planta productiva en función del tiempo.**

En promedio la Planta UHT tiene un consumo de agua de 40859,74 m<sup>3</sup>/mes.

### 3. 3.- Pérdidas de agua en Planta Productiva

Cabe señalar que en la medición de las pérdidas de agua tanto de máquinas como de equipo, se les realizó solo a aquellos en los cuales se tenía fácil acceso y/o en los cuales no se ponía en riesgo la seguridad personal. No se realizaron mediciones de pérdidas de agua en los pasteurizadores en general (debido a la alta temperatura que presenta en agua de descarga), a las Descremadoras 2 y 3, a los equipos Tetra Flex 2, APV y a las maquinas SPEED 91, A3 Flex 0300, TBA 85 y TBA 87.

#### 3. 3.1.- Identificación de Puntos Críticos

A continuación se presenta la cantidad de agua que se pierde en promedio durante un mes en cada una de las secciones de la Planta Productiva. Cabe mencionar que el porcentaje de pérdida de agua es en relación al promedio de agua que ingresa a Planta UHT (40859,7 m<sup>3</sup>/mes).

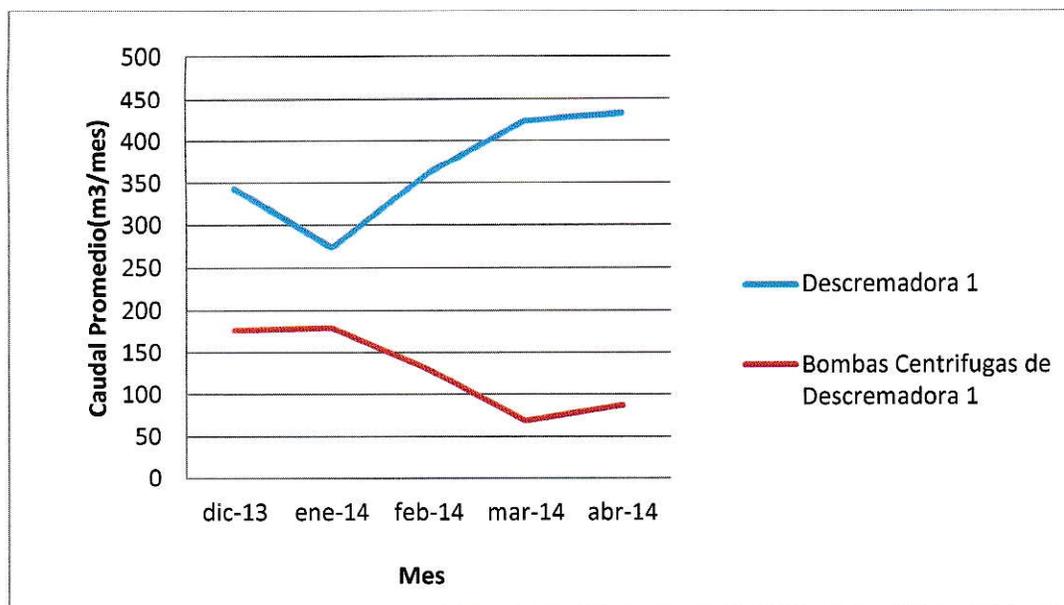
##### 3.3.1.1.- Sección de Pasteurización

En la Tabla 10, se muestran las pérdidas de agua registrada en la sección de Pasteurización.

**Tabla 10. Pérdidas de agua en sección de Pasteurización.**

Equipo	Q de agua perdida (m <sup>3</sup> /mes)	% de pérdida
Descremadora 1 (Lubricación)	367,2	0,90 %
Descremadora 1 (Lubricación bombas)	128,4	0,31 %

En la Figura 7 se muestra la variación mensual en los porcentajes de pérdidas de agua en los puntos críticos identificados.



**Figura 7. Variación mensual de pérdidas de agua de puntos críticos en sección de Pasteurización.**

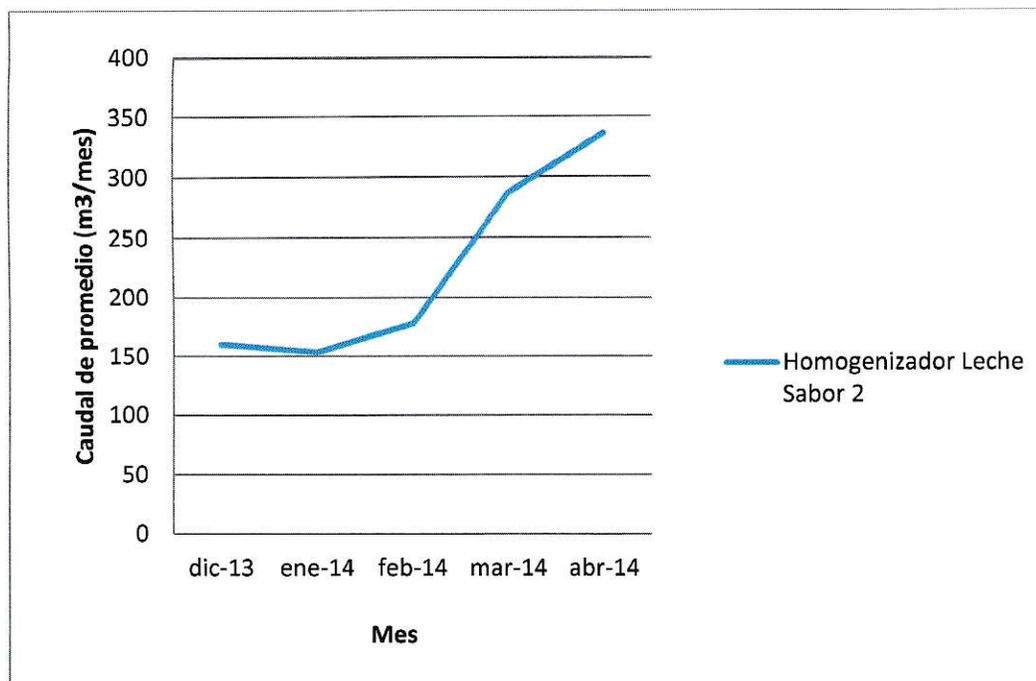
### 3.3.1.2.- Sección de Formulado

En la Tabla 11, se muestran las pérdidas de agua registrada en la sección de Formulado.

**Tabla 11. Pérdidas de agua en Sección Formulado.**

Equipo	Caudal de agua de pérdida (m <sup>3</sup> /mes)	% de pérdida
L/S 1 (Homogenizador)	164,1	0,40 %
L/S 2 (Homogenizador 1)	183,6	0,45 %
L/S 2 (Homogenizador 2)	223,2	0,55 %

Por lo que el punto crítico identificado en esta sección es Homogenizador 2 del equipo Leche Sabor 2. En la Figura 8 se muestra la variación mensual en los porcentajes de pérdidas de agua en el punto crítico identificado.



**Figura 8. Variación mensual en pérdidas de agua en punto crítico de la sección de Formulados.**

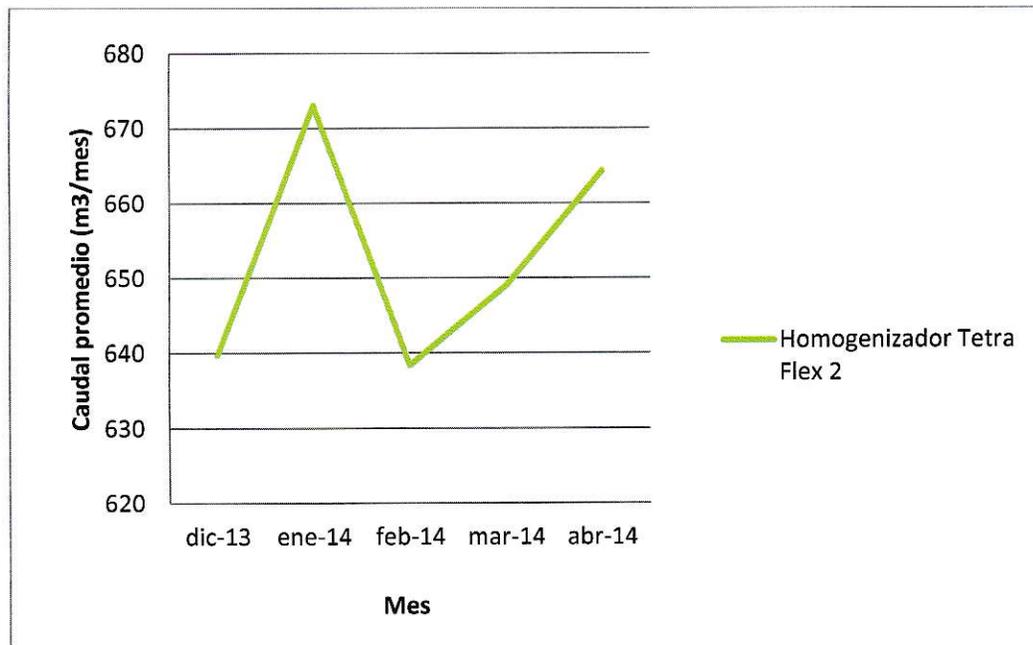
### 3.3.1.3.- Sección de Esterilización

En la Tabla 12, se muestran las pérdidas de agua registrada en la sección de Esterilización.

**Tabla 12. Pérdidas de agua en sección de esterilización.**

Equipo	Caudal de agua de pérdida (m³/mes)	% de pérdida
Tetra Flex 1 (Homogenizador)	613,0	1,50 %
Tetra Flex 2 (Homogenizador)	652,9	1,60 %
VTIS 1 (Homogenizador)	458,5	1,12 %
Stork 2 (Homogenizador)	251,1	0,61 %
Steritank 2, 3, 4 y 5	221,6	0,54 %
Steritank 6 y 7	184,2	0,45 %

Por lo que el punto crítico identificado es Homogenizador de equipo Tetra Flex 2. En la Figura 9 se muestra la variación mensual en los porcentajes de pérdidas de agua en los puntos críticos identificados.



**Figura 9. Variación mensual de pérdidas de agua en punto crítico de sección Esterilización.**

Cabe señalar que Steritank 2, 3, 4 y 5 presentan descargas de agua aproximadamente 15 días al mes y esto dura aproximadamente diez minutos; por su parte, Steritank 6 y 7 presentan descargas aproximadamente 8 días al mes.

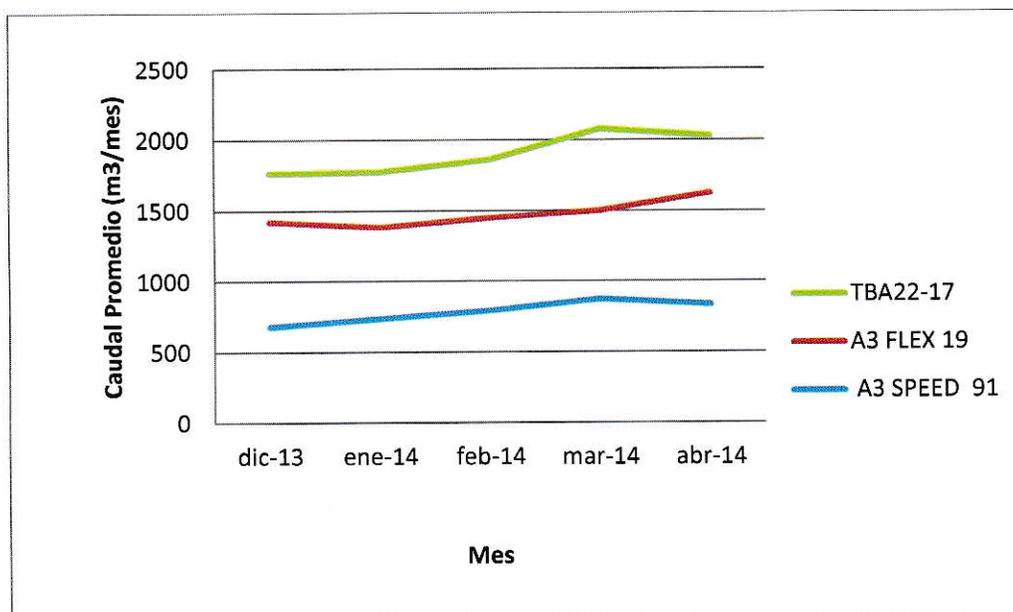
#### **3. 3.1.4.- Envasado Tetra Pak**

En la Tabla 13 se muestran las pérdidas de agua de la sección de Tetra Pak.

**Tabla 13. Pérdida de Agua en sección Tetra Pak.**

Máquina	Caudal de agua pérdida (m <sup>3</sup> /mes)	% de pérdida
A3 SPEED 91	784,8	1,92 %
A3 SPEED 201	619,3	1,52 %
A3 FLEX 19	218,1	1,69 %
A3 FLEX 18	689,1	0,53 %
TBA 22-17	384,2	0,94 %
TBA 86	144,0	0,35 %
TBA 89	184,2	0,45 %

Para la identificación de puntos críticos, se consideraron las maquinas con porcentajes más altos de pérdidas de agua en los tres modelos de envasadoras, por lo que los puntos críticos: A3 SPEED 91, A3 FLEX 19 y TBA 22-17. En la Figura 10 se muestra la variación mensual en los porcentajes de pérdidas de agua en los puntos críticos identificados.



**Figura 10. Variación de pérdidas de agua en puntos críticos de sección Tetra Pak.**

### **3.3.2.- Oportunidades de mejora en pérdidas de agua por parte de operadores**

Además, se han evidenciado otros tipos de pérdidas debido a malas prácticas por parte de operadores y personal de aseo, como también por falta en mantenimiento en equipo.

#### **3.3.2.1.- Malas prácticas por parte de operadores**

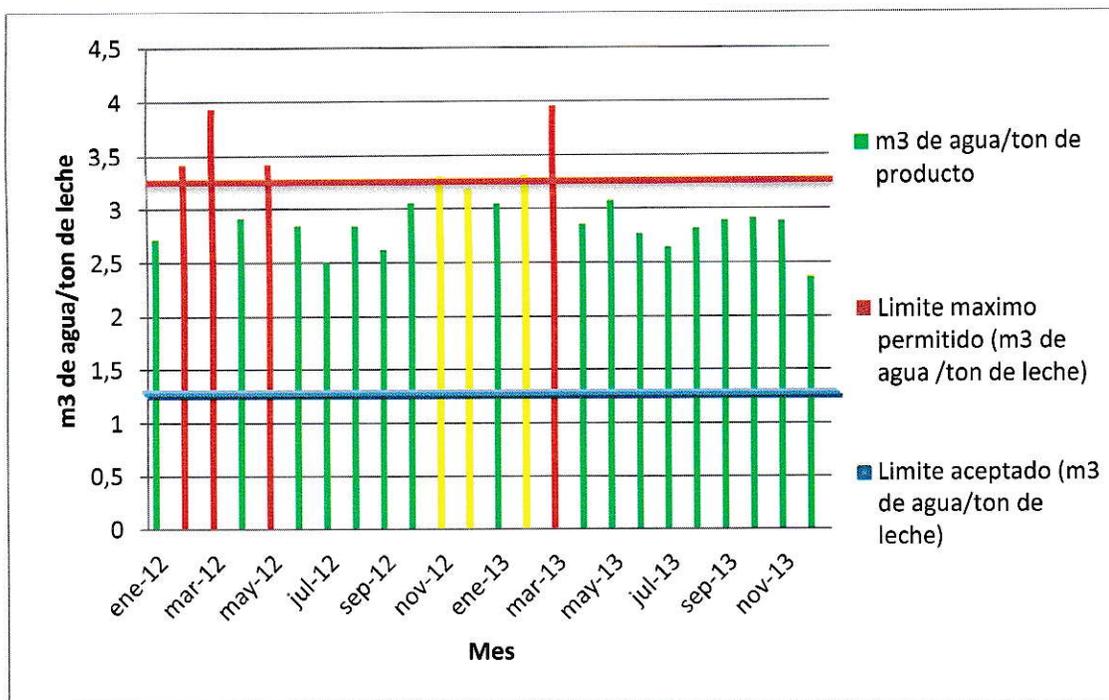
Esto se evidencia principalmente cuando operadores dejan abiertas llaves de agua y mangueras de limpieza. Para solucionarlo, es aconsejable la instalación de pistolas de dispersión y de cierre automático para mangueras y lava manos con pedestal.

#### **3.3.2.2.- Falta de mantenimiento en equipos**

La falta de mantenimiento de los equipos provoca fugas en codos, costado, y accesorios de máquinas y equipos de proceso. Esto se solucionaría teniendo un mayor control de las fugas de agua.

### **3.3.3.- Estándar Internacionales de pérdidas de agua**

En la Figura 11 se muestra el desempeño ambiental en términos de consumo de agua de la industria láctea, los límites máximo y mínimos establecidos se basan en lo aconsejado por la PNUMA.



**Figura 11. Índices de Desempeños Ambientales durante el enero de 2012 a diciembre de 2013.**

A partir de la Figura 11, se puede observar que en todos los meses (desde enero de 2012 a diciembre de 2013) la relación de cantidad de agua utilizada y la cantidad de leche producida sobrepasa el valor mínimo establecido por la PNUMA el cual es de 1,3 m<sup>3</sup> de agua/tonelada de leche. Sin embargo, en varios meses se observa que se tiene un valor que no sobrepasa el valor máximo establecido por la PNUMA (3,2 m<sup>3</sup> de agua /tonelada de leche).

### 3. 4.- Análisis de parámetros fisicoquímicos

A continuación, se presentaran los análisis de los resultados de las muestras de agua de proceso como agua de rechazo que se caracterizaron en el laboratorio ANAM S.A.

### 3.4.1.- Análisis de agua de Planta Productiva

El código CIU, establecido en la NCH 2313/6 of. 97, correspondiente a la elaboración de leche condensada, en polvo o elaborada es 31122, el cual establece que los parámetros a medir son los siguientes: pH, Temperatura, Sólidos Suspendidos, Aceites y Grasas, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno amoniacal y Poder Espumógeno. Sin embargo, los análisis que se realizaron a los puntos críticos identificados son los siguientes: Aceites y Grasas, Conductividad eléctrica, DBO, dureza total, nitrógeno total de Kjeldahl, Oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales y temperatura. Cabe señalar que el punto crítico A3 FLEX 19, fue cambiado en el momento de la mediación por el punto A3 FLEX 18, esto debido a que en el momento de la toma de muestras, la máquina de encontraba en proceso de lavado. A continuación se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de los puntos críticos identificados.

#### 3.4.1.1.- Parámetros Físicos

En la Tabla 14 se muestran los resultados de las mediciones a los puntos críticos identificados.

**Tabla 14. Resultados de Parámetros Físicos en puntos críticos.**

Punto Crítico	pH (U)	T (°C)	C.E (μS/cm)	Sólidos disueltos (mg/L)
Homogenizador 2 Leche Sabor 2	7,7	21,6	1569,0	1013
A3 Flex 18	7,7	36,2	1290,0	1057
Homogenizador Tetra Flex 2	7,3	27,2	47,0	26
SPEED 91	5,7	20,8	1487,0	922
Descremadora 1	7,1	33,7	1986,0	1012
Bombas centrifugas Descremadora 1	7,7	21,2	1526,0	1022
TBA 22-17	5,2	29,4	32,00	19,00

#### **3.4.1.1.1.- pH**

A partir de los resultados, se puede apreciar que en general los valores de pH de las muestras Homogenizador 2 L/S 2, Homogenizador Tetra Flex 2, SPEED 91, Descremadora 1 y Bombas Centrífugas Descremadora se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la OMS puesto que ésta establece que el rango de pH debe estar entre 7 - 8,5, no así la muestra SPEED 91 y TBA 22-17, que presenta un pH de 5,7 y 5,2 respectivamente. Un pH ácido puede causar corrosión en las máquinas de proceso, por lo que bajo este parámetro no sería recomendable reutilizar directamente esta agua en el proceso productivo.

Al basarse en la NCh 1333/78, ésta establece que el rango de pH para regadío es entre 5,5 a 9,0, por lo que todos los puntos críticos a excepción de la máquina TBA 22-17 cumplirían con esta norma.

#### **3.4.1.1.2.- Temperatura**

Los resultados de temperatura más bajos los presentan las muestras Homogenizador 2 L/S2, SPEED 91, y TBA 22-27 con un valor promedio de 21,2 °C. Según datos de los manuales de instalación de las máquinas, la temperatura máxima del agua debe ser de 20 °C, por lo que para la reutilización de esta agua en el proceso, sería necesario enfriarlas. Sin embargo, según lo establecido por la directiva europea sobre agua potable, el valor máximo de temperatura es 25°C, por lo que las muestras Homogenizador 2 Leche sabor 2, SPEED 91 y Bombas Centrífugas Descremadora 1 cumplirían con esta norma. Por su parte, las muestras A3 Flex 18, Homogenizador Tetra Flex 2, Descremadora 1 y TBA 22-17 que presentan una temperatura mayor (promedio de 32,4 °C) no cumplen por con lo establecido por esta norma, sin embargo, para ser utilizada como agua de lavado durante los procesos CIP, esta agua podría ser utilizada,

debido a que este proceso requiere de agua a alta temperatura durante algunas etapas del proceso.

Según lo establecido por la NCh 1333/78, el límite de temperatura del agua para utilizarse como regadío son 30 °C, por lo que solo las muestras A3 Flex 18 y descremadora 1, no estarían en condiciones de utilizar esta agua como regadío.

#### **3.4.1.1.3.- Conductividad Eléctrica**

Al analizar los resultados de conductividad eléctrica de las muestras, se puede apreciar que los resultados con valores más bajos con las correspondientes a Homogenizador Tetra Flex 2 y a la máquinas TBA 22-17, las que utilizan durante su proceso agua de osmosis (la cual presenta una C.E en promedio de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mientras que las demás muestras (de equipos que durante su proceso utilizan agua blanda) presentan C.E que borden los 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valor cercano a la C.E que presenta el agua dura que se extrae desde los pozos de agua. La OMS no establece un límite de conductividad eléctrica para el agua potable e industrial, sin embargo la Unión Europea establece que este valor debe ser menor a 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo que esta agua estaría en condiciones para ser utilizada bajo estas condiciones. Bajo los límites establecidos por la NCh 1333/78, esta establece que un agua que presenta una C.E menor a 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es un agua que al utilizar para el regadío generalmente no se observan efectos perjudiciales, tal es el caso para las muestras TBA 22-17 y Homogenizador Tetra Flex 2; para agua que presentan una C.E entre 1500 a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se clasifica como agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso; esto ocurriría con el resto de muestras.

#### **3.4.1.1.4.- Sólidos Disueltos**

Según directrices de la OMS, el agua para enfriamiento y para limpieza de maquinarias debe presentar una concentración de Sólidos Disueltos Totales no mayor a 1000 mg/L. Las únicas muestras que muestran un resultado menor a lo indicado por la OMS son Homogenizador 2 L/S 2, TBA 22-17 con resultados de 26 y 19 mg/L, respectivamente. Según lo establecido por la Unión Europea y el Reglamento N°4 de la Ley Orgánica Ambiental de Venezuela, el límite máximo permitido para este parámetros es 1500 mg/L, por lo que también solo estarían cumpliendo las muestras A3 Flex 18 y SPEED 91. Las demás muestras presentan una concentración mayor, por lo que para ser reutilizado nuevamente en el equipo o máquina, sería necesaria la remoción de los sólidos en suspensión mediante un tratamiento de floculación. Por otra parte, bajo lo establecido por la NCh 1333/78, aguas que presentes una concentración de sólidos disueltos totales inferior a 500 mg/L, se puede clasificar como agua que generalmente no se observarían efectos perjudiciales, esto ocurriría con las muestras de la máquinas TBA 22-17 y el equipo Homogenizador Tetra Flex 2, mientras que aguas que presenten una concentración que fluctuó entre 500 a 1000 mg/L (como en el caso de la muestra SPEED 91), se puede clasificar como agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles, finalmente, el resto de las muestras tiene una concentración que fluctúa entre 1000 a 2000 mg/L, por lo que se pueden clasificar como aguas que pueden tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso.

#### **3.4.1.2.- Parámetros Químicos**

En la Tabla 15, se muestran los resultados de las mediciones a los puntos críticos identificados.

**Tabla 15. Resultados Parámetros Químicos en puntos críticos.**

Punto Crítico	A y G (mg/L)	DBO (mg/L)	NTK (mg/L)	P (mg/L)	O <sub>2</sub> (mg/L)	Dureza total (mg/L)
Homogenizador2	< 1	< 1	0,925	< 0,1	8,4	8,65
Leche Sabor 2						
A3 Flex 18	15	108	5,41	0,8	7,2	9,19
Homogenizador Tetra Flex 2	< 1	2	0,100	< 0,1	7,3	< 2,76
SPEED 91	< 1	< 1	0,600	< 0,1	9,7	6,33
Descremadora 1	< 1	< 1	0,933	< 0,1	6,9	9,43
Bombas centrifugas Descremadora 1	1	< 1	0,977	< 0,1	7,9	10,36
TBA 22-17	< 1	75	19,60	< 0,1	71,5	4,28

#### 3.4.1.2.1.- Aceites y Grasas

A partir de la Tabla 15, se puede apreciar que en las muestras A3 Flex 18, SPEED 91, Descremadora 1, Bombas centrífugas Descremadora 1 y TBA 22-17 la concentración de Aceites y Grasas presentes en ellas está bajo el LD del método analítico utilizado para su determinación, sin embargo, en la muestra A3 Flex 18 la concentración de este parámetro es de 15 mg/L lo cual es alto, puesto que para que el agua sea reutilizado nuevamente en el proceso, ésta debe ser libre de aceites y grasas. Además, la muestra A3 Flex 18 presenta una concentración de aceites y grasas similar a la concentración que presentan los RILes que se tratan en la planta de Tratamiento de RILes presente en la industria Láctea, que en promedio es de 19 mg/L; tal valor, se puede deber a la presencia de una fuga de aceites lubricantes en la máquina.

#### 3.4.1.2.2.- Demanda Biológica de Oxígeno

Al analizar los resultados de las muestras, se puede apreciar que las muestras A3 Flex 18 y TBA 22-17 presentan una DBO elevado, en relación a las demás muestras. Cabe

señalar que la DBO da cuenta de la cantidad de oxígeno requerido por bacterias, hongos y plancton durante la degradación de sustancias orgánicas, por lo tanto a mayor cantidad de materia orgánica, mayor es la cantidad de oxígeno necesaria para su degradación. La materia orgánica, vertida en pequeñas proporciones, no es contaminante ya que puede ser oxidada de forma natural por bacterias y otros organismos que la transforman en sustancias minerales inertes, por lo que se dice que es biodegradable. Sin embargo, el exceso de materia orgánica posibilita la proliferación de microorganismos, muchos de los cuales resultan patógenos (contaminación biológica), provoca déficit de oxígeno, lo que aumenta la solubilidad en el agua de ciertos metales y a la vez se incrementa el efecto de la corrosión de las conducciones y tuberías por la presencia de sulfuros.

Bajo las directrices establecidas por el reglamento N° 4 de la Ley Orgánica Ambiental de Venezuela, tanto las muestras A3 Flex 18, Homogenizador Tetra Flex 2 y TBA 22-17 no estarían en condiciones de ser reutilizadas, puestos que esta organización establece que el valor de DBO debe ser menor a 1,5 mg/L. La NCh 1333/78 no establece un límite para este parámetro.

#### **3.4.1.2.3.- Nitrógeno de Kjeldhal**

Según lo establecido por la Unión europea, el límite máximo permisible de NK para el agua potable y agua que se utilizada en las industrial debe ser de 1 mg/L. Bajo este parámetro, solo las muestras A3 Flex 18 y TBA 22-17 no estarían cumpliendo con lo establecido puesto que ambas superan el límite máximo (5,41 y 19,6 mg/L respectivamente), sin embargo las demás muestras si cumplen con lo establecido.

#### **3.4.1.2.4.- Fósforo**

Según los resultados que se muestran en la Tabla 15 en la mayoría de las muestras estos valores son menores al LD a excepción de la máquina A3 Flex 18 que presenta una concentración de fósforo igual a 0,8 mg/L. La presencia de fósforo se puede deber a la residuos de detergente que se utilizan durante los lavados externos de las máquinas; la Directiva 98/83 EC de la Unión Europea establece que la concentración de Fósforo no deber ser mayor a 5000 µg/L (5 mg/L) lo cual se da en todos los puntos críticos.

#### **3.4.1.2.5.- Oxígeno Disuelto**

Bajo las directrices establecidas por el Reglamento N°4. Ley Orgánica Ambiental de Venezuela para el agua de uso industrial, la concentración de O<sub>2</sub> disuelto debe ser mayor a 4 mg/L, lo cual se da en todas las muestras.

#### **3.4.1.2.6.- Dureza Total**

La OMS establece que la dureza debe estar en un rango de 500 a 1000 mg/L, todas las muestras muestran resultados bajo este rango, por lo que bajo este parámetro el agua puede ser reutilizada en el proceso. Además bajo la clasificación que se muestra en la Tabla 15, el agua en todas las muestras se puede clasificar como agua dulce y no causaría problemas como agua de regadío.

#### **3.4.1.3.- Tipo de contaminación presente en agua de puntos críticos**

En la Tabla 16 se presenta un resumen con el tipo de contaminación de agua presente en los puntos críticos identificados.

**Tabla 16. Tipo de contaminación de agua presentes en puntos críticos identificados.**

Punto Crítico	Tipo de contaminación
Homogenizador 2 L/S 2	----
A3 Flex 18	Térmica y química
Homogenizador Tetra Flex 2	Térmica
A3 SPEED 91	Física
Descremadora 1	Térmica
Bombas Centrifugas Descremadora 1	---
TBA 22-17	Térmica y física

### 3.4.2.- Análisis agua de rechazo

El agua de rechazo generada en el proceso de obtención de agua de osmosis inversa, presenta una alta dureza, por lo que no sería recomendable utilizarla como agua de proceso, por lo que una de las opciones es utilizarla como agua de regadío de los jardines que se encuentran en las inmediaciones de la Industria Láctea y/o como agua potable para el sistema de alcantarillado.

#### 3.4.2.1.- Reutilización como agua de regadío

Para ser utilizada como agua de regadío, se deben tener en cuenta la repercusión que puede traer consigo la utilización del agua en el suelo. En general, los principales problemas en suelos derivados de una calidad deficiente son: Salinidad, Disminución de infiltración, toxicidad por iones específicos, exceso de nutrientes (Bicarbonato, Sulfato, Magnesio), pH anormal, aceites y grasas, Inestabilidad del agua, Formación de depósitos debido a la dureza del agua. A partir de la Tabla 26 (Anexo 3) se puede observar que a partir de dos muestreos realizados al Agua de Rechazo, los parámetros fisicoquímicos que sobrepasan lo indicado por la NCh 1333/78 son Cloruro y Sulfato. En la Tabla 17, se muestran los resultados de estos dos parámetros.

**Tabla 17. Parámetros químicos que sobrepasan lo establecido por la NCh 1333/78 en agua de rechazo.**

Parámetro	Límite máximo	Primera medición (*)	Segunda medición (**)
Cloruro (mg/L)	200,0	254	131
Sulfato (mg/L)	250,0	768	359

(\*) Primera medición realizada el 4 de junio de 2013.

(\*\*) Segunda medición realizada el 6 de junio de 2013.

Para ver si es que estos parámetros pueden afectar la calidad del suelo, se analizará la salinidad, efectos en la permeabilidad, dureza, entre otros, que pueden afectar al suelo.

#### **3.4.2.1.1.-Salinidad**

Contribuyen a este problema las sales solubles y fácilmente transportadas por el agua. El problema se produce cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz. Una salinidad excesiva del agua de riego afecta reduciendo la disponibilidad del agua-suelo, disminuyendo el crecimiento y restringiendo el desarrollo de las raíces. El riego con agua de alta salinidad requiere grandes volúmenes de agua extra para lixiviación, lo que conduce a problemas de drenaje, que deben ser enfrentados con buenas prácticas de manejo agrícola. Los parámetros que permiten evaluar un potencial problema de salinidad son la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos disueltos totales (SDT). Para los problemas de salinización (utilizando la conductividad eléctrica) se propone la siguiente clasificación (Urbano, 1995).

**Tabla 18. Grados de restricción de agua de riego según su conductividad eléctrica y concentración de sólidos disueltos totales.**

Medición	Grado de Restricción
----------	----------------------

Parámetro	Primera medición	Segunda medición	Ninguna (no hay problema)	Débil a moderada (problema creciente)	Severa (problema grave)
C.E (μS/cm)	2135	1232	< 700	700 – 3000	> 3000
SDT (mg/L)			< 450	450 – 2000	> 2000

Debido a que la conductividad eléctrica que presentó el agua fue de 2135 μS/cm en la primera medición y de 1232 μS/cm en la segunda medición, el agua en ambos casos presenta un grado de restricción entre débil a moderada. Por lo se debe emplear el agua con precaución.

#### 3.4.2.1.2.- Permeabilidad

Se expresa mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS), el que presenta la posible influencia de los iones de sodio en el suelo. Este índice se calcula mediante la Ecuación (3).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad Ec/3/$$

Siendo Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> dichos iones en el agua de riego expresados en meq/L. Cabe señalar que una elevada proporción de sodio con respecto a calcio y magnesio puede inducir cambios en estos iones por los iones de sodio en el suelo, provocando la degradación del suelo con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad. En la primera medición, el RAS fue de 2,417, mientras que en la segunda fue de 1,657. Por lo tanto, a partir del diagrama, se puede concluir que no existe ninguna restricción para utilizar el agua como regadío.

### 3.4.2.1.3.- Dureza del agua

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función del catión  $\text{Ca}^{2+}$  y se calcula mediante Ecuación 4.

$$\text{Dureza} = \frac{\text{Ca}^{2+} \times 2,5 + \text{Mg}^{2+} \times 4,2}{10} \quad \text{Ec/4/}$$

**Tabla 19. Clasificación de dureza de agua según grados Hidrométricos franceses.**

Tipo de agua	Grados Hidrométricos franceses (°F)
Muy dulce	< 7
Dulce	7 – 14
Medianamente dulce	14 – 22
Medianamente dura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy dura	> 54

En la primera medición, se obtiene una dureza del agua igual a 128,13 °F, mientras que en la segunda es igual a 53,21 °F. Según la clasificación de la Tabla 19, el agua en la primera medición se puede clasificar como agua muy dura, mientras que en la segunda, se puede clasificar como dura, por lo que es probable que se formen depósitos en este en el suelo.

### 3.4.2.1.4.- Coeficiente Alcalimétrico (Índice de Scott)

Valora la calidad agronómica del agua en función de la concentración de cloruro, sulfatos y sodio, pudiendo definir el álcali suficiente para imposibilitar el desarrollo normal de las especies vegetales sensibles, es decir, evalúa la toxicidad que pueden producir las concentraciones de cloruro y sulfatos aportados con el agua de riego y que pertenecen en el suelo. El cálculo se basa en tres axiomas, los cuales son los siguientes:

- Si  $Na^+ - 0,65 Cl^- < 0$ , implica que

$$k_1 = \frac{6049}{Cl^-} \quad \text{Ec/5/}$$

- Si  $0 < Na^+ - 0,65 Cl^- < 0,48 SO_4^{2-}$ , implica que

$$k_1 = \frac{6620}{(Na^+ + 2,6 Cl^-)} \quad \text{Ec/6/}$$

- Si  $0 < Na^+ - 0,65 Cl^- > 0,48 SO_4^{2-}$ , implica que

$$k_1 = \frac{662}{(Na^+ - 0,32 Cl^- - 0,48 SO_4^{2-})} \quad \text{Ec/7/}$$

Para calcular el valor de  $k_1$ , se utilizó la ecuación 6. Según el valor de  $k_1$ , se agua de clasificar según lo indicado en la Tabla 20.

**Tabla 20. Tipo de agua según Índice de Scott.**

Rango	Tipo de agua
$k_1 \geq 18$	Agua buena: no es necesario tomar precauciones.
$6 \leq k_1 < 18$	Agua tolerable: emplear precauciones.
$1,2 \leq k_1 < 6$	Agua peligrosa: emplear solo en suelos con buenas condiciones de drenaje.
$k_1 < 1,2$	Agua no utilizable.

Según los datos presentado en la Tabla 26 (Anexo 3) en la primera medición, se obtuvo un  $k_1$  igual a 7,71 mientras que en la segunda fue igual a 15,46, por lo tanto el agua se clasifica como agua tolerable, es decir se puede utilizar con ciertas precauciones.

#### 3.4.2.1.5.- Índice de Kelly

Establece el riesgo de la alcalinización en el suelo. Se determina mediante la Ecuación 8.

$$IK = \frac{Ca^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad \text{Ec/8/}$$

Si IK es mayor al 35%, el agua se considera apta para el riego. En la primera medición, se obtiene un IK igual 56,7 %, mientras que en la segunda medición se obtiene un IK igual a 54,3 %, por lo tanto, según el índice de Kelly, el agua es apta para el regadío.

#### **3.4.2.1.6.- Clasificación de las aguas según Porcentaje de sodio intercambiable y Conductividad Eléctrica**

**Tabla 21. Resultados de Porcentaje de Sodio Intercambiable y Conductividad Eléctrica del agua de rechazo.**

Parámetro	Primera medición	Segunda medición
PSI (%)	24,808	25,873
C.E ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2135,0	1232

A partir del Diagrama de Scholer (Figura 13, Anexo 3), se obtiene que el agua de regadío se pueda considerar entre buena a admisible.

#### **3.4.2.1.7.- Efecto de Sulfato**

El ión sulfato no produce efectos específicos en suelos y plantas, sin embargo, contribuye a aumentar la salinidad de la solución de suelo. El problema de la salinidad se produce cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz. Una salinidad excesiva del agua de riego afecta negativamente los cultivos, reduce la disponibilidad del agua-suelo, disminuye el crecimiento y restringe el desarrollo de las raíces.

Sin embargo, a partir la Figura 14 (Anexo 3) y analizando las concentraciones de sulfatos, se tiene que en la primera medición (cuya concentración de sulfato fue de 768 mg/L), el agua de regadío se encontraría apta para el riego considerando prácticas de manejo cuidadoso. Mientras que en la segunda medición (cuya concentración de sulfato fue de 359 mg/L), se asegura la posibilidad de riego con el agua de rechazo.

#### **3.4.2.2.- Reutilización como agua de alimentación de sistema de agua potable**

Por otra parte, para ser utilizada como agua de alimentación del sistema de alcantarillado se realizó un análisis al agua bajo la NCh 409 of. 2005, al partir de estos análisis se tiene que el único parámetros que está bajo los límites establecidos por la norma es el cloro residual libre (Tabla 25, Anexo 3). Para aumentar la concentración de cloro residual, es necesaria la adición de cloro mediante el proceso de cloración. Sin embargo también se debe tener en cuenta que el agua de rechazo presenta una dureza muy alta, clarificándose como agua muy dura, lo cual puede generar problemas en cañerías producto de deposiciones, por lo que resulta conveniente aplicar el proceso de ablandamiento del agua.

#### **IV.- DISCUSIÓN Y/O PROYECCIONES**

El agua que pierde el equipo Homogenizador 2 Leche Sabor 2 puede ser reutilizada en el proceso nuevamente, pero no se puede utilizar como agua de regadío. Mientras tanto, el agua que se pierde de la máquina A3 Flex 18 no puede ser realizada directamente en el proceso sin previo tratamiento, debido a que presenta parámetros como temperatura, sólidos disueltos, DBO y NKT fuera de los parámetros establecidos; esta agua tampoco sería recomendable como agua de regadío.

El agua que se pierde del equipo Homogenizador Tetra Flex 2, para reutilizada nuevamente en el proceso, sería necesario bajar su temperatura, remover los sólidos disueltos presentes en el mediante tratamientos de floculación; además, podría ser utilizada como agua de regadío. Lo mismo ocurriría con el agua que se pierde en el equipo Descremadora 1, pero en este caso no se podría utilizar como agua de regadío.

El agua que se pierde de las bombas centrífugas de la Descremadora 1, podría ser reutilizada en el proceso removiendo la concentración de sólidos disueltos. Sin embargo, al utilizarla como agua de regadío podría traer efectos adversos.

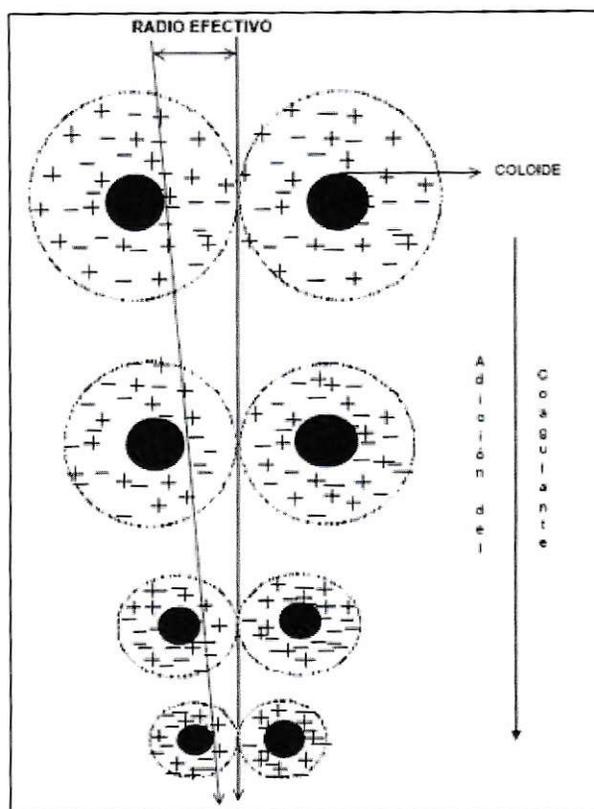
El agua de las muestras SPPED 91 y TBA 22-17 presentan un pH bajo el límite mínimo requerido para ser reutilizado en el proceso, sin embargo esto se puede solucionar adicionando algún químico que aumente el pH, el cual puede ser carbonato de sodio. En el caso de la máquina SPEED 91 sería necesaria la adición de floculante para la remoción de sólidos disueltos, mientras que en el caso de la máquina TBA 22-17, es necesario disminuir los niveles de Nitrógeno de Kjeldahl.

Una forma de reutilizar el agua que se pierde y que además cumple con todas los estándares establecidos es con la instalación de ollas de balance que reciban esta agua de pérdidas, luego el completar el nivel superior de la olla de balance, éste puede ser llevado mediante tuberías hasta torres de enfriamiento de aguas que se encuentran en las inmediaciones de la planta productiva.

Para las aguas de pérdidas de aquellos equipos que contienen un alto contenido de sólidos suspendidos y/o disueltos se debe incorporar un tratamiento de floculación, coagulación y sedimentación previo al proceso de las torres de enfriamiento y por último, aquellas muestras que presentan desviaciones en pH, es necesario su ajuste hasta los parámetros establecidos mediante la adiciones de químicos. Esto principalmente a que los sólidos que no sedimentan pueden ser coloides, en los cuales cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado. Cabe señalar que la coagulación se define como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración (Barrenechea, 2012).

La coagulación es un proceso fisicoquímico tendiente a formar partículas más grandes y de mayor peso por unidad de volumen (mayor densidad o peso específico), para lo cual es necesaria la dosificación de compuestos químicos que provocan la formación de polímeros que atrapan o encapsulan las partículas coloidales (partículas de muy

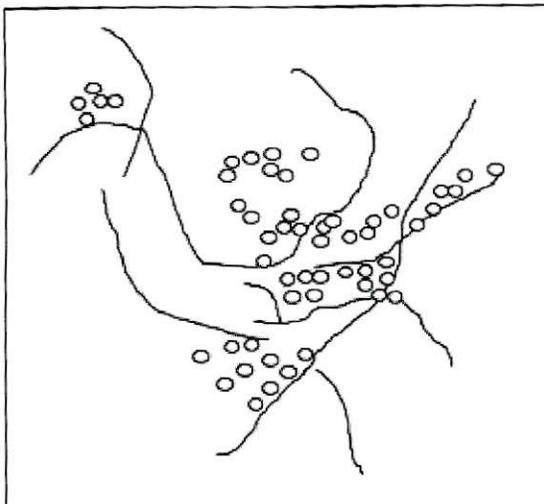
pequeño tamaño), que por sí mismas nunca lograrían separarse del líquido que las contiene. Por lo general, los coagulantes que más se utilizan son Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), Sulfato Férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ).



**Figura 12. Proceso de coagulación.**

En la Figura 12, se puede observar que la adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la "nube de iones" que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Mientras que la floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Andia, 2000).



**Figura 13. Proceso de floculación.**

Por su parte, los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis (Andia, 2000). Los Floculantes Minerales, se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución. Los Floculantes Orgánicos Naturales son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales y finalmente los Floculantes Orgánicos de Síntesis que son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros: Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico), neutros o no iónicos (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímero de acrilamidas más un monómero catiónico).

Un tratamiento más completo del agua para volver a ser reutilizada es mediante la instalación de filtros de carbón activado, el cual reduce tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos. El carbón activado es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. El carbón activado se caracteriza por su gran capacidad de adsorción, además de una gran cantidad de micro poros (poros inferiores a 2 nm de diámetro) su elevada área superficial entre 500 y 2500 m<sup>2</sup>/g (una pista de tenis tiene 260 m<sup>2</sup>).

La alta capacidad de adsorción del carbón activado, se debe principalmente a que los átomos que no están en la superficie, distribuyen sus cuatro uniones en todas las direcciones. Pero los átomos superficiales, aunque están ligados con otros cuatro, se ven obligados a hacerlo en menor espacio, y queda en ellos un desequilibrio de fuerzas. Ese desequilibrio es el que los lleva a atrapar una molécula del fluido que rodea al carbón.

La fuerza con la que el átomo superficial de carbono atrapa a la otra, se llama "Fuerza de London", que es uno de los siete tipos de "fuerzas de Van der Waals". Se considera una unión fisicoquímica, suficientemente fuerte para retener al adsorbato, pero no tan fuerte como para considerarla una unión química irreversible que forma una nueva estructura molecular. Por ello, la adsorción es reversible y el carbón activado puede reactivarse para utilizarse de nuevo.

Para hacer una selección del agua que se incorporará a la olla de balance y para no almacenar químicos y/o agua de enjuague utilizado durante los procesos CIP, es necesario la incorporación de sensores de conductividad eléctrica, de esta forma aguas que presentan una conductividad eléctrica igual o menor a 2500  $\mu$ S/cm podrá ser reutilizada.

Como proyección a este trabajo de Seminario de Título es complementarlo con un estudio microbiológico de las aguas que se pierden, esto es debido principalmente a que el agua en algún momento del proceso UHT puede estar en contacto con leche, la cual puede tener una microbiológica considerable.

Al analizar los índices de desempeño ambientales, la empresa Láctea se encuentra dentro del límite superior establecido por PNUMA el cual es de 3,2 m<sup>3</sup> de agua/ton de producto en la mayoría de los meses desde enero de 2012 hasta diciembre de 2013. Si se reutilizase el agua que se pierde, quizás se llegaría a un valor que bordearía a 1,3 m<sup>3</sup> de agua/ton de producto, el cual es la cifra ideal establecida por la PNUMA. La sección de Planta UHT en la que ocurre una mayor pérdida de agua corresponde a la sección de Envasado Tetra Pak con un 6,93 % de pérdida con respecto a la cantidad total de agua que ingresa a la planta. La sección que registra una menor cantidad de pérdidas de agua es Pasteurización con un 1,22 % de pérdidas de agua.

Existe una falta de conciencia por parte de operadores y personal de aseo con el cuidado del agua, por lo que recomienda realizar charlas o capacitaciones de forma continua donde se brinde una explicación de los motivos a economizar el agua, llevando un control y monitoreo de la ejecución de lo enseñado en las mismas.

Por otra parte, según los análisis realizados al agua de rechazo, es posible emplearla para el regadío, pero con precaución, debido al alto contenido de sulfato, el que sobrepasa de las normas establecidas por la NCh 1333/78. Cabe señalar que tanto los iones cloruro como sulfato, son difíciles de eliminar del agua, sin embargo, para emplear el agua de rechazo para regadío de pasto las concentraciones de estos iones no son tan relevantes. La NCh 1333/78 hace hincapié en aguas de regadío para cultivos más delicados y/o para aquellos que posteriormente sean para consumo.

Sin embargo, resulta aconsejable emplear el agua de rechazo por períodos corto de tiempo, para evitar eventuales contaminaciones en el suelo debido a alta presencia de sulfatos y/o utilizar el agua de rechazo algunos días de la semana y los demás días regar con agua que comúnmente se emplea (agua dura), lo cual permitirá el lavado del suelo del exceso de sales que se está incorporando, que el pasto y plantas obtengan los nutrientes del agua de rechazo y que no se tenga que utilizar un sistema para eliminar el exceso de sulfato presente en el agua.

## V.- CONCLUSIONES

- Se cumplieron con todos los objetivos propuestos durante el desarrollo de este Seminario de título.
- Fue posible la identificación de siete puntos críticos de pérdidas de agua dentro de la Planta productiva UHT, los que en general presentan una contaminación térmica, química y física.
- A los siete puntos críticos identificados se les hizo análisis fisicoquímicos, los cuales fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, aceites y grasas, DBO, Nitrógeno de Kjeldhal, Oxígeno disuelto y Dureza total.
- Internacionalmente se acepta un porcentaje de pérdidas de agua en una industria Láctea de entre un 10 a un 20%; en la Planta UHT se tiene un porcentaje de pérdidas (solo de los equipos que fue posible su medición) de un 15,5 %, este valor aumenta al considerar los demás equipos no son posibles de medir y el agua utilizada durante el lavado de las máquinas y equipos de proceso.
- Desde enero de 2012 a diciembre de 2013, la relación de cantidad de agua utilizada y la cantidad de leche producida sobrepasa el valor mínimo establecido por la PNUMA el cual es de 1,3 m<sup>3</sup> de agua/tonelada de leche. Sin embargo, en varios meses se observa que se tiene un valor que no sobrepasa el valor máximo establecido por la PNUMA (3,2 m<sup>3</sup> de agua /tonelada de leche).
- Es posible reutilizar el agua de proceso que se pierde desde máquinas y equipos, sin embargo, es necesario bajar su temperatura, disminuir la concentración de sólidos disueltos y suspendidos y además realizar ajuste de pH. Por lo tanto una alternativa de

reutilización es tratarla de forma física (filtración, floculación, sedimentación) y bajar su temperatura en torres de enfriamiento.

- Un tratamiento más completo del agua para volver a ser reutilizada es mediante la instalación de filtros de carbono activado, el cual reduce tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos.
- Como proyección a este trabajo de Seminario de Título, resulta aconsejable complementar el análisis fisicoquímico del agua con un análisis microbiológico.
- Según los análisis realizados al agua de rechazo, es posible emplearla para el regadío, pero con precaución, debido al alto contenido de sulfato, el que sobrepasa de las normas establecidas por la NCh 1333/78.
- Al reducir la cantidad de agua de pérdida de los equipos de proceso, se reduce la cantidad de RIL que llega hasta la planta de RILes ubicado en las inmediaciones de la industria láctea, lo cual conlleva a la reducción de costos en tratamiento de éstos.

## VI.- REFERENCIAS

**Andia Y, 2010.** Tratamiento del agua: Coagulación y Floculación, SEDAPAL Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Lima, Perú.

**Banco Mundial, 2011** - Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Banco Mundial. pp 18-19.

**Barrenechea A& Vargas L, 2012.** Tratamiento de agua para consumo humano; Plantas de filtración rápida. Capítulo 4: Coagulación. Lima, Perú, pp 153-161.

**Bello M.A. & Pino M.I., 2000.** Medición de Presión y Caudal, Centro Regional de Investigación Kampenai, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Boletín INIA N° 28, ISSN 0,717-4829, pp- 9-13.

**Centro de Producción más Limpia, 1994** - Manual de Buenas Prácticas Operativas de Producción más limpia para la Industria Láctea. Proarca, Programa Ambiental Regional de Centroamérica, pp 6.

**Clegg M. & Laclette J.P, 2012.** Diagnóstico del agua en Latinoamérica. Red Iberoamericana de Academias de Ciencias. Foro Consultivo, Científico y Tecnológico, AC. ISBN 978-607-921-04-4, pp 5.

**Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), 2009.** Desarrollo minero en Chile: Análisis y Desafíos, Recopilación de Estudio 2009. Gestión del Recurso Hídrico y la minería en Chile. "proyección consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020". Dirección de estudios y políticas públicas, COCHILCO, pp 15-16.

**Comisión Nacional de Medio Ambiente, 1998.** Guía para el control de la contaminación industrial. Industria Láctea. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Santiago de Chile, pp 4, 6 - 7.

**Cortés I. & Montalvo S., 2009.** Aguas: Calidad y Contaminación. Un enfoque químico ambiental, ISBN 978-956-332-546-1. pp 22, 31, 44 - 45, 53, 55.

**Dirección general de aguas (DGA), 1999** - Política nacional de recursos Hídricos, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

**Droste R, (1997).** Theory And Practice Of Water And Waste Water Treatment. Editorial Jhon Wiley and Sons Inc., pp 513-543.

**Estrategia Nacional de Recursos hídricos, 2012.** Chile cuida su Agua, pp 5-9.

**Fernández y Col, 2000.** Manual de Fitorremediación. Filtros de macrofitas en flotación. Grupo de Agroenergética del Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, pp 19 – 20.

**Gandarillas L., Sánchez T. y Serrano R., 2009.** Estación depuradora de aguas residuales de una industria láctea. Escuela de Organización Industrial, Escuela de Negocios, España, pp 7.

**Gómez A. & Díaz B., 2011.** Análisis de la problemática de aguas residuales en la región de Texcoco, Estado de México. Vol 3, número 11.

- González C, (2011).** El pH. Monitoreo de la Calidad del agua. Colegio de Ciencias agrícolas. Servicio de Extensión agrícola. Universidad de Puerto Rico. Servicio de Extensión agrícola, Escuela de ciencias agrícolas.
- Goyenola G, (2007).** Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, Conductividad. RED MAPSA. Versión 1.0.
- Larraín S & Poo P, 2010.** Conflictos por el Agua en Chile. Entre los Derechos Humanos y las Reglas del Mercado, ISBN 978-956-7889-426. pp 15.
- Murphy J.& Riley J.P, 1962.** A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters.
- Nevarez M.E., 2010.** Optimización del proceso de regeneración de la resina de intercambio iónico para ser utilizados en el desmineralizador de agua de refinería estatal Esmeralda. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, escuela de Ingeniería Química, pp 32.
- Rodríguez R.& Rodríguez S. A., 2010.** La dureza del Agua. Facultad Regional de Bahía Blanca. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos aires, Argentina. Editorial Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe), pp 16-17.
- Salazar M.F., 2003.** Situación de los Recursos Hídricos en Chile, Reporte de Investigación. Santiago, Chile.
- Sánchez J.L., 2010.** Biología de 2° de Bachillerato, IES PANDO, Bloque I: Biomoléculas, Capítulo I-3: El agua, Oviedo, España, pp 1-3.
- Secretaría de Fomento y Comercio Industrial, 2000.** Dangerous Goods de México. X-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de la conductividad eléctrica. Método de prueba. pp 1.
- Secretaría de Fomento y Comercio Industrial, 2000.** Dangerous Goods de México. NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba, pp 2.
- Secretaría de Fomento y Comercio Industrial, 2001.** Dangerous Goods de México. NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba, pp 1-2.
- Urbano Terron P, 1995.** Tratado de fitotecnia general. Edición Mundi-Prensa.
- Unesco, 2007.** Agua para todos; Agua para la vida. Informe de la Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Ediciones UNESCO, Mundi-Prensa.

## VII.- ANEXOS

### 7.1.- Anexo 1. Agua de proceso Planta UHT

**Tabla 22. Cantidad de agua utilizada en Planta UHT durante año 2012 y 2013.**

Mes	Agua Dura (m <sup>3</sup> /mes)	Agua de Blanda (m <sup>3</sup> /mes)	Agua Osmosis (m <sup>3</sup> /mes)	Total (m <sup>3</sup> /mes)
Enero 2012	9073	26281	3917	39271
Febrero 2012	6498	35871	4307	46676
Marzo 2012	7584	35715	5066	48365
Abril 2012	7182	30477	3989	41648
Mayo 2012	8666	34031	2229	44926
Junio 2012	4126	30922	4574	39622
Julio 2012	3451	29331	3748	36530
Agosto 2012	5022	29035	4824	38881
Septiembre 2012	4230	23031	4770	32031
Octubre 2012	5715	32039	5664	43418
Noviembre 2012	7109	30851	5209	43169
Diciembre 2012	11644	28337	4587	44568
Enero 2013	10192	29849	4014	44055
Febrero 2013	12005	29004	4298	45307
Marzo 2013	13862	29196	5177	48235
Abril 2013	5393	30376	4748	40517
Mayo 2013	4750	30407	5127	40284
Junio 2013	5110	28660	5002	38772
Julio 2013	4222	29729	4270	38221
Agosto 2013	4674	30557	3386	38617
Septiembre 2013	4370	27595	3368	35333
Octubre 2013	6951	30241	4225	41417
Noviembre 2013	9014	24580	4170	37764
Diciembre 2013	9303	18626	5078	33007

**Tabla 23. Producción de Planta UHT durante año 2012 y 2013.**

Mes	Producción (ton/mes)
Enero 2012	14451
Febrero 2012	13672
Marzo 2012	12301
Abril 2012	14301
Mayo 2012	13154
Junio 2012	13899
Julio 2012	14565
Agosto 2012	13656
Septiembre 2012	12198
Octubre 2012	14202
Noviembre 2012	13112
Diciembre 2012	14002
Enero 2013	14429
Febrero 2013	13711
Marzo 2013	12216
Abril 2013	14178
Mayo 2013	13099
Junio 2013	13987
Julio 2013	14438
Agosto 2013	13679
Septiembre 2013	12216
Octubre 2013	14213
Noviembre 2013	13107
Diciembre 2013	13964

## 7.2.- Anexo 2. Agua de puntos críticos

**Tabla 24. Métodos de análisis de parámetros físico químicos realizados a agua de puntos críticos.**

Normativa	Número	Año	Título
NCh	2313/1	1995	Aguas residuales - Métodos de análisis. Parte 1: Determinación de pH.
NCh	2313/2	1995	Aguas residuales - Métodos de análisis. Parte 2: Determinación de la temperatura.
NCh	2313/3	1995	Aguas residuales - Métodos de análisis. Parte 3: Determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103°C - 105°C.
NCh	2313/5	2005	Aguas residuales - Métodos de análisis. Parte 5: Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.
NCh	2313/6	1997	Aguas residuales - Métodos de análisis Parte 6: Determinación de aceites y grasas.
NCh	2313/24	1997	Aguas residuales - Métodos de análisis – Parte 24: Determinación de la demanda química de oxígeno.
NCh	2313/25	1997	Aguas residuales - Métodos de análisis – Parte 25: Determinación de metales por espectroscopía de emisión de plasma - Método de plasma acoplado inductivamente (I.C.P.)
NCh	2313/28	1998	Aguas residuales - Métodos de análisis. Parte 28: Determinación de nitrógeno Kjeldahl-Método potenciométrico con digestión previa.

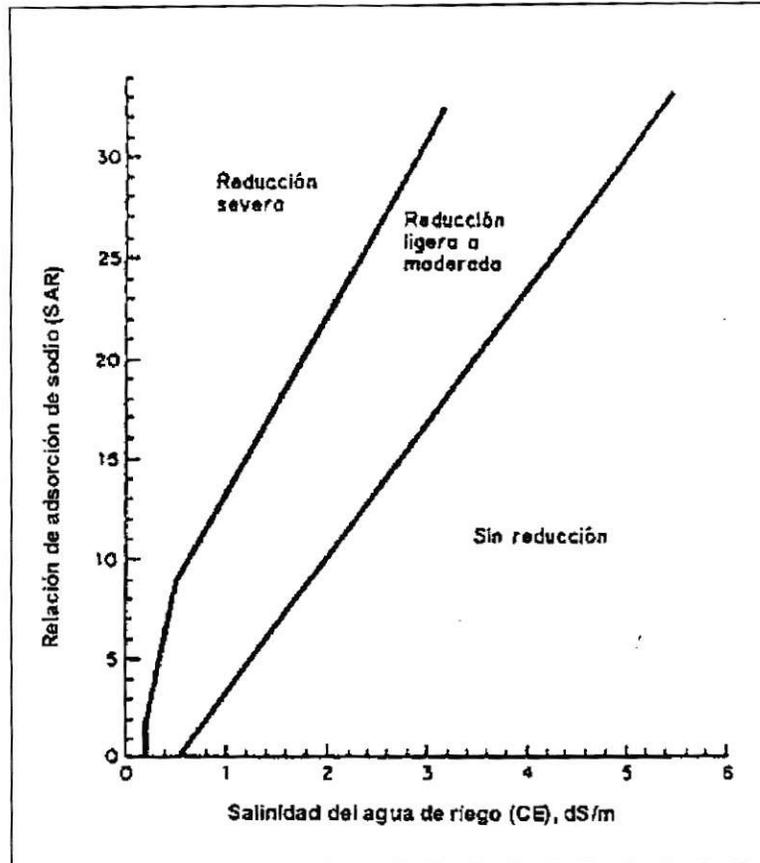
### 7.3.- Anexo 3. Análisis Agua de Rechazo

**Tabla 25. Caracterización del agua de Rechazo según Norma Chilena 409/2005.**

Parámetro	Resultado	Requisito Normativo	LD
2-4 D (µg/L)	< 3,11	≤ 30	0,94
Amoniaco (mg/L)	< 0,010	≤ 1,5	0,01
Arsénico Total (mg/L)	< 0,00297	≤ 0,01	0,00042
Benceno (µg/L)	< 2,00	≤ 10	0,61
Bromodichlorometano (mg/L)	≤ 0,00044	≤ 0,06	0,00013
Cadmio Total (mg/L)	< 0,00025	≤ 0,01	0,00025
Cianuro (mg/L)	< 0,001	≤ 0,05	0,001
Cloro libre residual (mg/L)	0,03	0,2 – 2,0	---
Cloruro (mg/L)	1,34	≤ 400	0,101
Cobre total (mg/L)	< 0,00162	≤ 2	0,00162
Coliformes totales (NMP/ 100 mL)	< 1	< 1	1
Cromo Total (mg/L)	0,01320	≤ 0,05	0,00042
DDT + DDD + DDE (µg/L)	< 0,026	≤ 2	0,008
Dibromoclorometano (mg/L)	< 0,00039	≤ 0,1	0,00012
E. Coli (NMP/ 100 mL)	< 1	< 1	1
Fluoruro (mg/L)	0,057	≤ 1,5	0,003
Hierro total (mg/L)	< 0,02	≤ 0,3	0,02
Lindano (µg/L)	< 0,021	≤ 2	0,006
Magnesio total (mg/L)	32,755	≤ 125	0,35
Mercurio (mg/L)	< 0,00013	≤ 0,001	0,00013
Metoxicloro (µg/L)	< 0,024	≤ 20	0,006
Monocloraminas (mg/L)	< 0,02	≤ 3	0,02
Nitrato (mg/L)	41,1	≤ 50	0,203
Nitrito (mg/L)	< 0,039	≤ 3	0,039
Olor	Inodora	---	---
Pentacloro fenol (µg/L)	< 2,37	≤ 9	0,72
pH	7,6	6,5 – 8,5	---
Plomo total	< 0,00045	≤ 0,05	0,00045
Sabor	Insípido	---	---
Selenio total (mg/L)	0,00148	0,01	0,00104
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1028	≤1500	6
Sulfato (mg/L)	331	≤500	0,112
Temperatura (°C)	18,2	---	---
Tetracloroetano (µg/L)	0,92	≤ 40	0,28
Tolueno (µg/L)	< 2,000	≤ 700	0,61
Triclorometano (mg/L)	0,00070	≤ 0,200	0,0002
Trihalometanos (mg/L)	< 0,100	≤ 1	---
Xilenos totales (µg/L)	< 5,00	≤ 500	1,52
Zinc totales (mg/L)	< 0,00198	≤ 3	0,00198

**Tabla 26. Caracterización del agua de Rechazo según Norma Chilena 1333/78.**

Parámetro	LD	Límite máximo	Primera medición (04/06/2013)	Segunda medición (06/06/2013)
Aluminio (mg/L)	0,017	5,00	< 0,017	< 0,017
Arsénico (mg/L)	0,010	0,10	< 0,010	0,02
Bario (mg/L)	0,012	4,00	0,067	0,016
Berilio (mg/L)	0,002	0,10	< 0,002	< 0,002
Boro (mg/L)	0,05	0,75	0,41	0,10
Cadmio (mg/L)	0,002	0,010	< 0,002	< 0,002
Calcio (mg/L)	0,52	---	387,43	156,52
Cianuro (mg/L)	0,018	0,20	< 0,018	< 0,018
Cloruro (mg/L)	8	200,0	254	131
Cobalto (mg/L)	0,006	0,050	< 0,006	< 0,0006
Cobre (mg/L)	0,014	0,20	< 0,014	0,137
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	2	< 1000	< 2	< 2
C.E (µS/cm)	---	---	2135,00	1232,00
Cromo (mg/L)	0,024	0,10	< 0,024	< 0,024
Fluoruro (mg/L)	0,003	1,00	0,166	0,077
Hierro total (mg/L)	0,03	5,00	1,10	0,13
Litio total (mg/L)	0,006	2,50	< 0,006	0,086
Magnesio (mg/L)	0,064	---	74,453	33,526
Manganeso (mg/L)	0,012	0,20	0,032	< 0,012
Mercurio (mg/L)	0,0003	0,001	< 0,0003	< 0,0003
Molibdeno (mg/L)	0,010	0,010	< 0,01	< 0,01
Níquel (mg/L)	0,012	0,20	< 0,012	< 0,012
pH	---	5,5 - 9,0	7,9	7,6
Plata (mg/L)	0,006	0,20	< 0,006	< 0,006
Plomo (mg/L)	0,012	5,00	< 0,012	< 0,012
Potasio (mg/L)	0,107	---	11,362	6,642
RAS	---	---	2,399	1,643
Selenio total (mg/L)	0,009	0,020	< 0,009	0,010
Porcentaje de sodio (% Na)	---	35,0	24,808	25,873
Sodio total (mg/L)	0,176	---	198,338	87,598
Sólidos Suspendidos (mg/L)	4	---	2300	1030
Sulfato (mg/L)	3	250,0	768	359
Temperatura (°C)	---	30,0	20,4	20,0
Vanadio (V)	0,002	0,10	0,006	< 0,002
Zinc (Zn)	0,028	2,00	0,069	< 0,028



**Figura 14. Salinidad del agua de regadío en función de relación de absorción de sodio (RAS).**

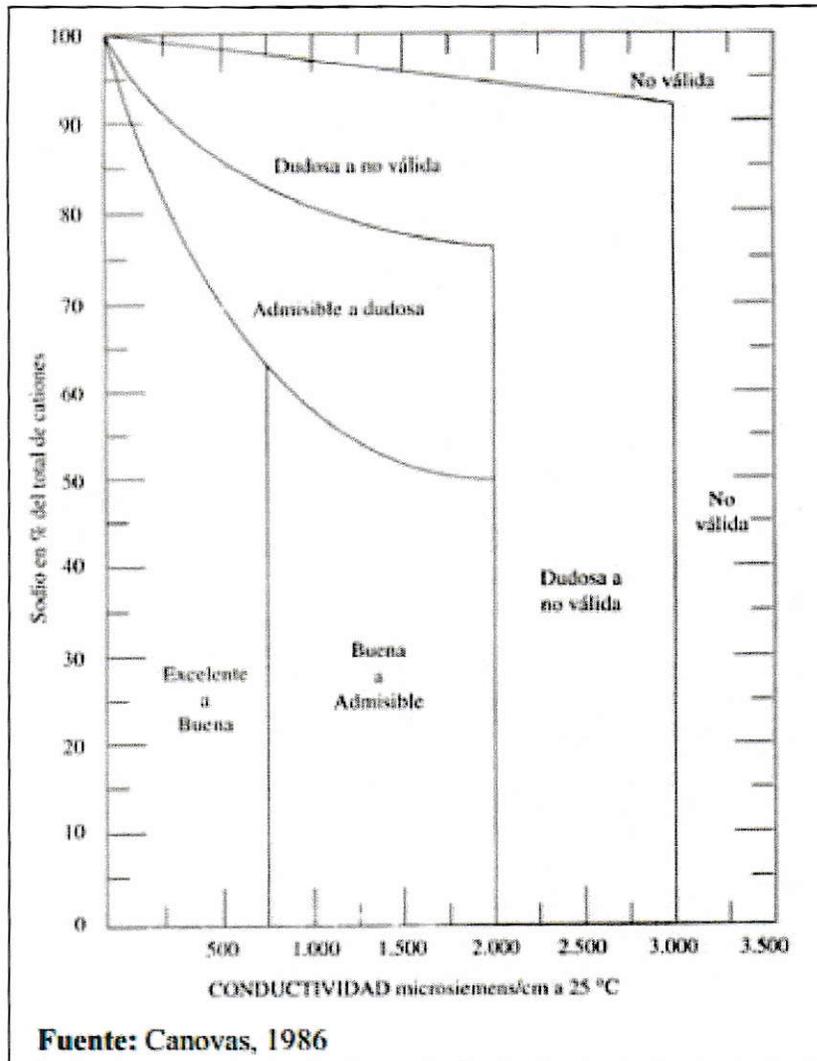


Figura 15. Diagrama de Scholer.

Constituyentes	Guía Australiana y Neozelandesa		SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES	BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES	CANADIAN ENVIRONMENTAL WATER QUALITY	US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY		FAO	NCh 1333 of 78	Guía CONAMA N.C.A. Aguas Continentales Clase 3	Proposición U. de Chile 2005	Comentarios	OBS.
	Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)				Largo Plazo (100 años)	Corto Plazo (20 Años)						
Boro [mg/l B]	0.5	*	0,5	0,5	0,5 -- 6,0	0.75	2	0,7 -- 3	0.75	0.75	0.5	Utilizar para cualquier cultivo	3
											0,5 -- 1,0	Cultivos muy sensibles	
											1,0 -- 2,0	Cultivos sensibles	
											2,0 -- 4,0	Moderadamente Sensibles	
											4,0 -- 6,0	Moderadamente Tolerantes	
6,0 -- 15,0	Muy Tolerantes												
Cloruros [mg/l Cl]	-	-	100	100	100 -- 700	-	-	-	200	200	100	Límite recomendado para cultivos sensibles.	4
											350	Recomendado para cultivos tolerantes.	
											700	Recomendado para cultivos muy tolerantes y riego por cortos periodos de tiempo.	
Sulfatos [mg/l SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ]	-	-	-	--	-	-	-	-	250	1000	500	Se recomienda un valor de 500 mg/l para asegurar la posibilidad de riego irrestricto.	5
											1000 -- 1500	Requiere Prácticas de manejo Cuidadosas	
											2000 -- 2500	Cultivos tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	

Figura 16. Características de agua de regadío según concentración de iones.

Fuente: Universidad de Chile y Servicio Agrícola Ganadero, 2005.