



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

Propuesta para planta de quesos Quillayes Surlat para el cumplimiento de índices de consumo de agua y DBO_5 en residuos industriales líquidos.

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: FELIPE BOTTO GALDAMES

PROFESOR GUÍA: Ociel Cofre

Valparaíso, 2024

Resumen

La empresa Quillayes Surlat (fusionada en el año 2019 por las empresas del mismo nombre) posee una planta de producción de queso ubicada en Loncoche, región de la Araucanía, en la cual se llevan a cabo procesos de producción de diferentes tipos de quesos, lo que genera residuos industriales líquidos. Esta planta tiene dificultades para cumplir con los parámetros de vertido de riles al alcantarillado debido a que sus residuos industriales líquidos vertidos presentan una alta demanda biológica de oxígeno excediendo el índice de DBO_5 establecido por el D.S N°609 en conjunto a volúmenes de descarga al alcantarillado mayores a lo establecido por el contrato de Aguas Araucanía a la empresa Quillayes Surlat de $504 \text{ [m}^3/\text{día]}$, por lo que la planta de producción de quesos está en la necesidad de una mejora de estos índices. Para lo anterior, primero se realizó una caracterización de las diferentes zonas de producción, zonas de consumo de agua y área de tratamiento de riles de la planta, y luego un diagnóstico de la planta para identificar las deficiencias operacionales y de consumos de agua que tiene la planta, para que de esta manera se pueda generar una alternativa operacional o tecnológica (o ambas) para remediar estas deficiencias y así cumplir con los parámetros de vertido de residuos industriales líquidos dados por Aguas Araucanía y el D.S N°609. Con lo anterior se pudo estimar una descarga de $6.812 \text{ [m}^3]$ de RIL para el mes observado en comparación de lo reportado de $13.715 \text{ [m}^3]$, un sobrepaso de DBO_5 en 16 días para el mes de febrero (mayor a $300 \text{ mg/l } DBO_5$), en base a estos valores, se propone un sistema de lodos activados para disminuir el índice de DBO_5 presentando un volumen de reactor de $117.51 \text{ [m}^3]$ con un consumo de aire de $14.334,6 \text{ [m}^3/\text{día]}$, finalmente el costo de esta propuesta tecnológica es de 1181,73 UF.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Producción de queso	1
1.1.1	Recepción	1
1.1.2	Tratamiento	2
1.1.3	Coagulación de queso.....	2
1.1.4	Corte y extracción de suero.....	3
1.1.5	Prensado de queso	4
1.1.6	Salado	4
1.2	Maduración de queso	5
1.3	Producción de ricota.....	6
1.3.1	Coagulación de Albúmina y globulina	6
1.3.2	Separación de suero de la ricota	7
1.4	Concentración de suero OR	7
1.5	Limpieza de equipos	9
1.5.1	CIP.....	9
1.5.2	Sistema o central CIP	10
1.6	Tratamiento de residuos industriales líquidos	11
1.6.1	Tratamiento primario	11
1.6.2	Tratamiento secundario de residuos industriales líquidos	12
1.6.3	Tratamiento terciario de residuos industriales líquidos.....	12
1.7	Normativa asociada a tratamiento de residuos industriales líquidos	12
2	Problema	13
3	Objetivos	14
3.1	Objetivo general	14
3.2	Objetivos específicos	14
4	Metodología	15
4.1	Caracterización de las zonas de producción, consumo de agua y planta de tratamiento primario y levantamiento de información	15
4.2	Diseño de propuesta tecnológica y operacional.....	16
4.3	Estudio de costos de propuesta tecnológica	18
5	Resultados	20
5.1	Caracterización	20

5.1.1	Área de recepción.....	21
5.1.2	Área de silos	23
5.1.3	Área de pasteurización	24
5.1.4	Área de quesería.....	28
5.1.5	Área de salado	30
5.1.6	Área de producción de ricota	30
5.1.7	Central CIP	31
5.1.8	Sistema de tratamiento primario D.A.F.....	32
5.2	Levantamiento de datos de consumos de agua y aporte de riles	33
5.2.1	Área de recepción.....	33
5.2.2	Área de silos	35
5.2.3	Área de pasteurización	36
5.2.4	Área de quesería.....	38
5.2.5	Área de saladero.....	39
5.2.6	Área de ricota	39
5.2.7	RIL aportados por el sistema de lavado CIP	40
5.2.8	Riles de la planta de tratamiento primario	40
5.3	Propuesta operacional/ tecnológica.....	43
5.3.1	Área de recepción.....	43
5.3.2	Área de silos	46
5.3.3	Área de pasteurización	48
5.3.4	Evaluación de disminución de RIL a la planta de tratamiento.	49
5.3.5	Propuesta técnica de “Lodos activados de mezcla completa”	50
5.3.6	Estudio de costos para planta de lodos activados	54
6	Discusión	59
7	Conclusiones.....	63
8	REFERENCIAS.....	64

Índice de Figuras

Figura 1 Planta de producción de quesos Quillayes Surlat ubicada en la comuna de Loncoche. Fuente: Google Earth s.f.....	1
Figura 2 Tina industrial para la producción de queso. Fuente: Jorvic s.f.....	3
Figura 3 Separación de granos de queso y suero. Fuente: SkipShapiro Enterprises, 2023	3
Figura 4 Equipo de dosificación de granos de queso a moldes. Fuente: Remma, 2024.....	4
Figura 5 Prensa de molde de queso. Fuente: Tecnical, 2023.....	4
Figura 6 Piscina de salado. Fuente Tecnical, 2024	5
Figura 7 Piscina de salado con queso. Fuente: Tecnical 2024.....	5
Figura 8 Diagrama de flujo de producción de queso.	6
Figura 9 Silos de suero para producción de ricota. Fuente: GoldPack, 2024.....	7
Figura 10 Cinta de drenaje de suero de ricota. Fuente: Comat, 2024	7
Figura 11 Equipo de osmosis reversa. Fuente: Redaspa s.f	8
Figura 12 Diagrama de flujo de osmosis reversa. Fuente: Walton, 2018	8
Figura 13 Diagrama de flujo de producción de ricota y su concentración.....	9
Figura 14 Diagrama de central de lavado Cleaning in Place. Fuente: Sagafluid	11
Figura 15 Metodología de objetivos específicos.....	15
Figura 16 Planta quesera Quiyalles Surlat.....	21
Figura 17 Manguera de limpieza externa de camiones cisterna.	22
Figura 18 Diagrama de flujo línea de leche, área de pasteurización.	25
Figura 19 Diagrama de flujo de Proceso de preparación de suero.	27
Figura 20 Diagrama de flujo de línea de producción de crema.	28
Figura 21 Diagrama de flujo de procesos de quesería.	30
Figura 22 Proceso de creación de ricota.	31
Figura 23 Diagrama de flujo de central CIP de planta de quesos. Fuente: Quillayes Surlat, 2020. ..	32
Figura 24 Diagrama de bloque de sistema DAF	33
Figura 25 Volumen de lavado externo de camiones cisterna.	33
Figura 26 Volumen de lavado CIP para equipos de extracción de leche y proteína.	34
Figura 27 Volumen de lavado de CIP de cisterna y tótem.	35
Figura 28 Volumen total de agua usado para área de recepción.	35
Figura 29 Agua total usada para área de silos.	36
Figura 30 Volumen de lavado CIP de área de pasteurización.	37
Figura 31 Volumen de agua usada para configuración "producción con agua".	37
Figura 32 Volúmenes de lavado CIP y vertido de permeado de equipo de osmosis reversa.	38
Figura 33 Volúmenes de agua presente en área de quesería.....	38
Figura 34 Agua usada en área saladero.	39
Figura 35 Volumen de agua usada en área de ricota.....	40
Figura 36 Comparación del afluente de la planta de tratamiento primario y el área volumen vertido de la planta productora de quesos.	41
Figura 37 Volumen de efluente de planta de tratamiento y su límite de vertido diario.	42
Figura 38 DBO presente en efluente de RIL y su límite diario para la planta de tratamiento.	42
Figura 39 Volúmenes de RIL vertido al alcantarillado y recepción de leche para el mes de febrero.	43
Figura 40 Volumen diario de permeado vertido a RIL.	49

Figura 41 RIL generado en baso a los cambios propuestos comparado con el volumen de RIL sin cambios y el límite de vertido de RIL al alcantarillado..... 50

Índice de Tablas

Tabla 1 Consumo de agua de recetas CIP para lavado de camiones cisterna.	22
Tabla 2 Consumo de agua de recetas de lavado CIP de equipos de extracción de leche y proteína.	23
Tabla 3 Listado de silos de almacenamiento con sus capacidades y contenidos.	24
Tabla 4 Consumo de agua (L) de lavados CIP para silos de almacenamiento.....	24
Tabla 5 Volumen de agua (L) usado en receta CIP pasteurizador de leche - centrífuga.....	26
Tabla 6 Consumo de agua de recetas CIP línea de suero.....	26
Tabla 7 Volúmenes de agua [m ³] usados en lavados CIP de equipo de osmosis reversa.	27
Tabla 8 Volumen de agua usado en receta CIP de equipos de producción de crema.	28
Tabla 9 Consumo de agua de las recetas de lavado CIP de las Tinajas de área de quesería.	29
Tabla 10 Volúmenes de agua usados en lavados CIP de desuerado de tinajas y dosificador.	29
Tabla 11 Volumen de agua de lavado de túneles de prensado.	29
Tabla 12 Consumo de agua de área de salado.....	30
Tabla 13 Listado de tanques de almacenamiento de central CIP.	31
Tabla 14 Lista de tanques de almacenamiento, su volumen y contenido.	35
Tabla 15 Volumen total de soda caustica y ac. nítrico diluido vertido al alcantarillado del sistema CIP para el mes de febrero.	40
Tabla 16 Parámetros de lavado CIP para las 3 recetas de camiones cisterna y tótems.	43
Tabla 17 Parámetros de lavado CIP para equipo de extracción de leche.	44
Tabla 18 Parámetros de lavado CIP para equipo de extracción de proteína.....	45
Tabla 19 Receta nueva para camiones de volumen menor a 20 [m ³].	46
Tabla 20 Parámetros nuevos de receta CIP para los silos 1 - 4.....	47
Tabla 21 Parámetros nuevos para silos de almacenamiento de suero 180 y 280.	47
Tabla 22 Parámetros actuales de lavado CIP para Tks 11 y 12 de almacenamiento de proteína. ...	47
Tabla 23 Agua usada para el mes de febrero para programa de producción con agua.	48
Tabla 24 Parámetros iniciales de diseño de fangos activados.	50
Tabla 25 Parámetros cinéticos para diseño de reactor de tratamiento de lodos activados. Fuente: Kiely et al. (1999).....	51
Tabla 26 Parámetros para cálculo de Aire necesario.....	52
Tabla 27 Consumo de energía de iluminación y su potencia según caudal. Fuente: SSIS 2007	55
Tabla 28 Tarifas eléctricas para el 1 de mayo año 2024. Fuente: CGE 2024	55
Tabla 29 Parámetros de seguimiento y su frecuencia mensual. Fuente: SSIS 2007	56
Tabla 30 Precio en uf de prueba de monitoreo y el total anual para cada uno. Fuente: SSIS 2007. 56	
Tabla 31 Cargo con su jornada y sueldos asociados anualmente. Fuente: mifuturo 2024	57
Tabla 32 Cargos y su descripción asociada. Fuente: SSIS 2007	57

Glosario

Camión cisterna	Camión destinado al transporte de líquidos
Caseína	Proteína presente en la leche de mamíferos (en este caso vacas)
CIP	Cleaning In Place, sistema de lavado interno automatizado de equipos
Coagular	Hacer que se solidifique una sustancia albuminosa disuelta en un líquido, especialmente la leche o la sangre
Cuajo	Fermento usado para el cuajar de la leche
DAF	Dissolved Air Flotation, Sistema de tratamiento primario de efluente industriales, haciendo uso de burbujas para la extracción de sólidos no disueltos en el efluente
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno, cantidad de oxígeno consumido por microorganismo en un periodo de cinco días.
Efluente	Caudal que fluye desde una instalación
Glicomacropéptido	Referido a la molécula creada a partir de la kappa caseína para la elaboración de queso.
Grano de queso	Partes sólidas de leche cuajada.
Inocuidad	Incapacidad de hacer caño, referido a la necesidad de la industria alimentaria de producción de alimentos sin la capacidad de hacer daño a las personas.
kappa caseína	También referido como k-caseína es una fosfoproteína presente en la leche.
Leche Cruda	Leche proveniente de un animal que no ha sido pasteurizada
Micelas de caseína	Estructuras sólidas y esponjosas presentes en la caseína con la función principal de fluidificar las moléculas de caseína.
Moldeo	En la industria de quesos, el moldeo se refiere a la colocación de granos de quesos en moldes para dar forma final al queso.
OR	Referente a Ósmosis Reversa, equipo usado en la industria de quesos para la concentración de suero.
Prensado	Proceso en el cual se le aplica presión a los granos de quesos presentes en el molde para la extracción final de suero presentes en los granos y darles forma a los granos.
RIL	Residuo Industrial Líquido, referido a aguas de desecho resultante de procesos, actividad o servicios de la industria.
Salado	Referente al proceso de la industria de queso en el cual se sumerge el queso prensado en una salmuera.
Salmuera	Cualquier solución de agua y sal con una concentración mayor al 5%.
Suero	Obtenido al llevar a cabo la coagulación de la leche, es el líquido resultante proveniente de la producción de queso.
Tanque equalizador	Referido a proceso de tratamiento de aguas, es un tanque en donde ocurre la homogeneización del flujo entrante a una planta de tratamiento de RIL.

Receta

Conjunto de etapas, con parámetros de tiempo y porcentaje de uso de bomba para lograr a cabo un lavado CIP

1 Introducción

La empresa Quillayes fundada en el año 1958 se dedicaba a la creación de quesos. Con el paso del tiempo en el año 2001 fue fundada la empresa de Surlat la cual se dedicaba a producir productos lácteos. En el año 2019 estas empresas se fusionaron formando la empresa Quillayes Surlat, la cual tiene una planta ubicada en la ciudad de Loncoche, región de la Araucanía (ver Figura 1), la que produce diferentes tipos de queso (gouda, mantecoso, gruyere, parmesano, chanco y mozzarella), mediante un proceso general que incluye fermentado, cuajado, moldeado, prensado, salado y maduración de la leche, generando queso y suero. Luego de este proceso, el queso es trasladado a otra planta para su corte y empaque, y el suero es usado para la producción de ricota; el suero proveniente de la producción de ricota es concentrado y usado en otros productos lácteos fuera de la planta.

La planta de quesos Quillayes Surlat genera residuos industriales líquidos por medio de sus procesos, los cuales supera el volumen permitido por el contrato que tiene la empresa aguas Araucanía y carga orgánica de los residuos industriales líquidos (en base al índice de DBO_5) establecida por el D.S N°609 de 300 [mg/l] de DBO_5 .



Figura 1 Planta de producción de quesos Quillayes Surlat ubicada en la comuna de Loncoche. Fuente: Google Earth s.f

1.1 Producción de queso

Para la producción de queso en cualquier planta se siguen los pasos detallados a continuación.

1.1.1 Recepción

La obtención de materia prima de cualquier planta de quesos se hace en base a camiones cisterna que transportan la leche proveniente de granjas lecheras. Esta etapa del proceso tiene el objetivo de transferir la leche proveniente de los camiones cisterna a los silos de almacenamiento para su pronto tratamiento. Debido a la necesidad de inocuidad para este producto alimentario, se requiere que todo camión cisterna que ingrese a las plantas de producción de queso y que haya descargado

su materia prima, tenga que pasar por un lavado externo e interno para eliminar la presencia de material particulado y de microorganismos del equipo y así evitar contaminación del producto (BLOGMADDELTRANSPORTS. 2018). Las acciones de limpieza hacia este equipo generan residuos industriales líquidos.

1.1.2 Tratamiento

La leche cruda proveniente de camiones cisterna en la etapa de recepción, es almacenada en silos que han sido lavados previamente para mantener la inocuidad del producto. El tratamiento de la leche cruda consiste en la estandarización de la concentración de proteínas y grasas en la leche, donde una centrífuga separa la leche de sus contenidos sólidos, para luego reintegrarse a la leche a las concentraciones deseadas para la producción (Guinee *et al.*, 2006), y en la eliminación de microorganismos, proceso llamado pasteurización, en donde la leche sufre un aumento de temperatura entre 62 - 73 °C, seguido por un enfriamiento (Peng *et al.*, 2017). Los equipos usados en la estandarización y pasteurización de la leche tienen que ser lavados periódicamente, para evitar la contaminación de la leche por microorganismos u otras sustancias, generando así residuos industriales líquidos.

1.1.3 Coagulación de queso

Proceso en el cual comienza su transformación en queso. La coagulación puede ser por acidez, en la cual las caseínas coagulan por efecto del pH ácido producido por bacterias lácticas o por el añadido de productos de pH ácidos. El producto tiene características como ser parcialmente desmineralizado, poroso, friable y poco contráctil.

La coagulación puede ser enzimática (se utilizan enzimas coagulantes), donde la cuajada obtenida tiene una característica mineralizada, compacta, flexible, contráctil, elástica e impermeable. El cuajo tiene la propiedad de romper la molécula kappa caseína a nivel del enlace entre los aminoácidos 105-106 fenilalanina-metionina, lo cual inestabiliza las micelas y provoca la coagulación de la leche dándose la formación de la cuajada, que al final del proceso dará origen al queso. Como resultado de la acción enzimática sobre la caseína kappa se forma un glicomacropéptido (aminoácidos 105-169) soluble en el suero y una “parakappa caseína” que forma parte de la cuajada.

La coagulación en sí se da por la acción del calcio sobre las micelas de caseínas desestabilizadas. Posteriormente se da la sinéresis de la cuajada la cual sucede por un reforzamiento de los enlaces que unen las micelas y por la formación de nuevos enlaces, lo cual produce una contracción que libera suero (Eck, 1990), el cual puede ser recuperado para la creación de otros productos o también puede ser perdido entre los procesos, generando un aumento en la carga orgánica de los residuos industriales líquidos de una planta.

Industrialmente se hace el uso de “tinas”, las cuales están diseñadas para la elaboración de la cuajada de los quesos por medio del proceso de coagulación mencionado en el punto anterior. Este equipo es de acero inoxidable con doble fondo para la inyección de vapor o de agua (Lactoequipos, 2017), ambos (vapor y agua) son necesarios para la producción de cuajada (equipo que se puede observar en la Figura 2), se necesita tener superficies de contacto del producto libres de microorganismo lo cual es llevado a cabo por lavados internos antes de la producción, donde se generan residuos industriales líquidos provenientes del lavado siendo estos restos orgánicos de leche y detergentes.



Figura 2 Tina industrial para la producción de queso. Fuente: Jorvic s.f

1.1.4 Corte y extracción de suero

Una vez obtenida la cuajada, se inicia el proceso de desuerado o extracción de suero que consiste en la eliminación del suero obtenido mecánicamente, separando los flujos de suero y granos de queso mediante filtros como se puede observar en la Figura 3 y para luego dosificar los granos de queso en moldes para su prensado que se puede ver en la Figura 4, luego de finalizado la dosificación de granos de queso se hace un lavado interno el cual genera residuos industriales líquidos.



Figura 3 Separación de granos de queso y suero. Fuente: SkipShapiro Enterprises, 2023



Figura 4 Equipo de dosificación de granos de queso a moldes. Fuente: Remma, 2024

1.1.5 Prensado de queso

El prensado de queso se realiza con el fin de darle al queso la forma deseada. El queso no debería pegarse en las paredes del molde por lo que el molde debe tener una tela. Usualmente estos moldes están elaborados con acero inoxidable, madera o plástico, siendo los últimos dos materiales más baratos, pero con más difícil higienización.

El prensado permite la eliminación de suero (que puede ser recuperado o vertido al alcantarillado) y darle al queso la consistencia final deseada. No todos los quesos son prensados mecánicamente como se puede observar en la Figura 5, algunos tipos de quesos son colocados en una mesa para que su propio peso actúe como prensa (prensado por gravedad) (Lactoequipos, 2017). Estos equipos al tener contacto con el queso tienen que ser lavados periódicamente para garantizar la inocuidad del producto generando residuos industriales líquidos.



Figura 5 Prensa de molde de queso. Fuente: Technical, 2023

1.1.6 Salado

Salado en salmuera: la mayoría de los quesos se salan por este método. El queso ya moldeado se sumerge a una solución saturada de sal (ver Figura 6) a través de equipos similares al observado en la Figura 7, preparada con agua potable la cual debe ser pasteurizada y mantenida a temperaturas

de 8 a 10°C, el tiempo que permanecerán los quesos sumergidos depende de su tamaño y del contenido de sal deseado. Se debe tener en cuenta que el queso absorbe la sal y pierde la humedad provocando que la salmuera pierda potencia, por lo que debe ser estandarizada añadiendo sal nuevamente. Cada cierto tiempo esta salmuera debe ser filtrada y pasteurizada para asegurar su calidad microbiológica, además, debe ser controlado su pH el cual varía por la liberación de ácido láctico de los quesos. Por otro lado, los equipos de filtrado al igual que la piscina de salado tienen que ser lavados para mantener la inocuidad del producto generando residuos industriales líquidos. (Lactoequipos, 2017).



Figura 6 Piscina de salado. Fuente Tecnical, 2024

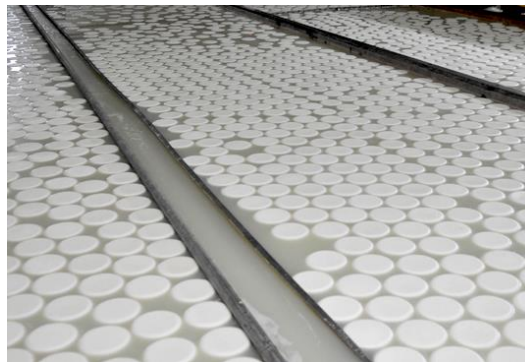


Figura 7 Piscina de salado con queso. Fuente: Tecnical 2024

1.2 Maduración de queso

La maduración es un periodo que puede durar de algunos pocos días a varios meses e incluso un año o más, en el que, los quesos permanecen almacenados bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad según el tipo de queso, con el fin de permitir el desarrollo de productos provenientes del metabolismo de la grasa, proteínas y azúcares por la acción de las enzimas microbianas, naturales o añadidas y que le confieren al queso el sabor y aroma característico.

Factores que afectan la maduración (Lactoequipos, 2017)

- Contenido de humedad: el agua libre determina la velocidad de las reacciones y favorece el crecimiento microbiano.
- pH: controla el tipo de fermentaciones y la velocidad de las reacciones enzimáticas.

- Temperatura: se recomienda a bajas temperaturas (menores a 20°C) para que el proceso de maduración sea más lento y controlable.
- Contenido de sal: afecta en la disponibilidad del agua y por lo tanto también el crecimiento microbiano, su concentración provocan la proliferación de bacterias que pueden resistir estas concentraciones de sal.
- Contenido de oxígeno del aire en cámara de maduración: la cámara debe tener un contenido constante de oxígeno en la cámara de maduración ya que la falta de este provoca que los organismos aerobios en el queso produzcan químicos como el amoníaco.

Para una visión general a lo que se refiere a la producción de queso explicada en los párrafos anteriores, se pueden visualizar de manera esquemática con el diagrama de flujo de la Figura 8.

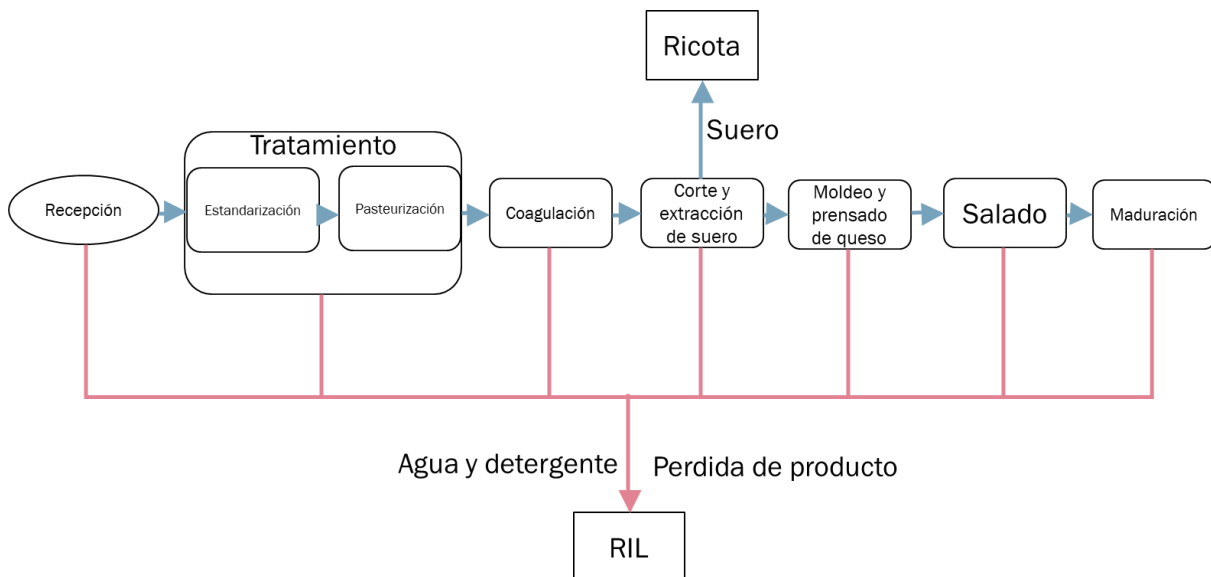


Figura 8 Diagrama de flujo de producción de queso.

1.3 Producción de ricota

En términos generales el suero o lactosuero usado para la producción de ricota posee un 55% de los nutrientes originales de la leche, los cuales corresponden al 96% de la lactosa en la leche, 25% de la proteína y 8% de la materia grasa en donde solo la proteína es la que se usa para la producción de ricota (Smithers, 2008; Yadav et al., 2015)

1.3.1 Coagulación de Albúmina y globulina

La ricota es producida en base a suero de pH de 6,4-6,5 proveniente de los procesos mencionados anteriormente, el cual es calentado de 10 a 20 minutos a 70°C (para coagular las proteínas presentes en el suero) en silos como los observados en la Figura 9. Este proceso es realizado para la separación de la ricota y el suero restante que queda dentro de los silos, luego del proceso, tiene que ser lavado para la siguiente producción de ricota generando residuos industriales líquidos.



Figura 9 Silos de suero para producción de ricota. Fuente: GoldPack, 2024

1.3.2 Separación de suero de la ricota

La ricota es separada del suero al pasar por un túnel con un cinturón de transporte con perforaciones para que el suero pueda percolar por éste y ser recuperado para su próxima concentración (Priamo, 2021) en equipo similar al de la Figura 10. En este proceso el suero separado de la ricota es recuperado por el “separador de suero de ricota” (presente en la Figura 10), donde una vez acabado este proceso el equipo es lavado para mantener su inocuidad, de esta manera generando residuos industriales líquidos.



Figura 10 Cinta de drenaje de suero de ricota. Fuente: Comat, 2024

1.4 Concentración de suero OR

El suero puede ser concentrado gracias a un equipo de osmosis reversa (presente en la Figura 11) la cual usa membranas con poros que permiten el paso de moléculas menores a $0,0001 \mu\text{m}$ de diámetro, estas membranas según el material del cual fue elaborado puede soportar un pH de 7,5-8,5 o 11,5, estas membranas solo dejan pasar al agua a través de sus membranas (permeado) mientras que las sales y sustancias orgánicas no las atraviesan (retentado) (ver Figura número 12) formando el suero concentrado. La presión de operación para los equipos de osmosis reversa

varía entre 2 – 6 MPa (o 20-60 bar) pudiendo, en algunos casos, ser mayores a 8 MPa (80 bar) (Askew *et al*, 2008). La operación de este equipo requiere de lavados periódicos regulares para mantener las membranas libres de contaminantes y así mantener la integridad de estas, el lavado interno del equipo genera residuos industriales líquidos.



Figura 11 Equipo de osmosis reversa. Fuente: Redaspa s.f

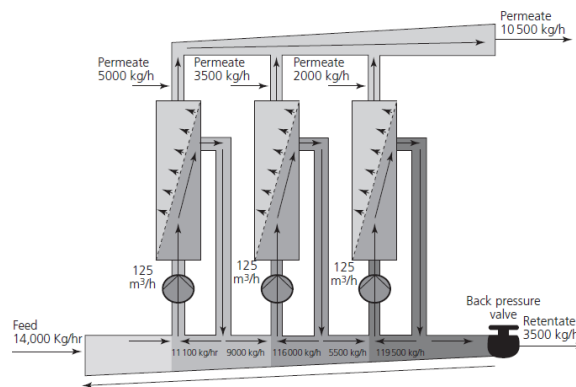


Figura 12 Diagrama de flujo de osmosis reversa. Fuente: Walton, 2018

Para facilitar una visión holística de los procesos para la creación de ricota, explicada en los párrafos anteriores, se visualizará con el diagrama de flujo presente en la Figura 13.

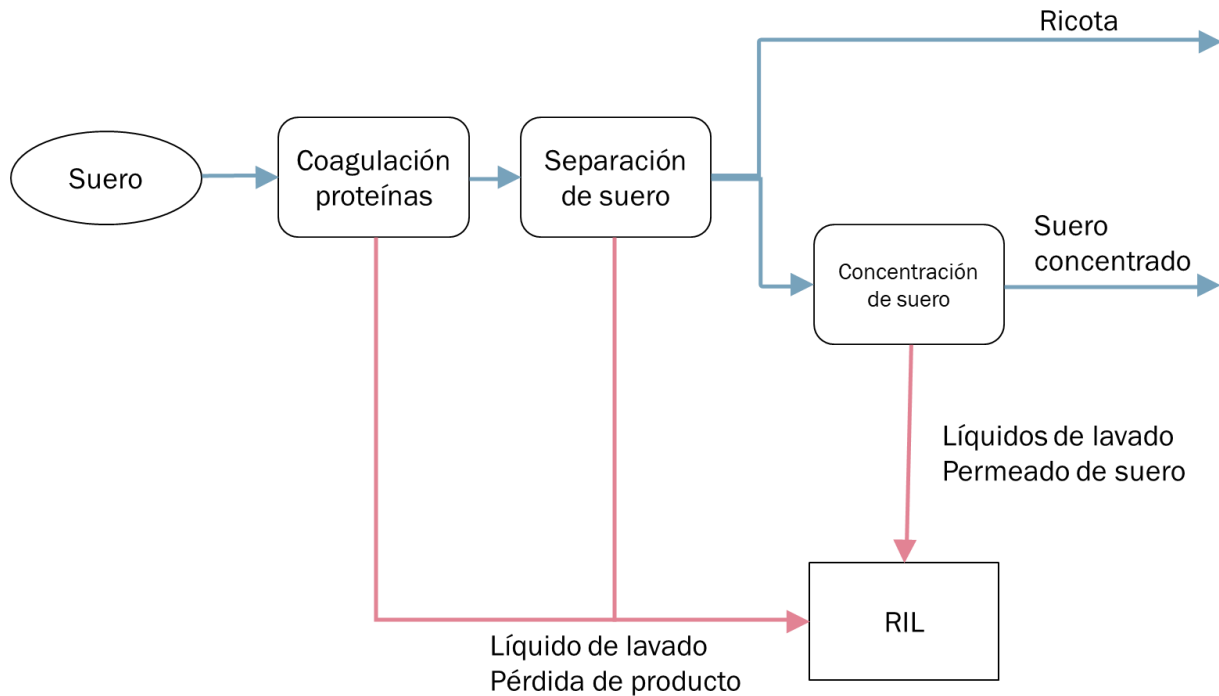


Figura 13 Diagrama de flujo de producción de ricota y su concentración.

1.5 Limpieza de equipos

Todos los equipos y silos de almacenamiento usados en la creación del queso tienen que ser lavados para cumplir con las condiciones de inocuidad necesarias para la producción del queso, gracias a un sistema de limpieza llamado CIP.

1.5.1 CIP

Según Walton (2008), CIP (Cleaning in place o Limpieza en lugar) es el lavado completo de un ítem de planta o circuito de cañerías sin desmontar o abrir el equipo y con poco o ninguna influencia por parte del operador. El proceso corresponde al chorro o rocío en superficies o circulación de soluciones de limpieza a través de la planta bajo condiciones de alta turbulencia y velocidad de flujo.

El proceso de limpieza ya sea manual o automatizado de los equipos tiende a seguir principios similares, los cuales consisten en una serie de etapas concretas, que incluye:

- **Remoción de producto (o recuperación de éste)**
Se refiere a la remoción de cualquier producto residual por medios mecánicos previos a la introducción del agua de enjuague inicial.
- **Pre-enjuague**
Usualmente el agua ocupada en el pre-enjuague proviene de las etapas de enjuague intermedio, con el propósito de reducir la cantidad de agua ocupada y para utilizar la energía térmica o posible detergente residual proveniente de la recuperación de ellos.
- **Recirculación de detergente**
Aquí es donde ocurre la tarea principal de limpieza, resultando en la remoción de los residuos en la superficie interna del equipo, en donde, son removidos y suspendidos o disueltos en la solución de detergente.

- **Enjuague intermedio**
Sirve para remover cualquier rastro de detergente y residuo arrastrado por la limpieza. El enjuague intermedio debería usar agua potable, y es normalmente fría, aunque si un segundo paso de detergentes es ocupado, es más deseado ocupar agua potable caliente. (mayoritariamente esta agua es recuperada para su uso en pre-enjuague)
- **Recirculación de ácido**
Algunos sistemas ocupan una segunda etapa de recirculación de detergente, usualmente un detergente ácido.
- **Enjuague intermedio**
Este segundo enjuague intermedio usará casi siempre agua potable fría, la calidad de esta agua es crítica, si no hay una etapa de desinfección.
- **Desinfección**
El ciclo de desinfección es dado en temperaturas frías, y usualmente usa un biocida oxidante, como hipoclorito de sodio, o una solución de ácido peracético (solución mezcla de ácido acético y peróxido de hidrógeno), algunos biocidas no oxidativos también se pueden usar, pero deben ser de baja espuma y de acción rápida en agua fría para que sea efectivo en CIP. También es posible ocupar agua caliente para la etapa de desinfección en vez de usar un agente químico, esto también puede ser efectivo, pero requiere un ingreso de energía térmica alto, lo cual puede ser caro.
- **Enjuague final**
Esta etapa debería ocupar solo agua potable fría. Como se había mencionado antes la calidad del agua es crítica, ya que puede causar una contaminación post infección y deterioro de producto.

Los detergentes usados para las diferentes etapas deben ser capaces de remover diferentes tipos de impurezas. Por lo que se requieren diferentes sustancias químicas para lograr esto.

Los detergentes alcalinos como la soda cáustica (NaOH) son usados para la disolución de proteínas y hacer que la grasa sea más soluble, la concentración óptima de este detergente no debe superar el 1,8% ya que concentraciones mayores a la ya mencionada no son más efectivas en la remoción de estas impurezas, pero hace que estas soluciones sean más corrosivas.

Los detergentes ácidos son usados para remover impurezas provenientes de aguas duras y sedimentos minerales (incrustaciones). Usualmente se hace uso de ácido nítrico (HNO₃) y ácido fosfórico (H₃PO₄) donde, por la misma razón que se mencionó en el párrafo anterior, las concentraciones de estos detergentes ácidos no superan el 1,0%. (Barreto *et al.* 2018).

1.5.2 Sistema o central CIP

Una central CIP generalmente está constituido, de cuatro tanques de almacenamiento, uno para el detergente alcalino, otro para el detergente ácido, uno para agua limpia y el último para agua recuperada como se puede observar en el diagrama de la Figura 12. El sistema CIP o central CIP está diseñada, para la administración de agua y químicos necesarios para la limpieza de cualquier equipo, de esta manera también para la recuperación de estos químicos una vez llevado a cabo el lavado, la acción de recuperación de estos químicos inevitablemente genera pérdidas las cuales van como efluentes a la planta de tratamiento los cuales aportan a las variaciones de pH que puede sufrir el residuo industrial líquido que se vaya a tratar.

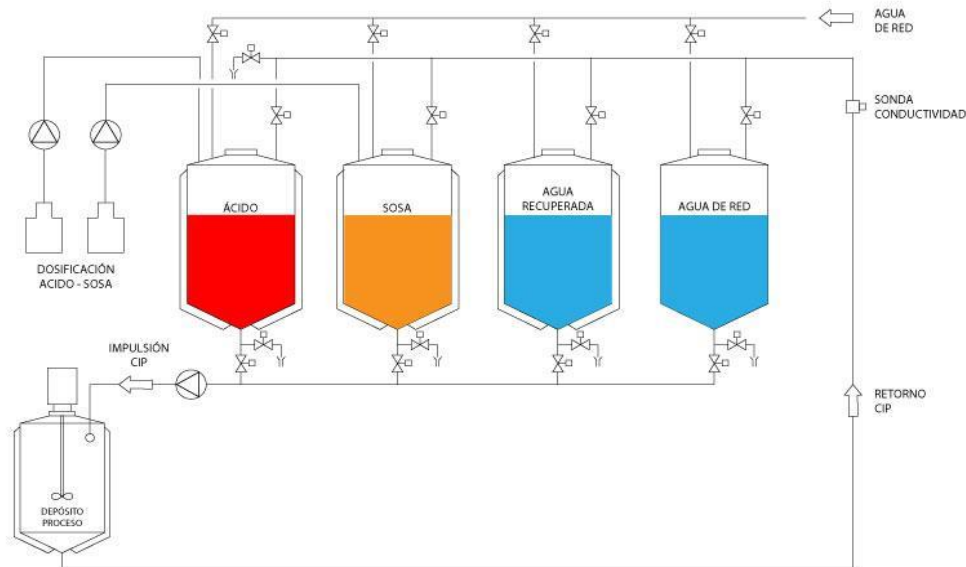


Figura 14 Diagrama de central de lavado Cleaning in Place. Fuente: Sagafluid

1.6 Tratamiento de residuos industriales líquidos

Una planta de tratamiento de residuos industriales líquidos para efluentes lácteos está diseñada para la remoción de parámetros como DBO₅, aceites y grasas, sólidos suspendidos y la corrección de pH del efluente.

1.6.1 Tratamiento primario

Esta primera etapa de tratamiento tiene como finalidad la separación de sólidos y material no disuelto proveniente de las áreas de producción de la planta quesera, neutralización de pH el cual fue alterado por el funcionamiento del sistema CIP que hace uso de compuestos ácidos y básicos, regulación de caudal y estabilización térmica ocasionado usualmente por los procesos de pasteurización de la leche. (Zaror, 1993)

1.6.1.1 Neutralización de pH

Este es aplicado cuando el pH del efluente de la planta de producción se encuentra fuera de los límites aceptables, en donde se usan compuestos ácidos y bases para llevar el pH a un rango cercano a 7 llevándose a cabo este proceso en un tanque equalizador, el cual también se ocupa para la estabilización de flujo del efluente proveniente de la planta productora. (Zaror, 1993)

1.6.1.2 Estabilización de flujo

El flujo y composición de los residuos líquidos presenta fluctuaciones de sus parámetros durante el funcionamiento rutinario de la planta quesera, reflejando diferentes operaciones durante el proceso con las características presentes en el RIL. Esta fluctuación de parámetros puede causar problemas en operaciones de tratamiento secundario, que se caracterizan por ser procesos lentos.

Un tanque de almacenamiento (o tanque equalizador) es necesario para asegurar flujos y cargas constantes, en el cual, el tiempo de residencia del residuo líquido para su tratamiento depende de las características de operación de la planta de tratamiento residuos líquidos.

La separación de flujos con mayor contenido orgánico (que requieren tratamiento secundario), puede resultar en una reducción de flujo importante y así abaratar costos al no necesitar un tanque equalizador de mayor volumen. (Zaror, 1993)

1.6.2 Tratamiento secundario de residuos industriales líquidos

Los principios considerados para el tratamiento secundario de residuos industriales líquidos se basan en la naturaleza de los microorganismos, que metabolizan aeróbica y anaeróbicamente el material orgánico solubilizado presentes en el RIL (leche y suero en este caso) como fuentes de carbono, transformándolo en subproductos volátiles y en componentes celulares los cuales son removidos. Al mismo tiempo los microorganismos (lodos) generados en el funcionamiento de la planta de tratamientos secundarios pueden ser separados del efluente utilizando técnicas de separación sólido líquido, por ejemplo, a través de un decantador de lodos. (Zaror, 1993)

1.6.3 Tratamiento terciario de residuos industriales líquidos

En esta categoría se incluye sistema para eliminar otros contaminantes tales como metales, oxígeno, nitrógeno, fósforo y compuestos no biodegradables lo cuales no se desarrollarán a profundidad dentro de este informe.

1.7 Normativa asociada a tratamiento de residuos industriales líquidos

El decreto 609 el cual “establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado” establece en el artículo primero, número 4.3, Tabla n°4, los límites máximos permitidos a descargas a alcantarillado que cuenten con planta de tratamiento de aguas servidas, la cual establece que la DBO₅ en la descarga no debe superar los 300 [mg/L] (Ministerio de obras públicas, 2004), por lo tanto la planta de producción de quesos de Quillayes Surlat no debe superar el límite de DBO₅ ya mencionado de descarga al alcantarillado.

Para los residuos sólidos provenientes del tratamiento de RIL se tendrá que disponer según las normas legales vigentes en materia de residuos industriales sólidos (Ministerio de obras públicas, 2004), si solo consideramos en la producción de lodos como residuo sólido se tendrá que hacer uso del Decreto 4 “Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas” el cual especifica el tipo de tratamiento que se le debe hacer al lodo y su disposición final.

2 Problema

La naturaleza de la producción de quesos de la planta de Quillayes Surlat, ubicada en Loncoche, genera residuos industriales líquidos los cuales son vertidos y tratados en una planta de tratamiento primario (ubicada en la misma planta de quesos) operada por terceros. El volumen de RIL vertido al alcantarillado supera los volúmenes de vertido máximos estipulados entre la empresa Quillayes Surlat hacia la empresa Aguas Araucanía. Además, este efluente excede la carga orgánica (DBO₅) de RIL vertido al alcantarillado acordado por el D.S N°609 que establece el límite de contaminantes de residuos industriales líquidos emitidos. De continuar la situación presente, la planta tendrá bases para ser clausurada.

Dado lo anterior, es imprescindible realizar un diagnóstico de consumo de aguas de la planta de quesos y eficiencia de la planta de tratamiento primario que permita determinar las condiciones de operación de la planta de quesos y de la planta de tratamiento de RILes. De esta manera se podrá determinar que alternativas operacionales o técnicas se le puede aplicar a la planta de queso o la planta de tratamiento de RIL.

Además, mediante estas alternativas técnicas u operacionales, la planta de quesos Quillayes Surlat podrá disminuir sus índices de DBO₅ y volumen de descarga al alcantarillado para cumplir con lo establecido en su contrato con Aguas Araucanía y el D.S N°609.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta tendiente a la reducción de caudal y concentración de DBO₅, de los RILes generados en la planta de quesos Quillayes Surlat, para el cumplimiento del DS N°609.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de información respecto a consumo de agua en zonas de producción de queso y concentraciones de DBO₅ de los RIL.
- Diseñar un paquete de medidas operacionales y tecnológicas para reducir el caudal y concentración de DBO₅ de los RILes generados.
- Estimar los costos del paquete de medidas diseñado.

4 Metodología

El diagrama de flujo presentado en la Figura 15 representa la realización de los objetivos específicos con sus propias acciones necesarias para realizarlo.

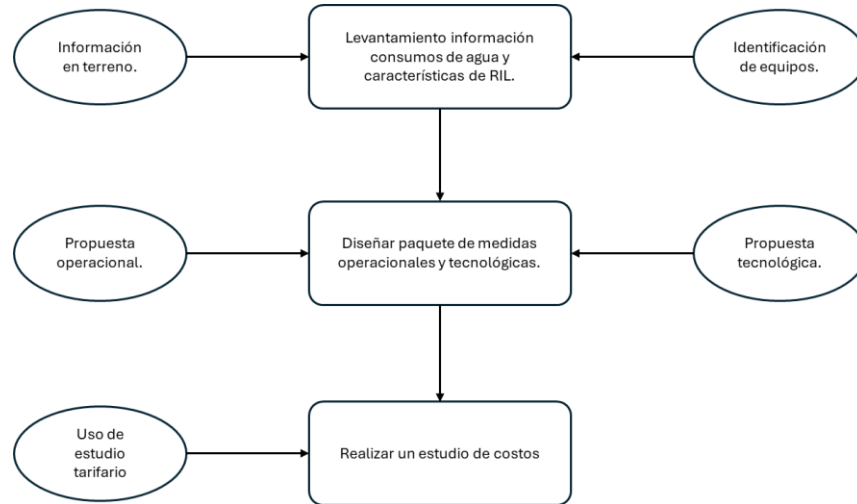


Figura 15 Metodología de objetivos específicos.

4.1 Caracterización de las zonas de producción, consumo de agua y planta de tratamiento primario y levantamiento de información

Se caracterizó cualitativa y cuantitativamente a los equipos de producción de queso (RIL generado por la producción de quesos) presentes en las diferentes áreas de la planta de queso, de forma de generar diagramas de flujo mediante tomas de información en terreno, identificando dichos equipos y sus registros operacionales.

Para la determinación de caudales de mangueras encontradas en la planta se hizo uso de un recipiente de volumen conocido y se tomó el tiempo de llenado de este balde, según la siguiente ecuación.

$$\text{Caudal} \left[\frac{L}{S} \right] = \text{Volumen recipiente [L]} / \text{Tiempo de llenado [s]}$$

Para la determinación de diferentes volúmenes de consumo de lavado de camiones de las áreas de la planta de producción de quesos, se ocupó el caudal de la manguera correspondiente del área, y el tiempo en el que se usó la manguera, la cual se representa con la siguiente ecuación.

$$\text{Volumen [L]} = \text{Caudal} \left[\frac{L}{S} \right] * \text{Tiempo uso de manguera [s]}$$

Para calcular la cantidad de agua usada con el sistema de CIP se ocupó en lavado de equipos la siguiente formula:

$$\text{Volumen agua total} = \sum \text{Tiempo aclarado "n"} * \text{Caudal de bomba} * \% \text{velocidad bomba}$$

En donde el:

Tiempo de aclarado “n” es el tiempo de bombeo de agua hacia el equipo de producción de queso.

Caudal de la bomba es el flujo volumétrico (L/s) de agua que tiene la bomba (diferentes bombas tienen diferentes caudales).

%Velocidad de bomba= Porcentaje de uso de bombas.

Para la obtención de datos de la planta de tratamiento primario se evaluaron los equipos presentes en la planta al igual que las características técnicas de estos, mediante el levantamiento de información en terreno. Se identificaron los equipos responsables de la producción de queso, y el agua usada para la producción de queso (producir queso directamente o limpiar los equipos).

Se realizó una recopilación de datos de producción de quesos tomando en cuenta la base de datos de producción provenientes de la misma planta. La recopilación de datos para los consumos de agua se realizó en base a la caracterización del uso de agua de los equipos de producción de quesos y limpieza de equipos determinando el volumen de agua utilizado mediante caudales de producción dependiendo de los equipos y sus recetas de lavado (lavados CIP), obtenidas mediante la examinación *in situ* de los equipos y la cantidad de lavados por medio de antecedentes electrónicos provenientes de la planta.

4.2 Diseño de propuesta tecnológica y operacional

El desarrollo de la propuesta operacional o tecnológica para la resolución del problema consideró la información recopilada para tomar la decisión de si es necesario tomar sólo un cambio operacional o la integración de una tecnología adicional o ambas.

Para llevar a cabo el cambio operacional se tomó en cuenta qué equipos denotaron un malgasto de agua donde se comparó el agua usada en los diferentes equipos y diferentes recetas usadas en estos mismos equipos. Una vez identificado el (los) equipo(s) y su información de operación (obtenido mediante fichas técnicas), se desarrolló el cambio operacional del equipo con enfoque a la disminución de consumo de agua.

El diseño de la tecnología se basó en el criterio de mejora del índice de demanda biológica de oxígeno que es vertido al alcantarillado. Esta tecnología fue seleccionada en base a bibliografía de tratamiento de residuos industriales líquidos de plantas de producción de queso.

El diseño de paquete tecnológico se hizo en base a los libros de “Kiely y Veza (2001)” y de Eddy (1995b) concentrándose en la tecnología de lodos activados en los cuales se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones para determinar parámetros de diseño de la tecnología de lodos activados.

Volumen de reactor

Es el volumen necesario en el cual los microorganismos en base a parámetros cinéticos pueden disminuir el índice de DBO₅ de un afluente al índice de DBO₅ necesario del efluente.

$$V = \frac{\theta_c * Q_0 * Y}{X} * \left(\frac{S_0 - S_e}{1 + k_d * \theta_c} \right)$$

En donde:

V = Volumen del reactor [m³].

θ_c = Tiempo de retención celular en días [d].

Q₀ = Caudal Afluyente en metros cúbicos por día [m³/d].

Y = Coeficiente de producción o tasa de crecimiento de las células.

X = Concentración de solidos suspendidos del licor mezcla en el reactor [mg/l].

S₀ = Concentración de DBO₅ del afluyente [mg/l].

S_e = Concentración de la DBO₅ del efluente [mg/l].

K_d = Tasa de mortandad de las células [d⁻¹].

Tiempo de retención hidráulica.

Es el tiempo el cual el afluyente permanece en una unidad de tratamiento (reactor).

$$\theta_h = \frac{V}{Q_0}$$

En donde:

θ_h = Tiempo de retención hidráulica en días [d] o horas [h].

V = Volumen del reactor [m³].

Q₀ = Caudal del afluyente [m³/d].

Fangos para purgar.

La cantidad de fango que tiene que salir del sistema de tratamiento para mantener su optimo funcionamiento.

$$P_x = \frac{V * SSLM}{\theta_c}$$

En donde:

P_x = Fangos a purgar [kg/d].

V = Volumen del reactor [m³].

SSLM = Solidos suspendidos en liquido mezcla [kg/m³].

θ_c = Tiempo de retención celular [d]

Oxigeno necesario.

La cantidad de oxígeno que se necesita para la disminución del parámetro DBO₅ a los índices deseados.

$$\text{Oxígeno} = \frac{Q(S_o - S_e)}{f} - 1,42 * P_x$$

En donde:

Oxígeno = Oxígeno necesario para disminución de DBO₅ en [kg/d].

Q = Caudal de afluente [m³/d].

S_o = DBO₅ del afluente en [kg/m³].

S_e = DBO₅ del efluente en [kg/m³].

P_x = Lodos de purga del reactor o tanque de oxidación en [kg/d].

f = Factor de conversión de DBO₅ a DBO_L (DBO límite o la máxima posible).

Aire necesario

La cantidad de aire necesario para dar el aporte de oxígeno que se necesita para la disminución de DBO₅:

$$\text{Aire necesario} = \left[\frac{\text{Oxígeno}}{[\%O_2/100]} * \frac{1}{p_{\text{aire}}} \right] * \frac{1}{E_{O_2}}$$

En donde:

Aire necesario = Cantidad de aire necesario al día [kg/d].

Oxígeno = Cantidad de oxígeno necesario al día [kg/d].

%O₂ = Porcentaje de oxígeno en el aire.

p_{aire} = Densidad de oxígeno [kg/m³].

E_{o₂} = Tasa de transferencia de oxígeno gas al líquido.

4.3 Estudio de costos de propuesta tecnológica

El estudio de costos se hizo en base a “Estudio tarifario aguas empresa de servicio sanitario aguas Santiago poniente”, tomando en cuenta el costo eléctrico, mantenimiento y contrato de personal pertinentes al manejo de una planta de tratamiento de lodos activados.

La estimación costo según el consumo eléctrico anual se basa en la siguiente ecuación:

$$EE = \text{carga fijo} \left[\frac{\$}{\text{mes}} \right] * 12[\text{mes}] + \text{Consumo de energía} \left[\frac{kWh}{\text{año}} \right] * \text{Carga energía} \left[\frac{\$}{kWh} \right] \\ + \text{consumo de potencia} * \text{carga de potencia} \left[\frac{\$}{kW} \right] * 12[\text{mes}]$$

En donde:

EE = Costo total de energía eléctrica [\$.]

Cargo fijo = Costo asociado al servicio [\$/mes].

Consumo de energía = consumo total de energía anual en [kWh/año].

Cargo de energía = cargo asociado al consumo de energía [\$/kWh].

Consumo de potencia = corresponde a la velocidad de transferencia eléctrica [kW]

Cargo de potencia = cargo asociado por el consumo de potencia [\$/kW/mes]

El costo de mantención como un costo fijo dado por el estudio tarifario y el costo del personal en base al estudio tarifario, pero con sueldos actualizados para el año 2024 según la página web mifuturo.cl

5 Resultados

5.1 Caracterización

El lugar de estudio se dividió en segmentos de diferentes colores que se pueden apreciar en la Figura 16 dando a conocer también el rol de cada área de la planta para la producción de queso, también se agregaron áreas que no se encontraban en la Figura 16.

Área de recepción (azul): es el área en el cual se hace la recolección de materia prima para la producción de quesos, además del lavado interno y externo de los camiones cisterna que llevan la materia prima a la planta.

Área de silos (verde): es el área donde se ubican los silos, estos siendo ocupados para el almacenamiento de leche cruda, suero.

Área de pasteurización (rojo): Es el área en donde la leche cruda es pasteurizada y también es en donde el equipo de osmosis reversa concentra el suero separado de la ricota.

Área de quesería (amarillo): es el área en donde se cuaja la leche, se separa los gránulos de queso del suero y se compacta para hacer queso.

Área de central CIP (naranja): es el área en el cual se administran los químicos y agua necesarios para el lavado interno de los equipos de producción de queso de la planta.

Área de salado (no se muestra en Figura): es la zona en la cual se le agrega la sal al queso mediante una piscina que contiene una solución saturada de sal.

Área de ricota (no se muestra en Figura): es la zona en la cual se produce la ricota mediante la coagulación de suero de queso.

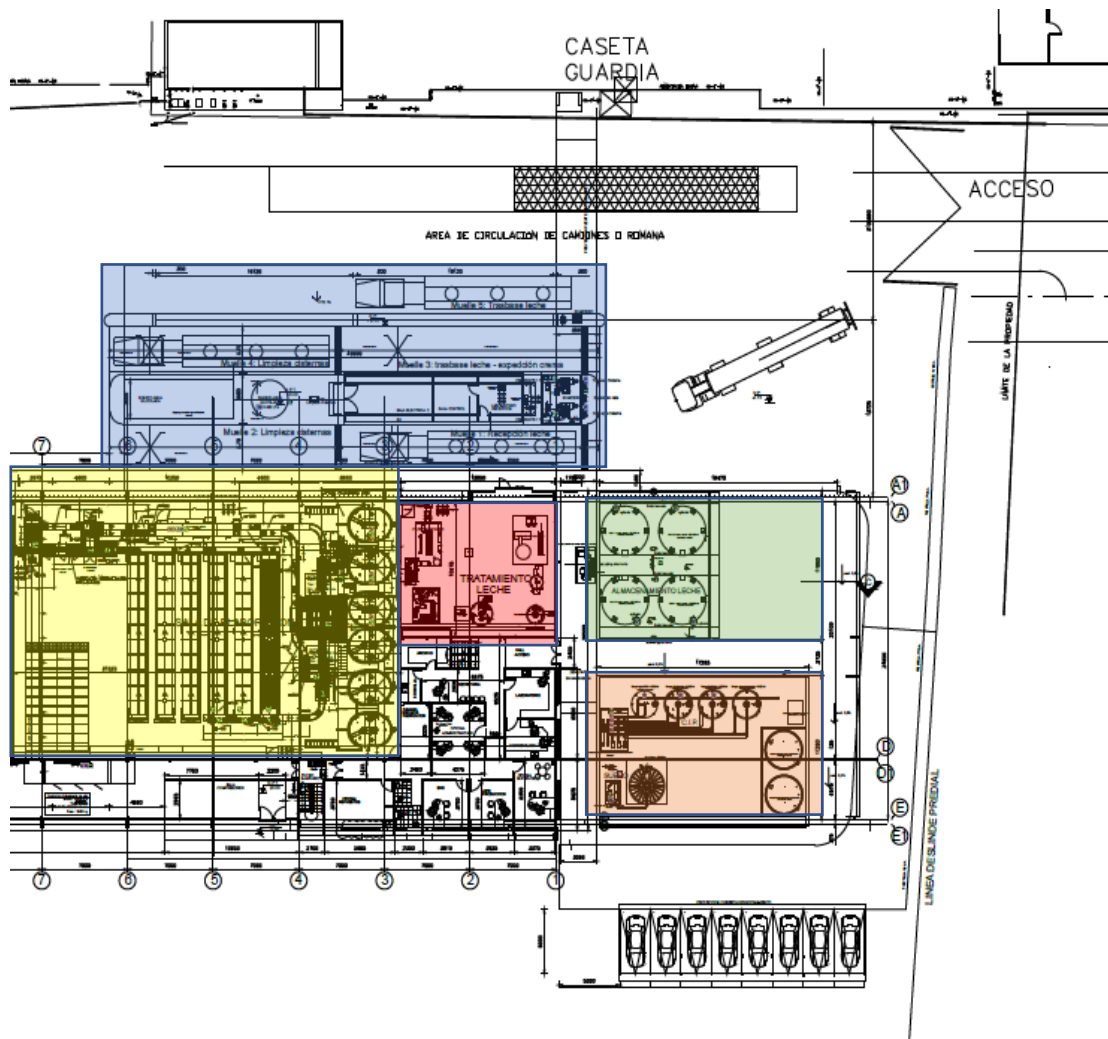


Figura 16 Planta quesera Quiyalles Surlat.

5.1.1 Área de recepción

Esta área corresponde al área en donde se reciben los camiones cisterna que transportan la materia prima (leche principalmente) a la planta de quesos.

5.1.1.1 Manguera

Usado en la limpieza externa de camiones cisterna que ingresan a la planta de producción de quesos (ver Figura 17).

Caudal manguera

Se determinó el caudal de una manguera al llenar un balde de dimensiones 0,3[m] de altura y 0,15[m] de radio en un tiempo de 6[s] resultando en un caudal de **1,5[L/s]**

Tiempo de uso de manguera y consumo de agua para lavado externo de camiones:

Se observó que el uso continuo promedio de la manguera (uso de agua sin ninguna pausa) para lavado de camiones es de 524[s] promedio.

El consumo de agua promedio para el lavado externo de un camión es de 786 [L] de agua determinado en base a la ecuación:

$$\text{Volumen [L]} = \text{Caudal} \left[\frac{\text{L}}{\text{s}} \right] * \text{Tiempo uso de manguera [s]}$$



Figura 17 Manguera de limpieza externa de camiones cisterna.

Los camiones cisterna que llegan a la planta de producción de queso tienen capacidades de 15 a 30 [m³].

5.1.1.2 Receta CIP camión cisterna

Los lavados de cisterna interno corresponden a tres recetas, uno de enjuague, segundo de solo lavado con soda caustica y el tercero es lavado completo. La Tabla 1 muestra el volumen de agua usada para las tres recetas de lavado.

Tabla 1 Consumo de agua de recetas CIP para lavado de camiones cisterna.

Cisternas			
Etapa agua	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Vol. agua aclarado 1 [L]	315	530	0
Vol. agua aclarado 2 [L]	630	795	0
Vol. agua aclarado 3 [L]	1.260	1.590	1.500
Total [L]	2.205	2.915	1.500
Observación	Uso de soda	Lavado completo	Lavado con solo agua

5.1.1.3 Traspase de leche

El equipo es usado para la extracción de leche de los camiones cisterna en donde la leche entregada por los camiones cisterna es enviada a los silos de almacenamiento.

Existen dos, uno para la recepción de leche (E. Leche) y el segundo para la extracción de proteína (E. Proteína) y crema proveniente de camiones cisterna.

Caudal de extracción de leche

El caudal de extracción de leche por medio del equipo de trasvase es de 25 [m³/h] obtenido mediante observaciones durante recorridos de la planta.

Receta de lavado CIP de trasvase

Ambos equipos de extracción tienen recetas de lavado únicas, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Consumo de agua de recetas de lavado CIP de equipos de extracción de leche y proteína.

E. Leche			
Nombre de receta	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Vol agua aclarado 1 [L]	900	900	600
Vol agua aclarado 2 [L]	600	1.500	0
Vol agua aclarado 3 [L]	2.100	3.000	1.500
Total [L]	3.600	5.400	2.100
E. Proteína			
Nombre de receta	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Vol. agua aclarado 1 [L]	1.500	1.500	1.500
Vol. agua aclarado 2 [L]	900	1.500	600
Vol. agua aclarado 3 [L]	1.200	1.200	900
Total [L]	3.600	4.200	3.000
Observación	Recetas 1 y 2 son de Soda y ácido ambos (equipos), cuando una de ellas debería ser solo de soda (las que ocupan menor volumen de agua)		

5.1.2 Área de silos

En esta área se encuentra leche, suero y proteína provenientes de suero almacenados en silos de diferentes capacidades, listados en la Tabla 3.

La Tabla 4 muestra los volúmenes de agua para sus respectivas recetas de lavado CIP (L) de los silos.

Se puede observar de manera preliminar que para los silos 1, 2, 3 y 4 tienen la misma capacidad y contienen el mismo producto, tienen diferentes consumos de agua para recetas, los silos 180 y 280 al tener la misma capacidad y almacenar el mismo tipo de producto consumen diferentes cantidades de agua, los silos 30k y 50k al tener diferentes capacidades ocupan la misma cantidad de agua para sus lavados CIP y el silo TK 12 al tener 40 [m³] más de capacidad que el silo TK 11 ocupa casi 800 [L] menos de agua.

Tabla 3 Listado de silos de almacenamiento con sus capacidades y contenidos.

Nombre Silo	Volumen [m ³]	Contenido
Silo 1	100	Leche cruda
Silo 2	100	Leche cruda
Silo 3	100	Leche cruda
Silo 4	100	Leche cruda
Silo 180	80	Suero concentrado
Silo 280	80	Suero concentrado
Silo 30k	30	Suero proveniente de ricota
Silo 50k	50	Suero proveniente de quesería
TK 11	10	Proteína
TK 12	50	Proteína

Tabla 4 Consumo de agua (L) de lavados CIP para silos de almacenamiento.

Nombre Silo	1	2	3
Silo 1	6.300	6.000	5.000
Silo 2	6.300	5.400	4.500
Silo 3	7.000	6.000	5.000
Silo 4	7.000	6.000	5.000
Silo 180	10.066,67	-	-
Silo 280	6.466,67	-	-
Silo 30k	1.500	1.0000	7.200
Silo 50k	1.500	1.0000	7.200
TK 11	5.466,67	-	-
TK 12	4.600	-	-

5.1.3 Área de pasteurización

Debido a la cantidad de información encontrada en esta área se presentará a continuación los equipos según tres líneas de producción, leche, suero y crema.

5.1.3.1 Línea de leche

Para esta línea de producción la leche cruda almacenada en los silos 1 – 4 es redirigida a una centrifuga para poder estandarizar la leche. Los sólidos de la leche (grasa y proteínas) separados por la centrifuga son redirigidos a un equipo llamado “standomat” el cual los reintroduce a la leche con la concentración deseada para la producción mientras que los sólidos de grasa y proteína que sobran de este proceso son almacenados en su propio tanque de almacenamiento (llamado tanque de crema de leche) para la creación de otros tipos de queso y los sólidos que se quedan entre los discos de la centrifuga son desechados como residuos industriales líquidos durante los lavados de los equipos aportando a la DBO₅ de los riles de la planta. Esta leche estandarizada luego es enviada al equipo de pasteurización para eliminar los posibles microorganismos en la leche. El diagrama de flujo de la Figura 18 facilitará la visualización de la descripción realizada.

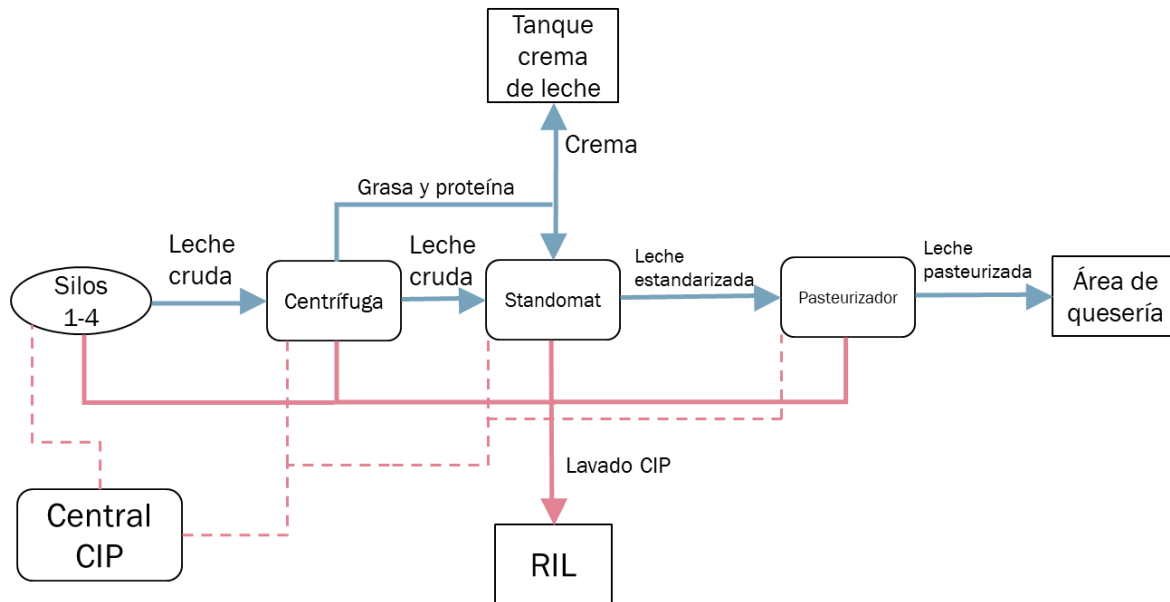


Figura 18 Diagrama de flujo línea de leche, área de pasteurización.

Se pudo descubrir que para la centrifuga y Standomat se adquirieron como un mismo equipo de la compañía GEA del modelo Standomat MCA, lamentablemente no se pudo conseguir más información al respecto de caudales a lo que se refiere el Standomat, ya que los datos técnicos del modelo no se especificó el caudal de producción y para la planta de quesos se tomó en cuenta el caudal del equipo de pasteurización.

El equipo Standomat se lava independientemente a la centrifuga con su propia receta CIP, mientras que la centrifuga se lava en conjunto con el pasteurizador de leche como si fuera un solo equipo con sus propias recetas de lavado CIP, el equipo Standomat tiene solo una receta CIP con un consumo de 6,66 [m³] de agua.

El pasteurizador de leche tiene un caudal de producción de 19,3 [m³/h] y diferentes consumos de agua.

-Proceso de sanitización, el cual es usado para la etapa de desinfección en lavados CIP que ocupa un volumen específico de agua de 700 [L] recirculándolo en el equipo y luego vertido como RIL.

-Producción con agua, el cual consiste en el uso de agua para llevar los parámetros de temperatura óptimos para la pasteurización de la leche, este consumo de agua se destaca de los demás ya que el agua pasa por el equipo de pasteurización solo para ser descargada como RIL a un caudal de 19,8 – 20,1 [m³/h].

-Lavados CIP, como se mencionó anteriormente en el equipo pasteurizador y centrifuga se lava como si fuera un mismo equipo, el consumo de agua de sus recetas CIP se muestran en la Tabla 5.

Se observa que para las recetas 1 y 2 se usa la misma cantidad de agua, pero al observar mas detalladamente los tiempos de etapas CIP la “receta 2” tiene un mayor tiempo de recirculación para los detergentes alcalinos y básicos del lavado y la “receta 3” es solo administración de agua sin la inyección de detergentes.

Tabla 5 Volumen de agua (L) usado en receta CIP pasteurizador de leche - centrífuga.

Equipo	Receta 1(L)	Receta 2(L)	Receta 3(L)
Pasteurizador de leche - Centrífuga	10.000	10.000	5.000

5.1.3.2 Línea de suero.

La línea de suero en el área de pasteurización tiene dos propósitos, por un lado, preparar el suero proveniente de quesería para la producción de ricota y, por otro, preparar el suero proveniente del área de producción de ricota para su concentración en el equipo de osmosis reversa (OR). El pasteurizador usado para ambos propósitos tiene una etapa de “Producción con agua” (se hace pasar agua en vez de leche para precalentar el equipo antes de pasteurizar la leche) el cual ocupa a 9,8 [m³/h] de agua para tener las temperaturas óptimas de pasteurización. El agua consumida durante esta etapa del pasteurizador se vierte directamente al alcantarillado.

Para la preparación del suero proveniente de quesería, el suero presente en el “Silo 50k” se dirige a una centrífuga para la separación de sólidos del suero líquido, en donde los sólidos se almacenan en un tanque de 1 [m³] llamado en la planta como “tótem”. Una vez llenado el “tótem” es llevado a un tanque de semisólidos para disponer del suero presente en él y luego es lavado con la misma receta CIP con la cual se enjuagan los camiones cisterna. El suero líquido luego es dirigido a un pasteurizador el cual trabaja a un caudal de 9,7 – 9,8 [m³/h] en donde una vez llevado a cabo la pasteurización es llevado al área de producción de ricota.

Las recetas de lavado de “pasteurizador – centrífuga” son las mismas que se usan para el lavado de los tanques de suero “silo 30k” y “silo 50k” y la receta de lavado de “totem” es la misma que la de los camiones cisterna, ya que ocupa la misma línea de lavado, siendo los consumos de agua mostrados en la Tabla 6.

Para la concentración de suero proveniente de la producción de ricota, se le separan los sólidos y se pasteuriza de la misma manera a lo ya mencionado anteriormente, con la diferencia es que el suero proveniente del pasteurizador es dirigido a el equipo de osmosis reversa, el cual un tercio del suero que ingresa al equipo de osmosis reversa sale de este como suero concentrado y dos tercios de este sale de equipo de osmosis reversa como permeado, el cual va directamente al alcantarillado. El equipo de osmosis reversa presenta diferentes recetas de lavado con los volúmenes de agua usados que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 6 Consumo de agua de recetas CIP línea de suero.

Equipos	Receta 1(L)	Receta 2(L)	Receta 3(L)
Pasteurizador de suero - Centrífuga	1.500	10.000	7.200
Tótem	-	-	1.500

Tabla 7 Volúmenes de agua [m³] usados en lavados CIP de equipo de osmosis reversa.

Nombre receta.	Volumen de agua[m3]
Aseo Inicio Producción	4
Aseo estándar	8
Intermedio	2
Preservation	4
Enjuague	4

En la Figura 19 se resume los dos procesos de preparación de suero al igual que los equipos que son limpiados por la central CIP.

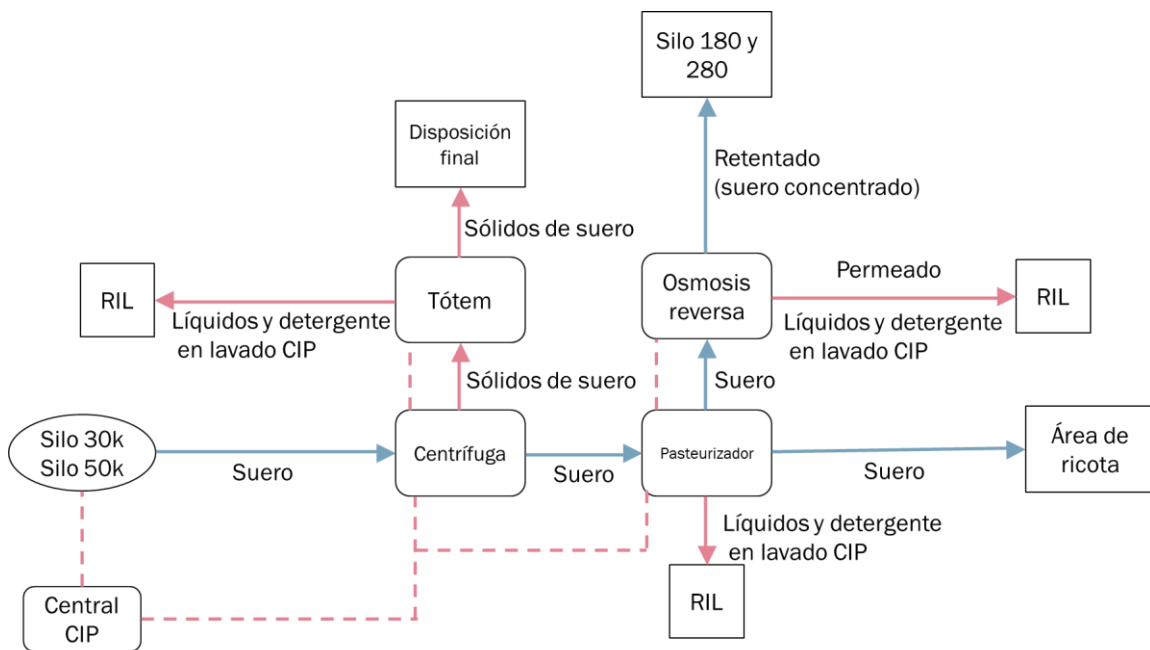


Figura 19 Diagrama de flujo de Proceso de preparación de suero.

5.1.3.3 Línea de producción de crema

Los semisólidos provenientes de la estandarización de la leche son almacenados en estanques “tk 13” y “tk 14” de crema cruda (que no se ha pasteurizado), los cuales son pasteurizados por su propio equipo de pasteurización. No se pudo obtener datos de caudales de producción debido a que no hay una base de datos electrónica del funcionamiento del pasteurizador. La crema pasteurizada es almacenada en dos estanques llamados “Madurador 1” y “Madurador 2” para luego dirigirla a quesería para la producción de quesos (ver Figura 20).

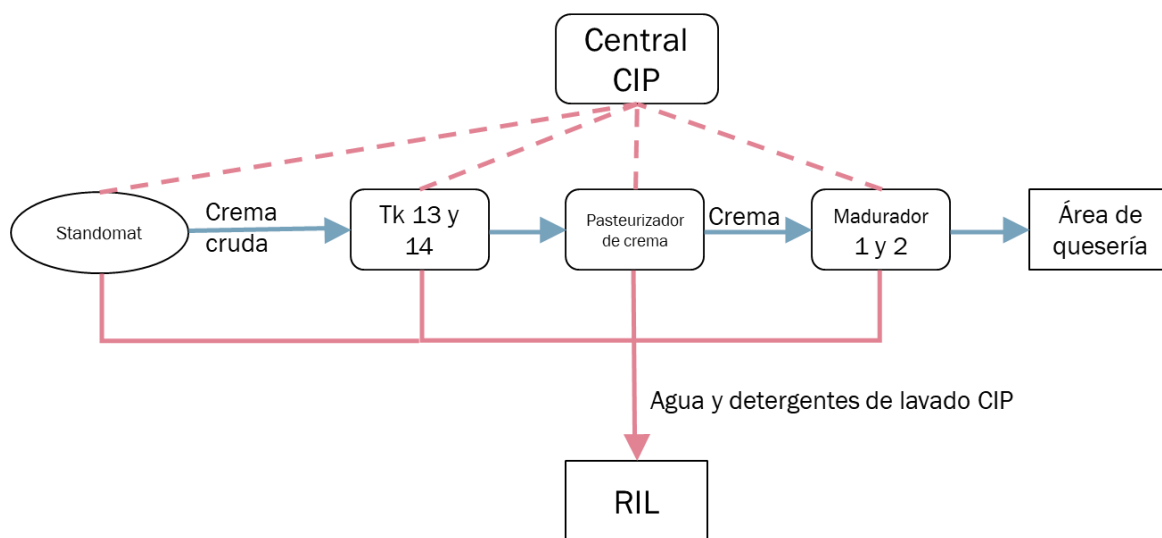


Figura 20 Diagrama de flujo de línea de producción de crema.

El consumo de agua de lavado CIP de los equipos de la línea de producción de crema son los indicados en la Tabla 8:

Tabla 8 Volumen de agua usado en receta CIP de equipos de producción de crema.

Nombre de equipos	Vol. Agua [L]
Tk 13 Y 14 Crema cruda	3.933,33
Madurador 1	5.466,67
Madurador 2	6.000,00
Pasteurizador de crema	5.666,67

5.1.4 Área de quesería

Los siguientes puntos dan a conocer los procesos en el cual se produce el queso al igual que las recetas de lavado CIP para los equipos observados.

5.1.4.1 Coagulación de queso en tinas

La leche recién pasteurizada se deposita en las 3 tinas del área de quesería las cuales producen a 12,2 [m³] de mezcla por tina, aquí es donde se producen todos los quesos a excepción de la ricota los cuales son Chanco, Gouda, Gruyere, Mantecoso, Mozzarella, Parmesano.

Los quesos Chanco y Mantecoso se les hace una adición de 10 [L] de agua por cada 100 [L] de leche y para los quesos Gouda y Mozzarella se le agrega 15 [L] de agua por cada 100 [L] de leche dentro de la tina. Toda receta específica para la producción de quesos es confidencial por lo que no se pudo conseguir esa información.

La mezcla para la creación de queso Gruyere y Parmesano necesita un aumento de temperatura a 50°C para luego enfriarlo a 45°C lo que se logra mediante la inyección de agua fría a las capas intermedias de cada tina, hasta la fecha este volumen variaba entre 2,76 – 7,00 [m³] dando un promedio de uso de 4,51 [m³] de agua fría, la cual que no se recuperaba y iba al alcantarillado.

Estas tinas son lavadas mediante el sistema CIP cada vez que se vacían, en donde la cantidad de agua usada por lavado se pueden apreciar en la Tabla 9.

Se menciona cada receta de las tinas ya que cada una de estas se podía lavar por una línea de CIP diferente.

Tabla 9 Consumo de agua de las recetas de lavado CIP de las Tinas de área de quesería.

Equipo	Vol. [L] Receta 1	Vol. [L] Receta 2	Vol. [L] Receta 3
Tina 1	7.200	3.900	1.950
Tina 2	7.200	3.900	1.950
Tina 3	7.200	3.900	1.950

5.1.4.2 Separación de suero y dosificación en molde

Una vez coagulada la leche y formado los granos de queso se le hace la separación de suero y dosificación de las piezas de queso lo cual, de la planta, se hace mediante un solo equipo (ver Figura 3 y Figura 4). Cada tina genera en promedio 148 piezas de queso que se dosifican en moldes y 12,6 [m³] de suero (mayor al volumen de mezcla estipulado antes, posiblemente debido a los operadores de los equipos) y 200 [L] de agua adicionales que se le agregan como empuje final a las tinas, todo este líquido es dirigido al “silo 50k”.

El equipo llamado dosificadora, la cual hace la tarea de separación de suero y dosificación de los granos de queso a los moldes, es lavado por medio del sistema CIP al final del día, al igual que el equipo encargado de trasladar el suero al silo de almacenamiento llamado “desuere de tinas”. El consumo de agua de estos lavados CIP se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10 Volúmenes de agua usados en lavados CIP de desuerado de tinas y dosificador.

Equipo	Receta 1(L)	Receta 2(L)	Receta 3(L)
Dosificadora	10.000	7.200	4.000
Desuere Tinas	2.750	2.250	2.500

5.1.4.3 Prensado de moldes

Una vez dosificado los moldes, estos son transportado mediante cinturones de transporte a los 3 túneles de prensado que existen en la planta, los cuales los presan durante 3 horas para dar forma a las piezas de queso y extraer suero que aun pueda contener estas piezas de queso. Una vez finalizado el prensado de 3 sets de moldes diferentes, se procede a hacer un lavado CIP para cada túnel de prensado.

La Tabla 11 muestra los consumos de agua para cada receta CIP de túnel de prensado.

Tabla 11 Volumen de agua de lavado de túneles de prensado.

Equipo	Receta 1(L)	Receta 2(L)	Receta 3(L)
Túnel de prensado	11.000	8.000	7.500

El diagrama de flujo de la Figura 21 representa los procesos ya descritos que suceden en el área de quesería. Una vez finalizado el prensado de los moldes las piezas son dirigidas al área de salado.

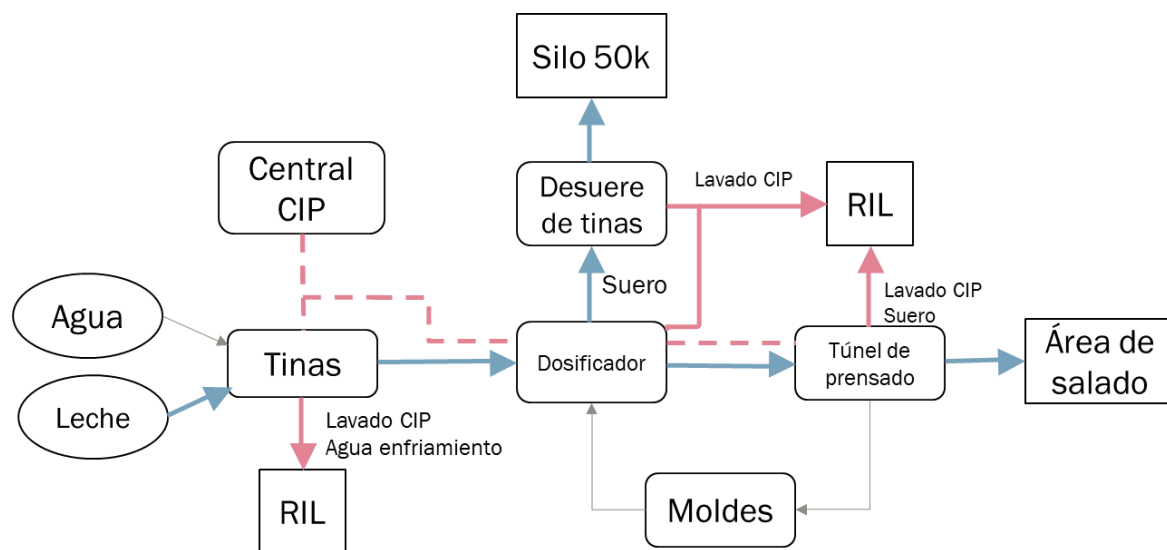


Figura 21 Diagrama de flujo de procesos de quesería.

5.1.5 Área de salado

Las piezas de queso provenientes del área de quesería son sumergidas en la piscina de salado, a excepción de queso parmesano que es sumergido en bandejas con salmuera durante 4 días y el queso gruyere que es sumergido en bandejas por 3 días. Una vez terminado el tiempo de salado de estos dos tipos de queso se tiene que hacer el lavado de las bandejas que almacenaron el queso. Cada vez que se produce queso parmesano o gruyere se tiene que rellenar la piscina de salado agregando 3 [m³] de salmuera a la piscina para el salado de los otros quesos, al igual que una vez a la semana se hace lavado del filtro de la piscina de salado gastando 316,67 [L] de agua en el proceso. a vez terminado el tiempo de salado de las piezas de queso estas son empaquetadas y enviadas por camiones a otra planta para su corte y empaque.

La Tabla 12 muestra los usos de agua identificados en el área de salado.

Tabla 12 Consumo de agua de área de salado.

Uso	Volumen de agua [L]
Lavado de filtro	316,67
Salmuera agregada a piscina	3.000
Lavado de bandeja	9,79

5.1.6 Área de producción de ricota

El área producción de ricota consiste en 2 tanques de almacenamiento de forma “trompo” (ver Figura 9) de 4 [m³] de almacenamiento cada uno y se encuentra unido al túnel de separación de ricota suero a través de una tubería lugar por donde pasa el suero cortado.

El lavado de los silos de forma de “trompo” se hace de forma manual administrando agua mediante una de las líneas CIP usando la bomba a su capacidad máxima de 30 [m³/h] durante una hora, mientras que el túnel separador de ricota usa un lavado CIP de 7,5 [m³] de consumo de agua por vez de lavado.

La Figura 22 representa el proceso de producción de ricota a un nivel macro también dando a conocer los orígenes de RIL que esta producción tiene.

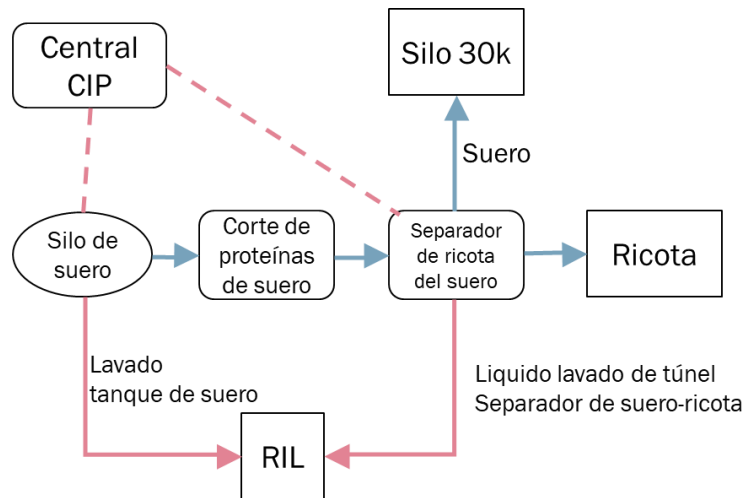


Figura 22 Proceso de creación de ricota.

5.1.7 Central CIP

Aunque ya se mencionó los usos de agua debido al uso del sistema CIP también es importante mencionar las características de la central CIP de la planta.

En la Tabla 13 se presenta la lista de estanques para el almacenamiento de agua y químicos de limpieza de la central CIP.

Tabla 13 Listado de tanques de almacenamiento de central CIP.

Tanque	Volumen [m ³]	Contiene
Agua filtrada	5	Agua filtrada
Agua recuperada	13	Agua recuperada
Soda caustica	10	Soda cáustica al 2,0% v/v
Ac. Nítrico	10	Ac. Nítrico al 1,5% v/v
Agua limpia	10	Agua
Ac. Nítrico concentrado	Desconocido	Ac. nítrico concentrado 29% v/v
Soda caustica concentrado	Desconocido	Soda caustica concentrada 33% v/v

Y cuatro líneas de administración de agua y químicos, permitiendo el lavado de 4 equipos al mismo tiempo los cuales se pueden apreciar en la parte inferior de la Figura 23.

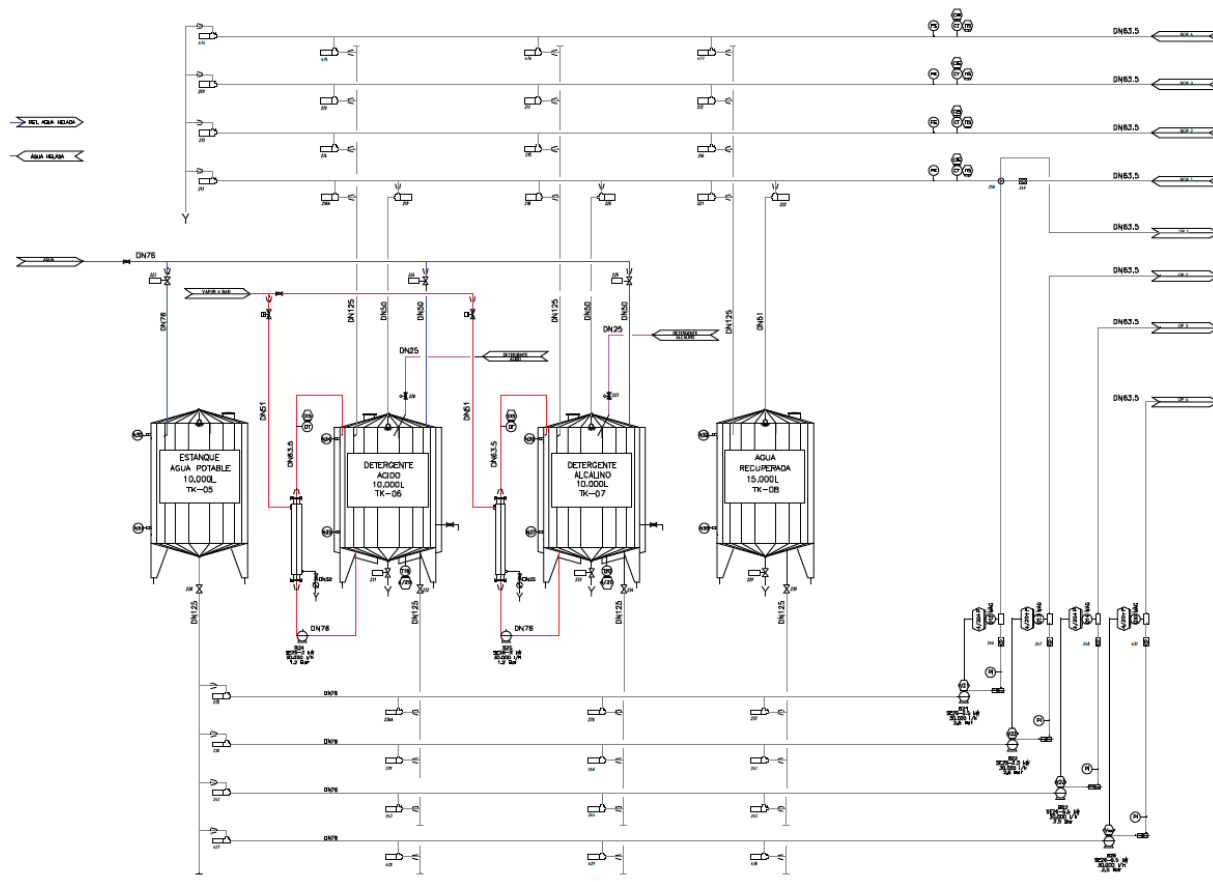


Figura 23 Diagrama de flujo de central CIP de planta de quesos. Fuente: Quillayes Surlat, 2020.

Como se puede apreciar en la Figura 23 cada tanque de almacenamiento tiene cuatro válvulas de entrada y salida permitiendo de esta manera que las cuatro bombas (de 30 [m³/h] de caudal máximo) puedan funcionar de manera independiente.

5.1.8 Sistema de tratamiento primario D.A.F

El sistema de tratamiento primario presente en la planta de producción de quesos de Quillayes Surlat consiste en un tanque equalizador de 350 [m³] en donde todo RIL proveniente de la planta se deposita, este tanque equalizador está unido a un tanque de ácido sulfúrico y uno de hidróxido de sodio con el propósito de verter estos químicos si es que el pH de los RILes están fuera de rango (pH 5,5 – 9,0). El residuo industrial líquido proveniente del tanque equalizador es movilizado mediante una bomba a 25 [m³/h] (hasta un máximo de 30 [m³/h]) a través del tubo floculador donde se administra cloruro de hierro (III) el cual llega al tanque de flotación donde se le administra las burbujas de aire para separar los flóculos del RIL, el lodo que flota a la superficie del tanque de flotación que es extraído por medio de paletas en la superficie.

La Figura 24 visualiza lo que es el proceso de tratamiento primario DAF presente en la planta.

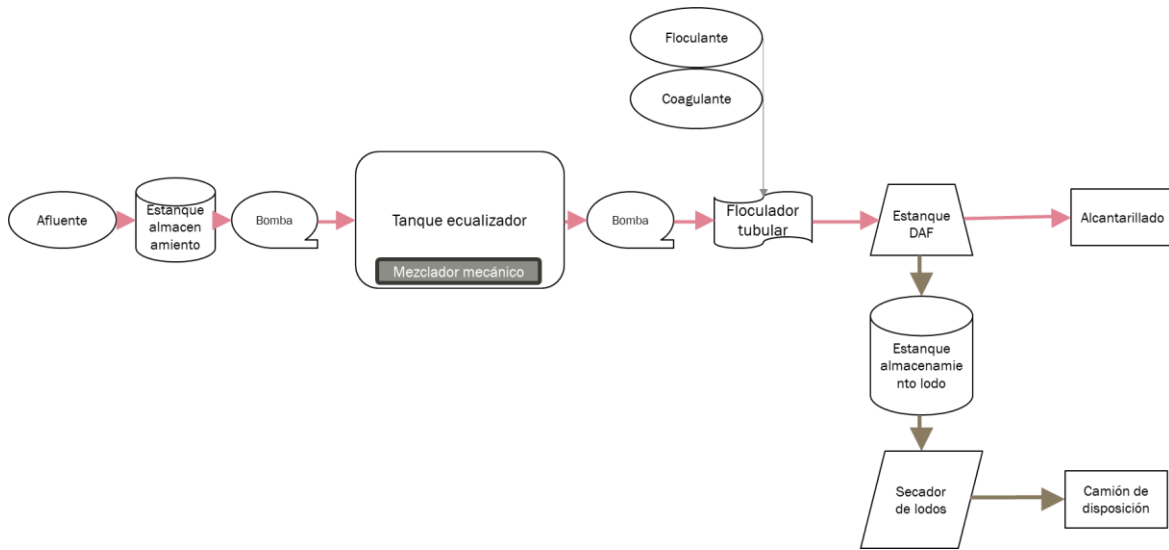


Figura 24 Diagrama de bloque de sistema DAF

5.2 Levantamiento de datos de consumos de agua y aporte de riles

Para el mes de febrero se observaron los consumos de agua e instancias de descarga de RIL para las diferentes áreas de la planta presentados a continuación.

5.2.1 Área de recepción

Los siguientes puntos dan a conocer los consumos de agua o lo aportado a RIL en el área de recepción.

5.2.1.1 Recepción de camiones cisterna

Todo camión cisterna que ingresa a la planta es lavado externamente con agua para extraer el polvo que el camión contenga, donde el mismo conductor del camión cisterna se encarga de hacer el lavado. La Figura 25 muestra el volumen de agua diario aportado al alcantarillado por el lavado externo de camiones cisterna.

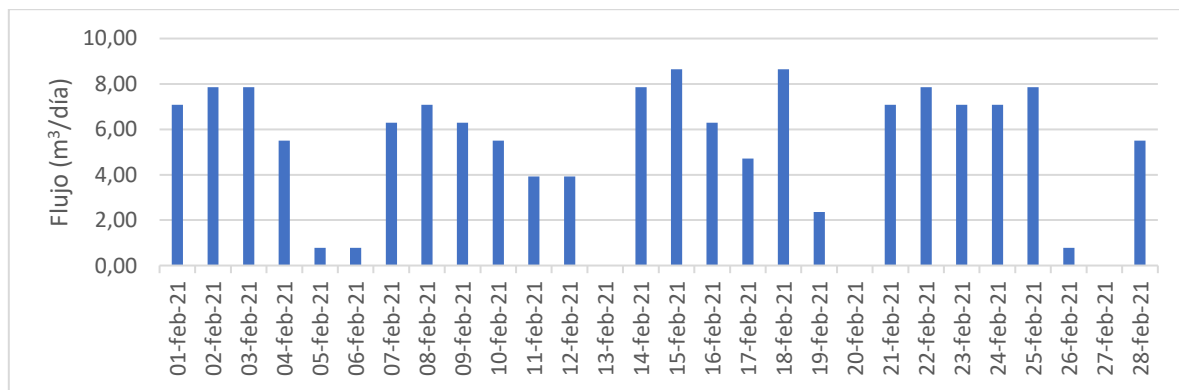


Figura 25 Volumen de lavado externo de camiones cisterna.

5.2.1.2 Equipos de extracción de leche y proteína

A la planta ingresan camiones cisterna conteniendo dos materias primas, leche y proteína, cada uno de estos recursos es extraído del camión cisterna de la misma manera, pero con equipos diferentes, los cuales son lavados mediante el sistema de lavado CIP.

La Figura 26 muestra el volumen de RIL aportado por el lavado CIP de equipos de leche y proteína.

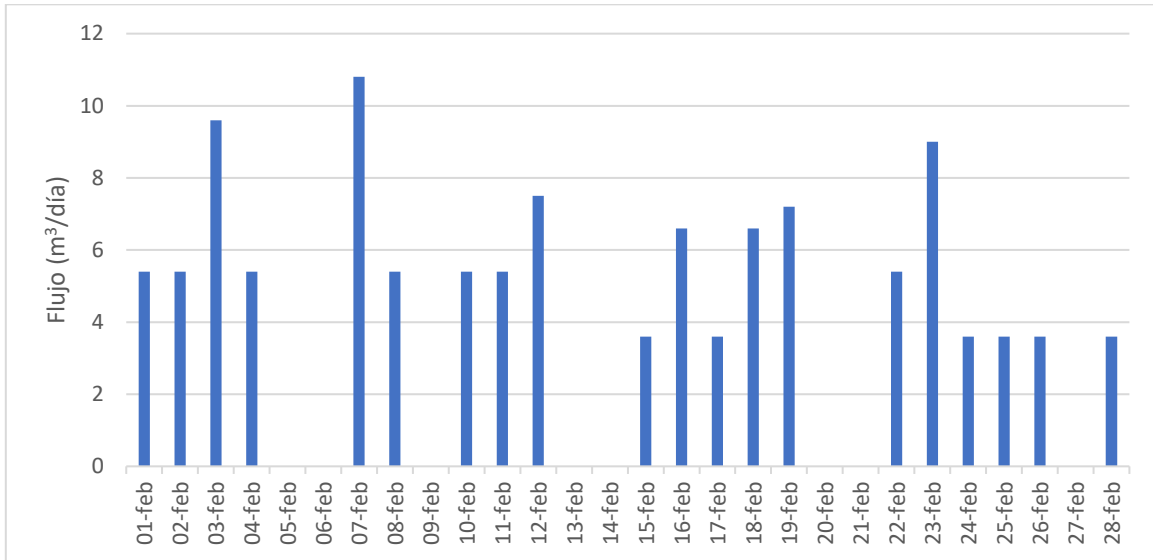


Figura 26 Volumen de lavado CIP para equipos de extracción de leche y proteína.

5.2.1.3 Lavado CIP de “tótems” y camiones cisterna

De manera interna se lavan tanques de almacenamiento llamado “tótems” y los camiones cisterna que ingresan a la planta mediante el lavado CIP.

La Figura 27 muestra el aporte de RIL del lavado interno de camiones cisterna y lavado de tótem para el mes de febrero.

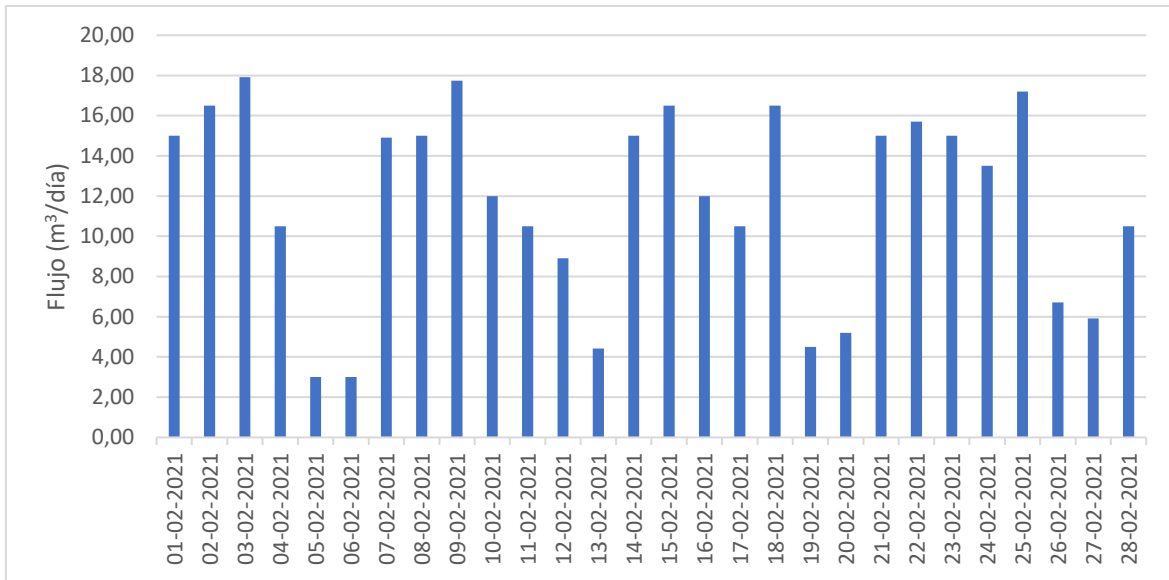


Figura 27 Volumen de lavado de CIP de cisterna y tótem.

5.2.1.4 Volumen de agua del área recepción.

La Figura 28 muestra el aporte total de RIL por las secciones ya descritas para el área de recepción en el mes de febrero.

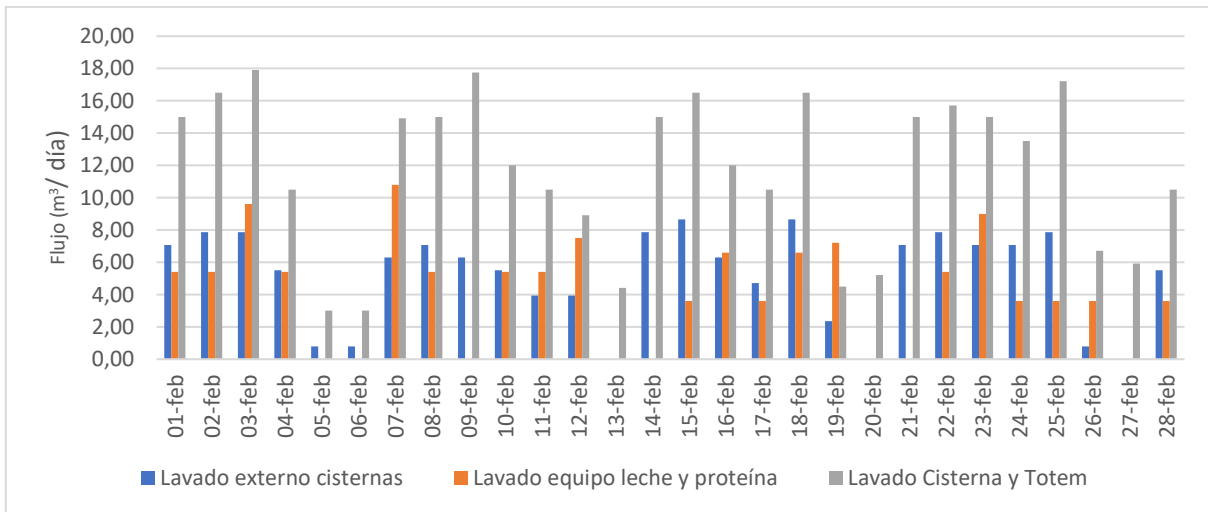


Figura 28 Volumen total de agua usado para área de recepción.

5.2.2 Área de silos

El área de silos es el área en el cual se almacena las diferentes materias primas en las cuales se produce el queso, siendo estas la leche cruda, suero concentrado y proteína.

En la Tabla 14 se identifican los estanques presentes en la planta y respectivo contenido.

Tabla 14 Lista de tanques de almacenamiento, su volumen y contenido.

Nombre tanque	Contenido
---------------	-----------

	Volumen [m ³]	
Silo 1	100	Leche cruda
Silo 2	100	Leche cruda
Silo 3	100	Leche cruda
Silo 4	100	Leche cruda
Silo 180	80	Suero concentrado
Silo 280	80	Suero concentrado
Silo 30k	30	Suero proveniente de ricota
Silo 50k	50	Suero proveniente de quesería
TK 11	10	Proteína
TK 12	50	Proteína

5.2.2.1 Consumo de agua lavado CIP

El consumo de agua presente en el área de silos fue observado como el agua consumida para realizar los lavados CIP para los tanques de almacenamiento, la Figura 29 muestra sus consumos para el mes de febrero.

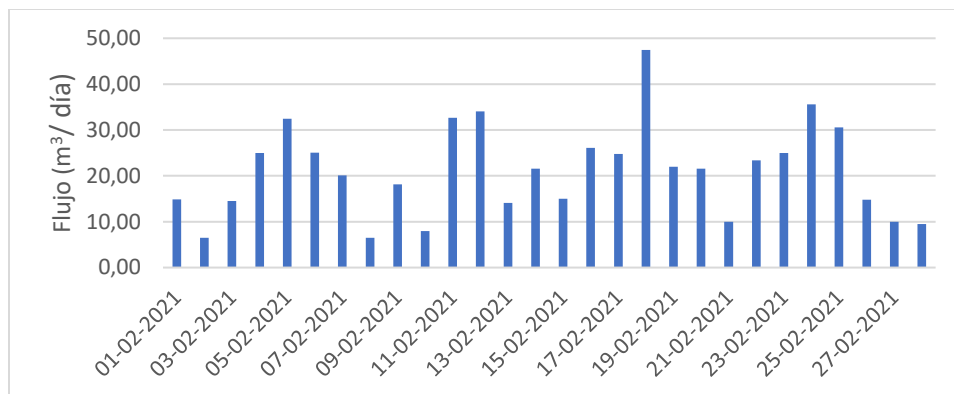


Figura 29 Agua total usada para área de silos.

5.2.3 Área de pasteurización

Se da a conocer los consumos de agua en los equipos del área de pasteurización.

5.2.3.1 Consumo de agua de lavado CIP

Para el área de pasteurización se tomó en cuenta los dos equipos de pasteurización presentes en la planta quesera, la gráfica de la Figura 29 da cuenta el aporte de RIL del lavado CIP para el mes de febrero.

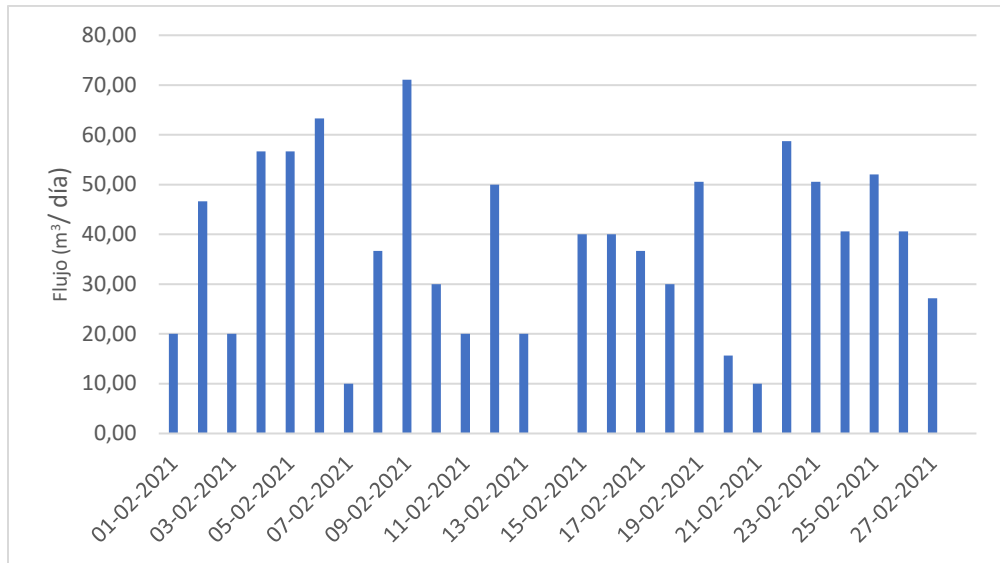


Figura 30 Volumen de lavado CIP de área de pasteurización.

5.2.3.2 Pasteurizador de leche y de suero

Se observó que, para los pasteurizadores de suero y leche, se usa agua antes que comience el ciclo de producción, llamado según sus operadores “producción con agua”, que consiste en hacer recorrer agua por las mismas tuberías en que lo haría la leche o suero, pero esta es vertida directamente al alcantarillado, generando un desperdicio de agua la cantidad de agua usada para cada uno de estos pasteurizadores presentándose sus valores en la Figura 31.

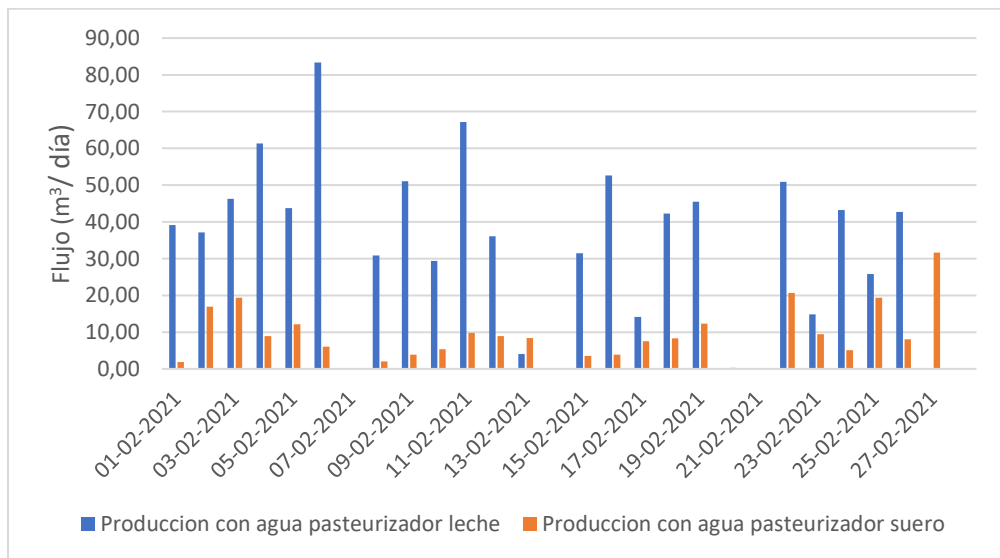


Figura 31 Volumen de agua usada para configuración "producción con agua".

5.2.3.3 Lavado CIP equipo osmosis reversa

Este equipo se distingue de los demás dentro del área de pasteurización debido a la gran cantidad de agua que ocupa para cada lavado CIP, cantidad de volumen se puede apreciar en la Figura 32.

5.2.3.4 Permeado proveniente de equipo de osmosis reversa

El subproducto de la concentración del suero llamado permeado es vertido al alcantarillado el cual llega a tener volúmenes para el mes de febrero mostrados en la Figura 32.

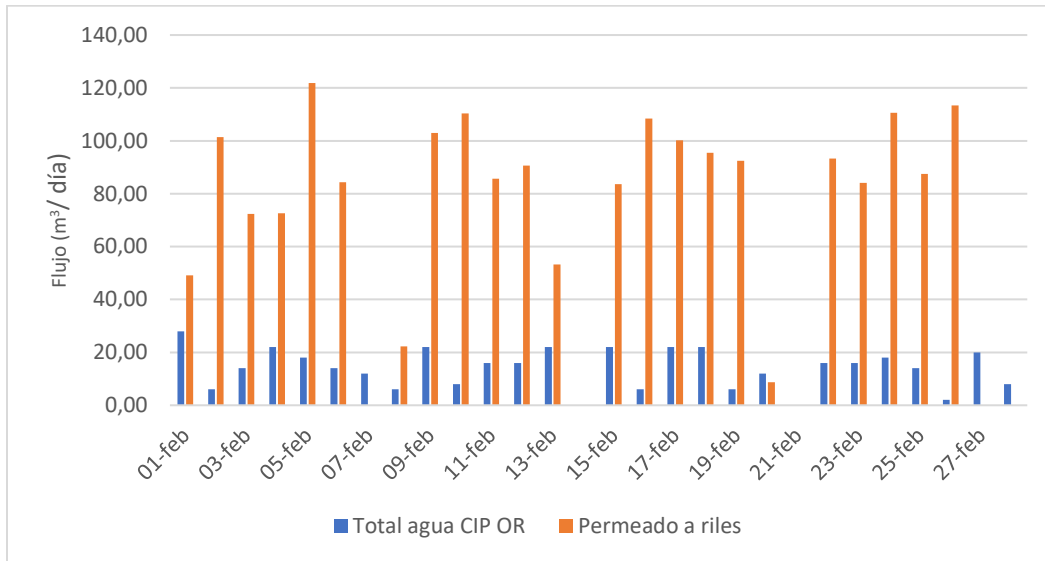


Figura 32 Volúmenes de lavado CIP y vertido de permeado de equipo de osmosis reversa.

5.2.4 Área de quesería

Los riles aportados por el área de quesería son, los originados por lavados CIP, de agua de enfriamiento, que corresponde al agua usada en las tinas de producción de queso para mantener una temperatura deseada, y el agua suero, que corresponde al empuje de los últimos volúmenes de suero con gránulos de queso mediante el uso de agua, la Figura 33 representa el flujo [m³/d] de estos para el mes de febrero.

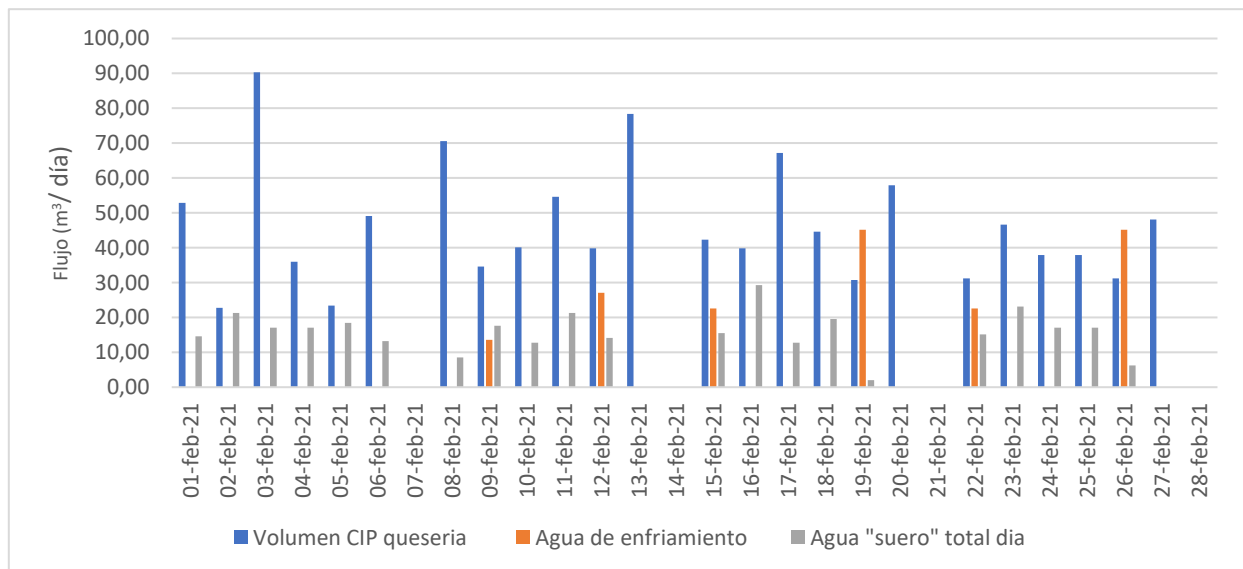


Figura 33 Volúmenes de agua presente en área de quesería.

5.2.5 Área de saladero

Los RILes aportados por el área de saladero corresponden a, el lavado de filtro de salmuera, que se lleva a cabo una vez a la semana en el cual se lava manualmente, lavado de bandejas, que son bandejas de plástico que se usan en el salado de queso, y cuando se rellena el saladero, proceso que se usa para cierta producción de queso en donde se usan bandejas de plasticos para salar los quesos y se tiene que hacer uso de un mayor volumen de agua saturada con sal, los volúmenes de estos RIL aportados se presentan en la Figura 34.

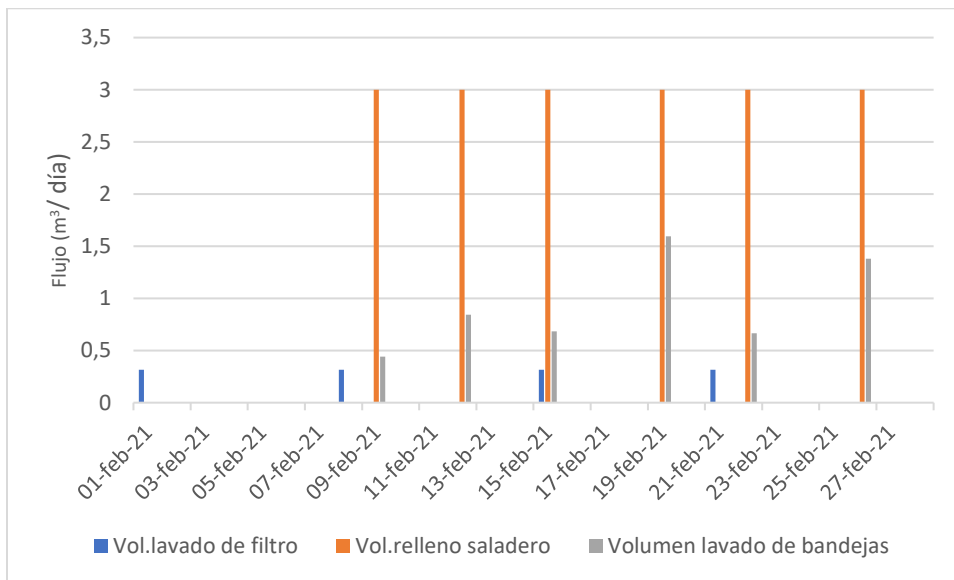


Figura 34 Agua usada en área saladero.

5.2.6 Área de ricota

Para el área de ricota los orígenes de RIL se presentan en, lavados CIP, que corresponde al lavado CIP del túnel de separación de suero y ricota y del lavado manual, el cual es la limpieza de los silos en donde se prepara la ricota en donde se activa la bomba de una de las líneas de lavado CIP por una hora, los volúmenes pueden ser apreciados en la Figura 35.

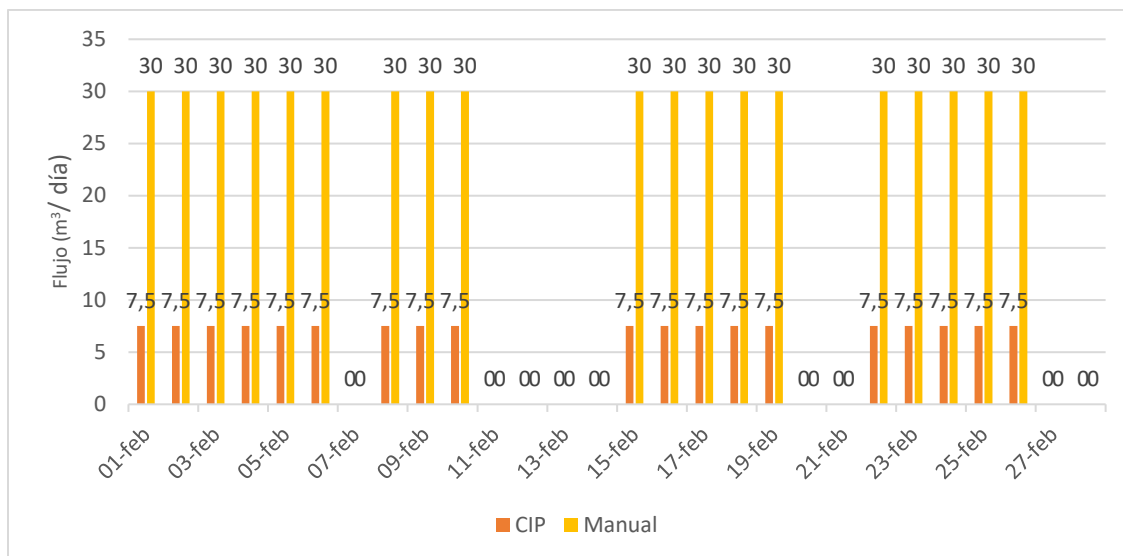


Figura 35 Volumen de agua usada en área de ricota.

5.2.7 RIL aportados por el sistema de lavado CIP

Se consideró los químicos de soda caustica y ácido nítrico provenientes del sistema, ya que estos tienen que ser recargados al sistema CIP periódicamente, lo que significa que son perdidos durante los lavados CIP y vertidos al alcantarillado de la planta. Debido a la falta de datos de diarios, se presenta la Tabla 15 el volumen total para el mes de febrero.

Tabla 15 Volumen total de soda caustica y ac. nítrico diluido vertido al alcantarillado del sistema CIP para el mes de febrero.

	Soda caustica diluida	Ácido nítrico diluida
Volumen RIL para mes de febrero [m³/mes]	124,58	115,08

5.2.8 Riles de la planta de tratamiento primario

Los siguientes puntos darán a conocer el análisis de los datos provenientes de la planta de tratamiento primario, dando a conocer la comparación de RIL calculado en terreno/tratamiento de RIL, volumen tratado de los RIL, la concentración de DBO₅ y una comparación de RIL tratado con la leche recibida de la planta.

5.2.8.1 Comparación de riles de la planta de tratamiento y lo calculado

Considerando los riles de cada área y los riles tratados, en la Figura 36 se da a conocer el aporte de riles según los datos obtenidos.

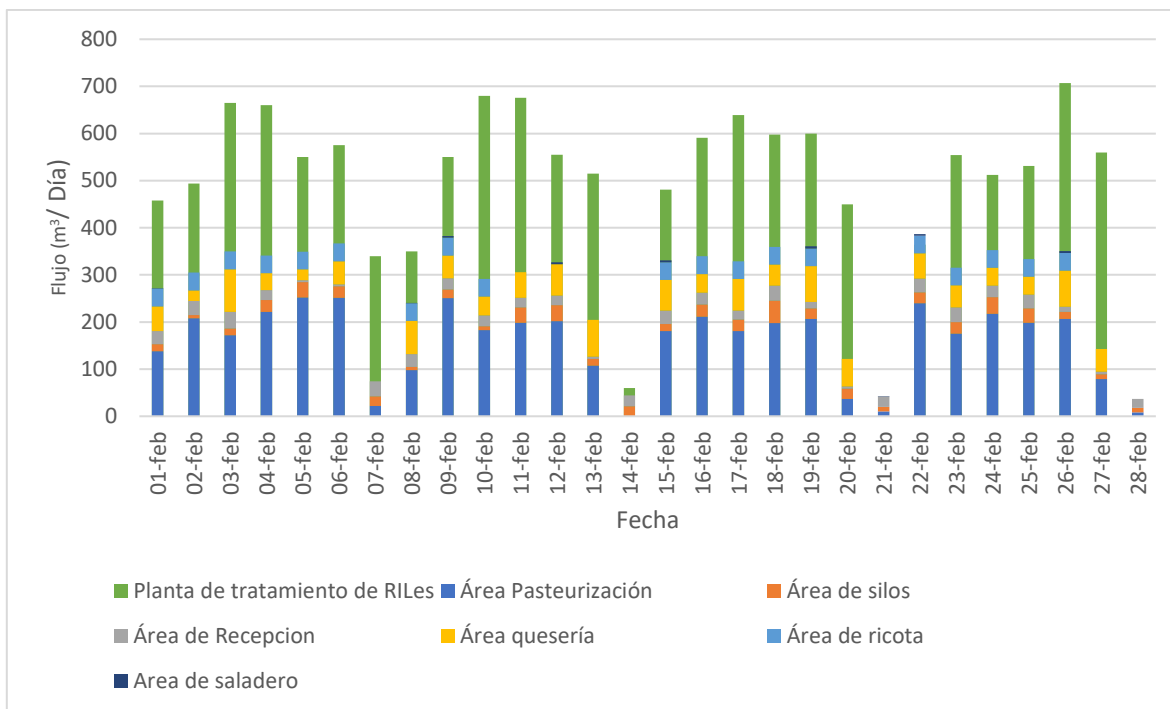


Figura 36 Comparación del afluente de la planta de tratamiento primario y el área volumen vertido de la planta productora de quesos.

Se da a aclarar que la planta de tratamiento primario usualmente no es activada los domingos, sin embargo, los lavados CIP se llevan a cabo esos días para tener los equipos listos para la producción de los lunes.

Tomando en cuenta los volúmenes de químicos de soda caustica y ácido nítrico usados en los lavados en el sistema CIP y los volúmenes de RIL del lavado CIP en las demás áreas, se pudo obtener en base a mis datos un total de 7.894 [m³] de RIL aportados a la planta de tratamiento de RILes, mientras que el valor real tratado de la planta es de 13.715 [m³] de RIL, por lo que se pudo obtener en base a lo considerado en esta investigación un 58% de los riles.

5.2.8.2 Volúmenes tratados en planta de tratamiento

La planta de tratamiento primario no puede verter más allá de 504[m³/d] de RIL al alcantarillado, para el mes de febrero, la Figura 37 muestra los días en donde se sobrepasó aquel limite.

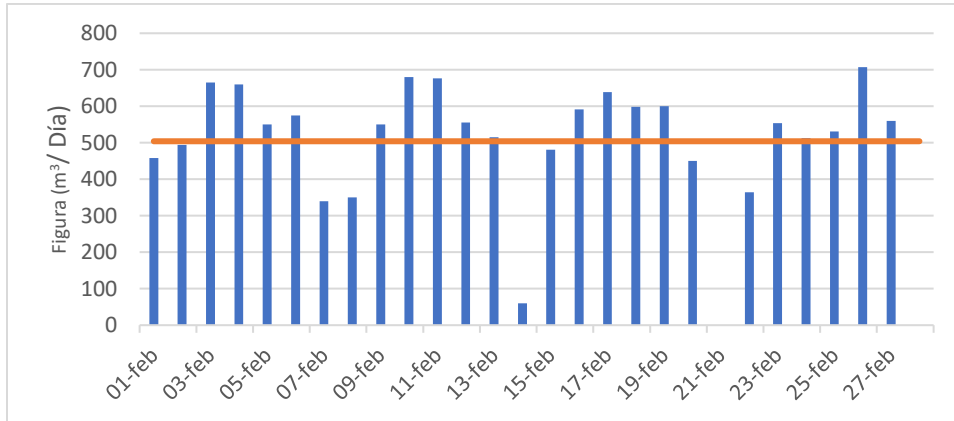


Figura 37 Volumen de efluente de planta de tratamiento y su límite de vertido diario.

Para febrero, 18 de los 28 días del mes sobrepasaron los límites de vertido de riles, es decir un 64% de los días del mes, en donde se obtuvo un promedio de caudal del 489,82 [m³/d] con una desviación estándar de ±191,46.

5.2.8.3 Parámetros de DBO₅

Debido a que el efluente de la planta de tratamiento es vertido al alcantarillado esta, no debe superar los 300 [mg/L] de DBO₅. La Figura 38 da a conocer los días en los cuales se sobrepasó el límite de DBO₅.

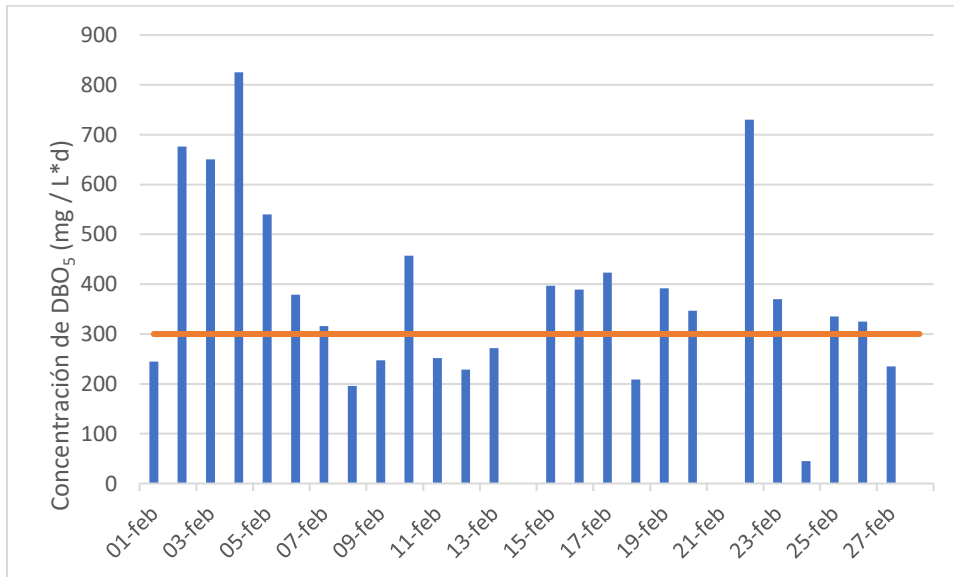


Figura 38 DBO presente en efluente de RIL y su límite diario para la planta de tratamiento.

Para febrero (ver Figura 38) hubo 16 días en los cuales se sobre paso el parámetro de DBO₅ permitido para verter en el alcantarillado, en donde también se obtuvo el promedio de la DBO₅ de 338,63[mg/l] con una desviación estándar de ±210,35.

5.2.8.4 Comparación RIL / leche recibida de la planta

La Figura 39 muestra los volúmenes de leche recibida y RIL producido para el mes de febrero permitiendo apreciar la diferencia de volúmenes de leche recibida para producir queso y la generación de RILes en base a la producción de queso.

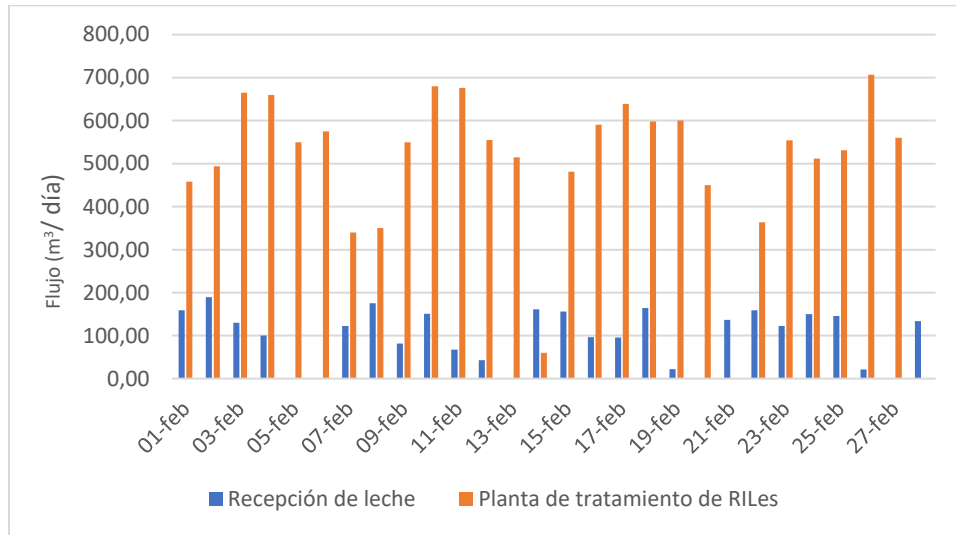


Figura 39 Volúmenes de RIL vertido al alcantarillado y recepción de leche para el mes de febrero.

En base al total de la leche recibida (2.784 [m³]) y el RIL tratado, se obtiene que para el mes de febrero la razón de RIL con leche recibida es de 5 [L] de RIL por cada litro de leche recibida.

5.3 Propuesta operacional/ tecnológica

Esta propuesta tiene como objetivo disminuir los consumos de agua de los lavados CIP de los equipos al igual que proponer un tratamiento secundario de riles para la disminución de DBO₅.

5.3.1 Área de recepción

A continuación, se dan a conocer los cambios propuestos para los equipos del área de recepción.

5.3.1.1 Receta CIP de camión cisterna y tótem

La Tabla 16 muestra tres recetas de lavado CIP, que son los tiempos de uso de bomba para cada etapa dentro de la receta, el porcentaje de velocidad que se ocupara la bomba y el caudal de esta, para que de esta manera se pueda realizar de manera exitosa el lavado CIP del equipo.

Tabla 16 Parámetros de lavado CIP para las 3 recetas de camiones cisterna y tótems.

Etapas de lavado CIP	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Tiempo vaciado inicial cisterna [s]	3	3	0
Tiempo aclarado 1 [s]	60	120	0
Tiempo vaciado agua aclarado 1 [s]	5	5	0
Tiempo Lavado soda [s]	120	420	0
Tiempo vaciado soda cisterna [s]	5	5	0
Tiempo aclarado 2 [s]	120	180	0
Tiempo vaciado aclarado 2 [s]	5	5	0

Tiempo lavado acido [s]	120	0	0
Tiempo vaciado acido [s]	5	0	0
Tiempo aclarado 3 [s]	240	360	300
Tiempo vaciado agua final [s]	5	5	40
Velocidad bomba 21 impulsión [%]	63%	53%	60%
Función V12 (0-parado 1-continuo 2-fases)	2	0	0
Tiempo aclarado 3 con sanitización [s]	5	5	5
Q (bomba) [L/s]	5,25	4,42	5

Asumiendo que para la “Receta 2” el porcentaje de velocidad de la bomba 21 es suficiente para el lavado apropiado del equipo, y el tiempo de lavado correspondiente al “aclarado 1” de “Receta 1” sea suficiente para el enjuague de partículas de leche y suero en el equipo y, por lo tanto, también para la soda caustica y ácido nítrico inyectado en el lavado, se propone que para:

Receta 1:

- Se cambie el porcentaje de impulsión de la bomba 21 a 53%, para tener un caudal de 4,42 [L/s].

Receta 2:

- Se disminuya el tiempo de aclarado 1 y 2 por 60 [s].
- Eliminar el tiempo de aclarado 3, ya que el enjuague de la soda caustica es hecho por “tiempo de aclarado 2”.

Receta 3:

- Disminuir el porcentaje de impulsión de la bomba 21 a 53%.

5.3.1.2 Receta de lavado de equipo de extracción de leche y proteína

Las recetas de los equipos que se usaron para la extracción de materia prima también se les hicieron modificaciones

A) Equipo de extracción de leche.

La Tabla 17 muestra las etapas de lavado CIP con sus tiempos para las 3 recetas de lavado que tiene el equipo de extracción de leche.

Tabla 17 Parámetros de lavado CIP para equipo de extracción de leche.

Etapas de lavado CIP	Equipo extracción de leche		
	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Tiempo aclarado 1 [s]	180	180	120
Tiempo lavado Soda [s]	300	240	0
Tiempo aclarado 2 [s]	120	300	0
Tiempo lavado acido [s]	180	300	0
Tiempo aclarado 3 [s]	420	600	300
Bomba	21	21	21

Velocidad bomba [%]	60%	60%	60%
Bomba retorno	B1	B1	B1
Velocidad bomba retorno [%]	100%	100%	100%
Tiempo aclarado 3 con sanitización [s]	25	25	25
Q (bomba) [L/s]	5,0	5,0	5,0

Sabiendo que existen diferentes tipos de lavados CIP correspondiente para los equipos, siendo uno de ellos el lavado CIP con soda caustica con el uso de limpiar al equipo de las partículas orgánicas provenientes de la leche, se propone que para:

Receta 1:

- No se debe hacer ningún cambio, esta receta se asignará para hacer lavado de soda caustica y ácido nítrico también conocido como lavado completo.

Receta 2:

- Se asignará esta receta solo para lavado de soda caustica.
- “Tiempo de lavado de ácido” cambiar a tiempo 0.
- “Tiempo de aclarado 3” cambiar a tiempo 0.

Receta 3:

- No se hace ningún cambio.

B) Equipo de extracción de proteína

La Tabla 18 muestra las etapas de lavado para las 3 recetas del equipo de extracción de proteína.

Tabla 18 Parámetros de lavado CIP para equipo de extracción de proteína.

Etapas de lavado CIP	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Tiempo aclarado 1 [s]	300	300	300
Tiempo lavado Soda [s]	420	300	0
Tiempo aclarado 2 [s]	180	300	120
Tiempo lavado acido [s]	240	180	0
Tiempo aclarado 3 [s]	240	240	180
Bomba	21	21	21
Velocidad bomba [%]	60%	60%	60%
Bomba retorno	B2	B2	B2
Velocidad bomba retorno [%]	60%	60%	60%
Tiempo aclarado 3 con sanitización [s]	5	5	5
Q (bomba) [L/s]	5,0	5,0	5,0

Sabiendo que existen diferentes tipos de lavados CIP correspondiente para los equipos siendo uno de ellos el lavado CIP con soda caustica con el uso de limpiar al equipo de las partículas orgánicas provenientes de la leche, se propone que para:

Receta 1:

- No se debe hacer ningún cambio, esta receta se asignará para hacer lavado de soda caustica y ácido nítrico.

Receta 2:

- Se asignará esta receta para lavado de soda caustica.
- “Tiempo lavado de ácido” cambiarlo a tiempo 0.
- “Tiempo aclarado 3” cambiarlo a tiempo 0.

Receta 3:

- No se hará ningún cambio.

5.3.1.3 Cambio de receta CIP para camiones cisterna

Debido a que se usa una misma receta CIP para todos los camiones cisterna que entran a la planta, donde los camiones tienen volúmenes de 14 – 30 [m³], se hizo una segunda receta que corresponderá a todos los camiones cisterna que tengan una capacidad de 20 [m³] o menor. La primera receta se ocupará para los otros camiones que tengan un volumen superior a 20 [m³].

La Tabla 19 muestra las etapas de lavado CIP para las recetas de lavado de los camiones cisterna.

Tabla 19 Receta nueva para camiones de volumen menor a 20 [m³].

Etapas de lavado CIP	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Tiempo vaciado inicial cisterna [s]	3	3	0
Tiempo aclarado 1 [s]	54	107	0
Tiempo vaciado agua aclarado 1 [s]	5	5	0
Tiempo Lavado soda [s]	120	420	0
Tiempo vaciado soda cisterna [s]	5	5	0
Tiempo aclarado 2 [s]	107	161	0
Tiempo vaciado aclarado 2 [s]	5	5	0
Tiempo lavado acido [s]	120	0	0
Tiempo vaciado acido [s]	5	0	0
Tiempo aclarado 3 [s]	214	322	268
Tiempo vaciado agua final [s]	5	5	40
Velocidad bomba 21 impulsión [%]	1	1	1
Tiempo aclarado 3 con sanitización [s]	5	5	5
Q (bomba) [L/s]	5,25	4,42	5,00

5.3.2 Área de silos

Se presentarán los cambios operacionales propuestos para el área de silos correspondiente a los lavados CIP.

5.3.2.1 Silos 1 al 4 de almacenamiento de leche cruda

Debido a que los silos 1 – 4 son del mismo volumen y contienen leche pasteurizada y no pasteurizada se propone que se tiene que cambiar todas las recetas de los silos 1 a 4 a una misma receta, que sería la presentada en la Tabla 20.

Tabla 20 Parámetros nuevos de receta CIP para los silos 1 - 4.

Parámetros de lavado CIP	Receta 1	Receta 2	Receta 3
Tiempo aclarado 1 [s]	240	240	0
Tiempo lavado Soda [s]	900	1.200	0
Tiempo aclarado 2 [s]	180	300	0
Tiempo lavado acido [s]	360	0	0
Tiempo aclarado 3 [s]	300	0	600
Bomba	22	22	22
Velocidad bomba [%]	90	90	90
Tiempo aclarado 3 con sanitización [s]	25	25	25
Q (bomba) [L/s]	7,50	7,50	7,50

5.3.2.2 Silos de suero concentrado 180 y 280

Ambos silos tienen la misma capacidad y almacenan el mismo material, por lo que se propone cambiar la receta de estos a aquella que consume menor cantidad de agua, que sería la presentada en la Tabla 21.

Tabla 21 Parámetros nuevos para silos de almacenamiento de suero 180 y 280.

Parámetros de lavado CIP	Silo 180 y 280
Tiempo a objetivo [s]	20
Tiempo a retorno [s]	20
Tiempo enjuague agua [s]	250
Tiempo soda [s]	360
Tiempo enjuague soda [s]	360
Tiempo acido [s]	240
Tiempo enjuague ácido [s]	360
Tiempo vaciado [s]	60
Q (bomba)[L/s]	6,67

5.3.2.3 Silos de almacenamiento de proteína TK11 y TK 12

El silo "TK 11" tiene una capacidad de almacenamiento de 10 [m³] y es aquel que consume más agua para sus lavados CIP.

La Tabla 22 muestra los tiempos para la receta de lavado CIP para el silo "Tk11" y "TK12"

Tabla 22 Parámetros actuales de lavado CIP para Tks 11 y 12 de almacenamiento de proteína.

Parámetros de lavado CIP	Tk11	Tk12
Tiempo a objetivo [s]	30	30
Tiempo a retorno [s]	30	30
Tiempo enjuague agua [s]	120	90
Tiempo soda [s]	300	600

Tiempo enjuague soda [s]	350	300
Tiempo acido [s]	300	600
Tiempo enjuague ácido [s]	350	300
Tiempo vaciado [s]	30	40
Q (bomba)	6,67	6,67

Asumiendo que el lavado de ambos es suficiente, tienen el mismo tamaño y contienen el mismo producto, se observa que la receta de lavado de “TK 11” consume una mayor cantidad de aguas, por lo tanto, se recomienda usar los mismos parámetros de lavado de “TK 12” para el “TK 11”.

5.3.3 Área de pasteurización

5.3.3.1 Producción de agua para pasteurizador de leche y suero

Se observó que, para ambos pasteurizadores, al estar en el programa de “producción con agua”, el agua usada de estos se vertía al alcantarillado, por lo que se propone modificar el programa para que el agua usada solo se tenga que recircular en los pasteurizadores.

La Tabla 23 muestra los consumos de agua de los pasteurizadores de leche y suero para las semanas de febrero.

Tabla 23 Agua usada para el mes de febrero para programa de producción con agua.

Fecha	Producción con agua pasteurizador de leche [m ³]	Producción con agua pasteurizador de suero [m ³]
1-7 febrero	311,06	65,27
8 - 14 febrero	218,63	38,39
15 - 21 febrero	186,05	35,94
22 - 28 febrero	177,53	94,22

5.3.3.2 Permeado de equipo de osmosis reversa

Todo el volumen de leche recibido en la planta para la fabricación de queso se transforma en suero. Este suero se utiliza para la producción de ricota y luego se concentra mediante un equipo de ósmosis inversa. El retentado se almacena para su posterior envío a otras plantas de la empresa, mientras que el permeado se vierte en los sistemas de tratamiento (Riles), la Figura 40 da a conocer el volumen de permeado vertido.

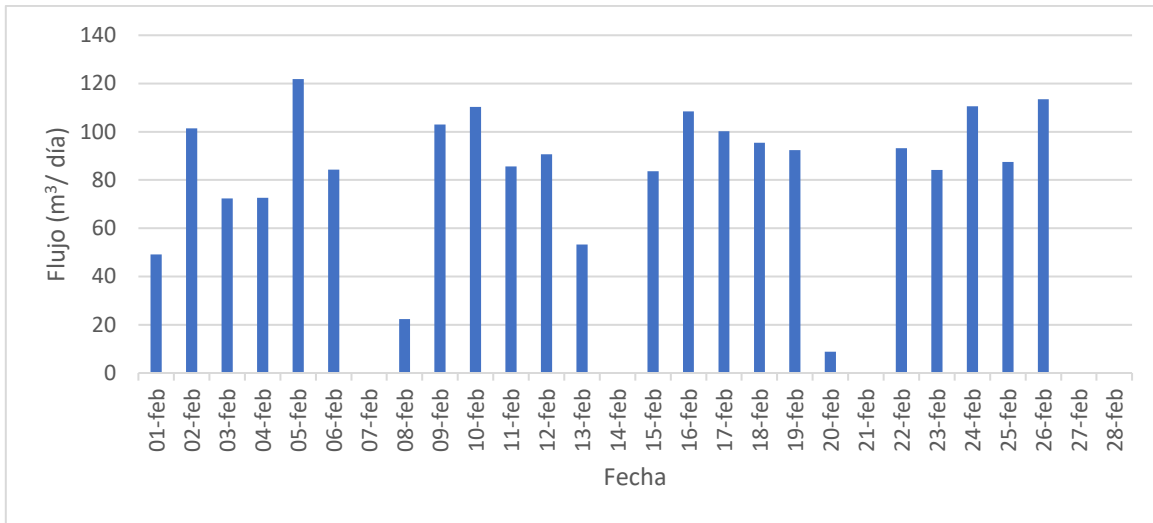


Figura 40 Volumen diario de permeado vertido a RIL.

El permeado proveniente de la osmosis reversa también puede ser usado, por ejemplo, en las etapas de enjuague del sistema CIP o lavado de piso de áreas (phosver, 2013), previniendo el uso de 1.944,55 [m³] de RIL para el mes estudiado.

5.3.4 Evaluación de disminución de RIL a la planta de tratamiento.

Tomando en cuenta los cambios de receta de los diferentes equipos de la planta quesera, al igual que la recirculación de agua usada para el programa “producción con agua” de los pasteurizadores de leche y suero, así como el uso para riego del permeado generado por la ósmosis reversa se calculó los volúmenes de RIL generados mostrados en la Figura 41.

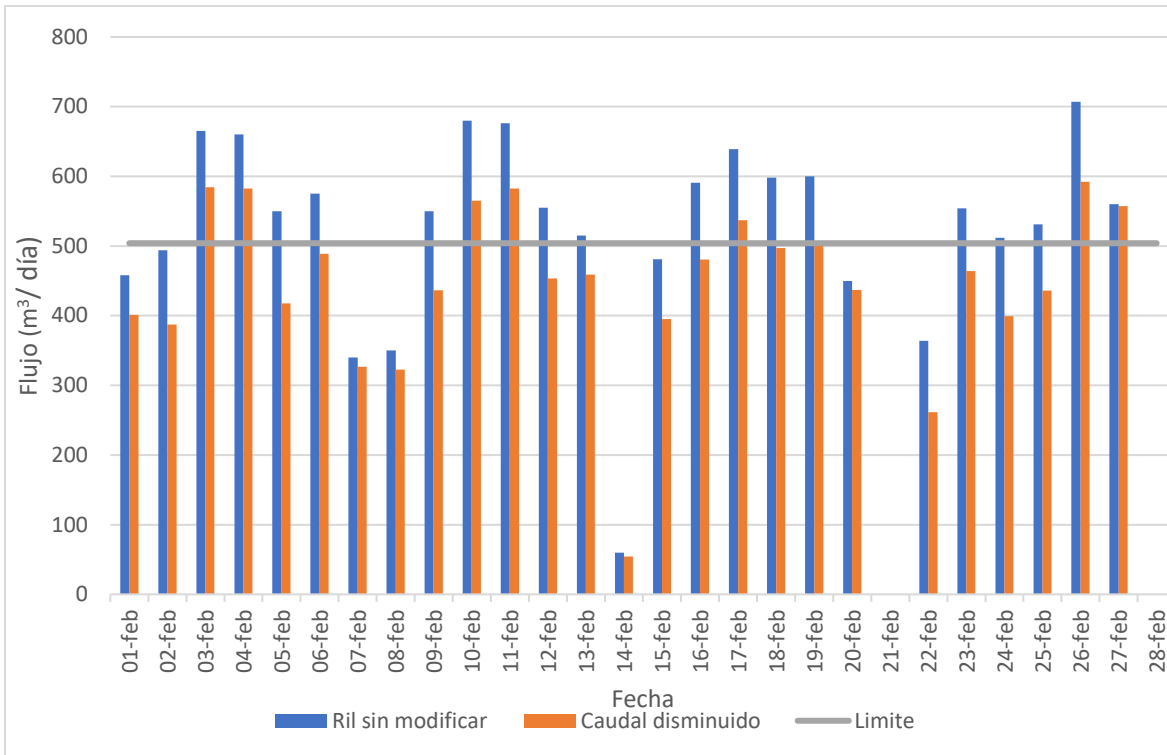


Figura 41 RIL generado en base a los cambios propuestos comparado con el volumen de RIL sin cambios y el límite de vertido de RIL al alcantarillado.

En base a los cálculos dados, se pudo obtener una disminución al 84.75% del volumen de RIL mensual, así como una disminución de días de sobrepaso de vertido de RILes de 16 días a 8 días al mes, con una disminución de 2.091,06 [m³/mes] de RIL.

La compañía contratista encargada del manejo de la planta hace un cobro adicional a la empresa de \$600 pesos chilenos por cada metro cubico de RIL tratado en la planta, por lo tanto, se disminuye el gasto operacional de la planta de RIL en \$1.254.635 pesos chilenos.

5.3.5 Propuesta técnica de “Lodos activados de mezcla completa”

El promedio del caudal afluente más la desviación estándar de este y la concentración de DBO₅ Inicial su promedio más la desviación estándar de este y la concentración de DBO₅ del efluente se tomó los parámetros de el DS n°609 en este caso 250 [mg/l] como base para el diseño de esta planta de tratamiento secundario es representado en la Tabla 24.

Tabla 24 Parámetros iniciales de diseño de fangos activados.

Parámetro	Valor	Unidad
Dbó afluente	548,98	mg/L
Dbó efluente	250,00	mg/L
Caudal de afluente	681,28	m³/d

La Tabla 25 muestra los parámetros cinéticos usados para el diseño del reactor para una planta de tratamiento secundario de lodos activados.

Tabla 25 Parámetros cinéticos para diseño de reactor de tratamiento de lodos activados. Fuente: Kiely et al. (1999).

Parámetro	Valor	Unidad
Y	0.60	mgVSS/mg DBO
kd	0.06	d ⁻¹
SSLM reactor	4.000	mg/L
θ _c	5	d

5.3.5.1 Volumen de reactor

El volumen del reactor o tanque de oxidación en el cual se hará la disminución de DBO₅. Es calculado en base a la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\theta_c * Q_0 * Y}{X} * \left(\frac{S_0 - S_e}{1 + kd * \theta_c} \right)$$

En donde:

V = Volumen del reactor [m³].

θ_c = Tiempo de retención celular en días [d].

Q₀ = Caudal Afluente en metros cúbicos por día [m³/d].

Y = Coeficiente de producción o tasa de crecimiento de las células.

X = Concentración de solidos suspendidos del licor mezcla en el reactor [mg/L].

S₀ = Concentración de DBO₅ del afluente [mg/L].

S_e = Concentración de la DBO₅ del efluente [mg/L].

kd = Tasa de mortandad de las células [d⁻¹].

$$V = \frac{5 [d] * 681,20[m^3] * 0,60}{4.000 \left[\frac{mg}{l} \right]} * \left(\frac{548,98 \left[\frac{mg}{l} \right] - 250,00 \left[\frac{mg}{l} \right]}{1 + 0,06 \left[\frac{1}{d} \right] * 5[d]} \right)$$

$$= 117,51 [m^3]$$

El volumen del reactor necesario es de 117,51 [m³].

5.3.5.2 Tiempo de retención hidráulica

El tiempo en el cual el RIL se queda en el reactor o tanque de oxidación es representado por la siguiente ecuación:

$$\theta h = \frac{V}{Q_0}$$

En donde:

θh = Tiempo de retención hidráulica en días [d] o horas [h].

V = Volumen del reactor [m³].

Q_0 = Caudal del afluente [m^3/d].

$$\theta h = \frac{117,51[m^3]}{681,28[\frac{m^3}{d}]} =$$

$$= 0,17[d] = 4,14[h]$$

El tiempo de retención hidráulica es de 4,14[h].

5.3.5.3 Fangos, masa a purgar

A) Fangos para purgar en el reactor/Tanque de oxidación

Los fangos para purgar dentro del reactor son en base a la siguiente ecuación.

$$Px = \frac{V * SSLM}{\theta c}$$

En donde:

P_x = Fangos a purgar [kg/d].

V = Volumen del reactor [m^3].

$SSLM$ = Solidos suspendidos en liquido mezcla [kg/ m^3].

θc = Tiempo de retención celular [d]

$$Px = \frac{117,51[m^3] * 4[\frac{kg}{m^3}]}{5[d]} =$$

$$= 94,01 \left[\frac{kg}{d} \right]$$

La cantidad de lodos a purgar del reactor es de 94,01 [kg/d].

5.3.5.4 Aire necesario

Para el cálculo de aire necesario en el reactor para la disminución de DBO_5 se debió calcular el oxígeno necesario y en base al oxígeno el aire el cual ingresara al reactor o tanque de oxidación, la Tabla 26 da a conocer los parámetros necesario para este cálculo.

Tabla 26 Parámetros para cálculo de Aire necesario.

Parámetro	Magnitud	Unidad	Descripción	Referencia
P_x	94,01	kg/d	Masa diaria de fangos a purgar	Propia
P aire	1,21	kg/ m^3	Densidad del aire	Eddy (1995)
Eficiencia O_2	0,08	No tiene	Eficiencia de transferencia de oxígeno	
% O_2 /aire	0,23		Porcentaje de oxígeno en el aire	
f	0,45	No tiene	Factor de conversión de DBO_5 a DBO_L	Eddy (1995)
	0,68			

A) Oxígeno necesario

El oxígeno necesario para la disminución de la DBO₅ del afluente a lo necesario en el efluente es representado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{oxígeno}} = \frac{Q(S_o - S_e)}{f} - 1,42 * P_x$$

En donde:

$\dot{m}_{\text{Oxígeno}}$ = Flujo masico de oxígeno necesario para disminución de DBO₅ en [kg/d].

Q = Caudal de afluente [m³/d].

S_o = DBO₅ del afluente en [kg/m³].

S_e = DBO₅ del efluente en [kg/m³].

P_x = Lodos de purga del reactor o tanque de oxidación en [kg/d].

f = Factor de conversión de DBO₅ a DBO_L (DBO limite o la máxima posible).

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{oxígeno}} &= \frac{681,28 \left[\frac{m^3}{d} \right] * (0,549 \left[\frac{kg}{m^3} \right] - 0,250 \left[\frac{kg}{m^3} \right])}{0,45} - 1,42 * 94,1 \left[\frac{kg}{d} \right] = \\ &= 319,15 \left[\frac{kg}{d} \right] \end{aligned}$$

El flujo de oxígeno necesario para la disminución de DBO₅ es de 319,15 [kg/d].

B) Aire necesario

El aire necesario que se tiene que ingresar al reactor o tanque de oxidación al día es representado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{aire necesario}} = \left[\frac{\dot{m}_{\text{oxígeno}}}{[\%O_2/100]} * \frac{1}{p_{\text{aire}}} \right] * \frac{1}{E_{O_2}}$$

En donde:

$\dot{m}_{\text{aire necesario}}$ = Flujo masico de aire necesario al día [kg/d].

$\dot{m}_{\text{oxígeno}}$ = Flujo masico de oxígeno necesario al día [kg/d].

%O₂ = Porcentaje de oxígeno en el aire.

p_{aire} = Densidad de oxígeno [kg/m³].

E_{O₂} = Tasa de transferencia de oxígeno gas al líquido.

$$\dot{m}_{\text{aire necesario}} = \left[\frac{319,15 \left[\frac{kg}{d} \right]}{\left[\frac{23\%}{100} \right] * 1,21 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \right] * \frac{1}{0,08} =$$

$$= 14.334,63 \left[\frac{m^3}{d} \right]$$

El flujo de aire necesario al día que se necesita para la disminución de DBO₅ es de 14.334,63 [m³/d].

5.3.6 Estudio de costos para planta de lodos activados

Se estimo los costos asociados a los lodos activados incluyendo costo eléctrico, costo de productos químicos, costo de monitoreo ambiental y control de procesos, costo control de procesos y finalmente el costo de personal de la planta, gracias a un estudio tarifario de aguas por el servicio sanitario aguas Santiago poniente. La estimación de costo para la disposición de lodos no se incluyó en este capítulo.

5.3.6.1 Gastos en energía eléctrica

Se da a conocer los costos de energía eléctrica de la planta de tratamiento de lodos activados según su consumo de energía para el pretratamiento, el tratamiento biológico, consumo de energía en la desinfección, para la deshidratación de lodos y otros

A) Consumo de energía en tratamiento Biológico

La cantidad de energía de acuerdo con la experiencia es de 1.5 [kWh] por kilogramo de DBO₅ del afluente siendo estos por el uso de aireadores y sopladores, también se sabe que para el mes de febrero se trató una cantidad de 5.238,86 [kg DBO₅], por lo tanto:

$$E \text{ trat. Biologico anual} = m \text{ DBO}_5 * \text{Factor gasto energetico} * \text{meses del año}$$

En donde:

E. trat. Biológico anual [kWh/año] =Corresponde a la energía usada por el tratamiento biológico

m DBO₅ =Corresponde a la masa en kilogramo de DBO₅ del afluente para el mes de febrero.

Factor gasto energético =Corresponde a la cantidad de energía gastada en base al tratamiento de un kilogramo de DBO₅ a tratar [kWh/kg DBO₅].

Meses del año =Corresponde a los meses del año [mes/año].

$$\begin{aligned} E \text{ trat. Biologico anual} &= 5.238,86 \left[\frac{kg DBO}{mes} \right] * 1,5 \left[\frac{kWh}{kg DBO5} \right] * 12 \left[\frac{mes}{año} \right] = \\ &= 94.299,43 \left[\frac{kWh}{año} \right] \end{aligned}$$

Se estimo que el consumo de energía anual de tratamiento biológico para la planta es de 94.299,43 [kWh/año].

B) Consumo energético otros.

Los consumos eléctricos de iluminación interior y exterior estimados se presentan en la Tabla 27 según el caudal [L/s] y su correspondiente consumo energético.

Tabla 27 Consumo de energía de iluminación y su potencia según caudal. Fuente: SSIS 2007

Caudal L/s	Nº Luminarias	Potencia iluminación(kWh/día)	Consumos menores (kWh/día)	Total otros (kWh/año)	Potencia Instalada
5	1	4,8	2,40	2.628	0,5
10	2	9,6	4,80	5.256	1,0
30	3	14,4	4,80	7.008	1,2
50	4	19,2	9,60	10.512	2,0
100	7	33,6	14,40	17.520	3,2
200	12	57,6	14,40	26.280	4,2
>200	12	57,6	19,20	28.032	4,8

Como el caudal promedio es de 6,11 [L/s] se usará los datos correspondientes a el caudal de 10[L/s], por lo que el gasto anual seria de 5.256 [kWh/año] y su potencia de 1.0 kW.

C) Tarifas eléctricas y el total de costo de gasto eléctrico

La Tabla 28 muestra las tarifas AT3 de suministro eléctrico para Loncoche a partir del 1 de mayo de 2024.

Tabla 28 Tarifas eléctricas para el 1 de mayo año 2024. Fuente: CGE 2024

Empresa distribuidora eléctrica	Sector tarifario	Cargo fijo mensual AT3(\$/cliente)	Cargo por energía (\$/kWh)	Cargo por potencia presente en punta (\$/kWh/mes)
CGE Distribución	STxE-18-A	\$ 1.594	\$ 103	\$ 11.922

La estimación costo según el consumo eléctrico anual se basa en la siguiente ecuación:

$$EE = \text{cargo fijo} \left[\frac{\$}{\text{mes}} \right] * 12[\text{mes}] + \text{Consumo de energía} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right] * \text{Cargo energía} \left[\frac{\$}{\text{kWh}} \right] + \text{consumo de potencia} * \text{cargo de potencia} \left[\frac{\$}{\text{kW}} \right] * 12 [\text{mes}]$$

En donde:

EE = Costo total de energía eléctrica [\\$].

Cargo fijo = Costo asociado al servicio [\$/mes].

Consumo de energía = consumo total de energía anual en [kWh/año].

Cargo de energía = cargo asociado al consumo de energía [\$/kWh].

Consumo de potencia = corresponde a la velocidad de transferencia eléctrica [kW]

Cargo de potencia = cargo asociado por el consumo de potencia [\$/kW/mes]

Por lo tanto:

$$EE = 1.594 \left[\frac{\$}{mes} \right] * 12[mes] + 99.555,43 \left[\frac{kWh}{año} \right] * 103 \left[\frac{\$}{kWh} \right] + 2,3 [kW] * 11.922 \left[\frac{\$}{kw} \right] * 12[mes] =$$

$$= \$10.617.704$$

Por lo tanto, se estima que el costo eléctrico anual es de \$10.617.704 o 283.42 UF para la fecha de 05 de junio de 2024.

5.3.6.2 Costo monitoreo ambiental y control de procesos

Se uso el monitoreo establecido en Oficio Ord. SISS N° 1056/033 para el cumplimiento del DS 90 para el monitoreo de las aguas.

La Tabla 29 muestra la frecuencia y parámetros de seguimiento para las aguas según el caudal tratado.

Tabla 29 Parámetros de seguimiento y su frecuencia mensual. Fuente: SSIS 2007

Caudal (m ³ /h)	Frecuencia de los parámetros (mensuales)											
	dbo5	SST	NT	PT	AyG	NKT	PE	CF	TCE	TCM	Ph	T°
Q<570	3	3	3	3	3	0	2	4	1	1	1	1
570<Q<2280	5	4	4	4	4	0	3	4	2	2	2	2
Q>2280	6	6	6	6	6	0	4	8	4	4	4	4

Como el caudal promedio es de 21,98 [m³/h], se utilizaron los parámetros de seguimiento para caudales menores a 570 [m³/h].

La Tabla 30 muestra los precios en UF de las pruebas de monitoreo de las aguas y el valor anual de cada uno de ellos según la frecuencia mostrada en la Tabla 29.

En consecuencia, se estimó que un total de 111,98 UF se necesitan anualmente para el monitoreo de las aguas tratadas.

Tabla 30 Precio en uf de prueba de monitoreo y el total anual para cada uno. Fuente: SSIS 2007

Precio monitoreo calidad de agua.											
Analisis	DBO5	SST	NT	PT	AyG	PE	CF	TCE	TCM	Ph	T°
Precio unitario (uf)	0,48	0,15	0,22	0,21	0,4	0,3	0,58	0,98	0,98	0,036	0,036
Precio anual (UF)	17,28	5,4	7,92	7,56	14,4	7,2	27,84	11,76	11,76	0,432	0,432

5.3.6.3 Control de procesos

Se ha considerado un costo anual de 30 UF para análisis e insumos que no requieren una certificación y que no cumplen una labor de apoyo a la operación regular de la planta de lodos activados (SISS, 2007).

5.3.6.4 Personal

En la tabla 31, se mostrará el personal asociado con la operación y mantención de la planta de tratamiento de lodos activados, con su sueldo anual asociado y su UF para la fecha de 5 de junio del año 2024.

Tabla 31 Cargo con su jornada y sueldos asociados anualmente. Fuente: mifuturo 2024

Nombre de cargo	Sueldo	jornada	Sueldo anual	Uf anual
Jefe de planta	\$ 2.500.000	0,5	\$ 15.000.000	400,39
Ingeniero electromecánico	\$ 2.200.000	0,25	\$ 6.600.000	176,17
Operador calificado	\$ 656.136	1	\$ 7.873.632	210,17

La Tabla 32 presenta una descripción de los cargos indicados en la Tabla 31.

Tabla 32 Cargos y su descripción asociada. Fuente: SSIS 2007

Cargos	Descripción de cargo
Jefe de planta	Responsable de la operación del tratamiento de aguas servidas y de la infraestructura a su cargo. Planifica y administra las actividades haciendo uso eficiente de los recursos para efectuar el tratamiento de agua servidas evacuadas por los clientes dentro de las normas de calidad y seguridad establecidas. Supervisa y controla contratos de prestación de servicios a terceros.
Ingeniero electromecánico	Responsable de la reparación y mantención de los equipos y maquinaria en la planta, Coordina la mantención eléctrica y mecánica requerida por la empresa, desmonta, repara y regula motores eléctricos y similares. Repara bobinados de todo tipo, puede leer e interpretar planos de montaje e instalación de motores eléctricos o componentes. Descubre los defectos con ayuda de instrumentos. Posee calificación técnica para el desarrollo de su trabajo. Se requiere como mínimo profesional de carreras intermedias de 2 años o estudios específicos, más de 1 año de duración y experiencia superior a 3 años.
Operador calificado	Realiza la operación del sistema de tratamiento, manteniendo la correcta funcionalidad del proceso de tratamiento de aguas servidas, administra los equipos a su cargo y corrige parámetros operacionales optimizando el funcionamiento del sistema de tratamiento. Se requiere de profesional de carreras intermedias de 2 años o estudios específicos, más de 1 año de duración y experiencia superior a 3 años.

Finalmente, el monto total asociado al personal anual es de 786,76 UF y el costo total de la propuesta es de 1.181,73 UF

6 Discusión

Para el levantamiento de información al consumo de agua en zonas de producción de queso y concentraciones de DBO_5 en RIL, se consiguió la información de la mayoría de las zonas de la planta, pero no en su totalidad, por lo que aún hay espacio para mejoras en estudios que se hagan en el futuro.

En el ítem de consumos de agua de la planta también presentaba los limpiezas de zonas en donde se producía queso, como por ejemplo en las zonas de pasteurización de leche, zona de producción y prensado de queso y zona de salado de queso, aporta en consumo de agua y carga hacia al sistema de tratamiento de riles debido a que ocupaban agua para lavar el piso de la zona y sus equipos.

Específicamente en el punto de manguera, el caudal podría variar según la presión del agua o la cantidad de personas ocupando el agua dentro de la planta por lo que su caudal no podría ser el mismo y por ende la cantidad de agua usada por camión podría no ser la misma todas las veces, además de que el tiempo de lavado exterior puede variar según el tamaño del camión cisterna, por lo que también en términos de consumos de agua este podría variar.

En los lavados CIP de los camiones cisterna se observó que los operadores en ciertas ocasiones hacían lavados internos de los camiones sin el sistema CIP si no que solo con un uso continuo de agua en el interior de la cisterna del camión en un periodo de tiempo arbitrario, por lo que no fue posible determinar con precisión los consumos de agua utilizados en esta actividad.

Los lavados CIP del área de salado y el área de producción de ricota no se pudieron contabilizar más allá de consultar con los operadores de estos, ya que no presentó un sistema CIP en el momento del estudio si no que un lavado interno manejado por un operador.

En base a la cantidad de agua consumida por los lavados CIP para cada equipo dentro de la planta, se tomaron en cuenta los tiempos de uso de bomba y su porcentaje, según está especificado para cada equipo, lo cual es algo exacto y no considera, por ejemplo, si es que el lavado se terminó antes de tiempo por cierta razón, por lo que los cálculos de consumo de agua no reflejan por completo la realidad de los consumos de agua de los lavados CIP de la planta.

La disminución de RIL a la planta de tratamiento en base a la propuesta operacional de los cambios de recetas CIP corresponde al 1% en disminución mientras que, si se agrega la recuperación de permeado, el caudal de RIL que se descarga al alcantarillado disminuye al 84,75% respecto de la condición original.

Pese a las medidas propuestas y a partir de los datos del mes estudiado existen 8 días en los que se sobrepasa el límite de descarga de $504 \text{ [m}^3/\text{d]}$ permitidos. Sin embargo, el peor caso corresponde a dos días seguidos donde se sobrepasa el límite en aproximadamente un 15% para cada uno de esos días. Se podría sugerir la implementación de un estanque acumulador de $160 \text{ [m}^3]$ para cubrir los días en los que se supera el límite para luego verter lo que está en el estanque en los días de menor vertido de RIL. Además, se recomienda ajustar la programación de las actividades productivas de la planta, y por ende, reducir el vertido de RIL en aquellos días en que se sobrepasa el límite, haciendo uso de aquellos días con menor vertido. Debido a la magnitud del estanque acumulador propuesto, y de las características de la planta estudiada, existe la posibilidad de que no sea factible contar con

el espacio requerido para la instalación de este estanque. En este sentido, la adecuación de la programación de actividades resultaría en una propuesta con mayor posibilidad de implementación.

Con respecto al consumo energético correspondiente al tratamiento secundario, este se estimó tomando como base el “Estudio tarifario aguas empresa de servicio sanitario aguas Santiago poniente” de la Superintendencia de servicios sanitarios, donde las plantas reportadas tienen un caudal de tratamiento mayor a la planta de tratamientos propuesta en este trabajo, la que podría tener eficiencias diferentes y por ende con ello diferente costo.

Se hizo también una evaluación respecto de los resultados obtenidos en el diseño del sistema lodos activados, tomando como escenario la disminución de caudal diario en base a la recuperación de suero. Esta modificación de condiciones resulta en un aumento de la concentración DBO5 en un 22%, y disminución de caudal de 15,2%, resultando en el aumento del volumen del reactor, de 117,51 [m³] a 140,15 [m³] y el aumento del aire necesario para la disminución de DBO5 de 14.334,63 [m³/día] a 18.250,32 [m³/día]

La estimación de “consumo energético otros” hace referencia al número de luminarias posibles en una planta con cierto rango de caudal, pero no toma en cuenta, específicamente otros equipos que podrían usarse para el monitoreo de los riles adentro de la planta como, por ejemplo, el uso de equipos para determinar el DBO5 o de computadores para el ingreso de datos pertinentes a la planta de tratamiento.

Los costos de manejo de una planta de lodos activados varían, ya que la cantidad de RIL depende de la producción de la planta quesera, por lo que los costos serán de menor cantidad si es que hay una menor producción, o en mayor cantidad si es que hay una mayor producción de quesos.

El tratamiento secundario de RIL produce lodos como subproducto. Si bien, para este trabajo, se estimó la cantidad de lodos a producir, su gestión y disposición final requerirían un enfoque independiente, que incluiría la identificación del tipo de lodo, establecido por el decreto 4.

Estos lodos podrían ser clasificados como clase A si contienen menos de mil coliformes fecales y menos de una ova helmíntica por cada cuatro gramos de sólidos totales demostrado a la autoridad sanitaria mediante el uso de alguno de estas operaciones de higienización:

- Compostaje: ya sea confinado o en pilas estáticas aireadas en donde se mantendrá la temperatura en 55°C.

- Secado térmico: por contacto directo o indirecto con gases a mayor temperatura para reducir el contenido de humedad de los lodos a un 10% como máximo en donde los lodos al salir del secador deben tener una temperatura mayor a 80°C.

- Tratamiento con calor: en donde los lodos líquidos se calentarán a una temperatura de 180°C o más por 30 minutos, como mínimo.

- Digestión aeróbica termofílica: en donde los lodos son agitados con aire u oxígeno para mantener condiciones aeróbicas con un tiempo de residencia de 10 días a una temperatura entre 55°C y 60°C.

-Irradiación con haces de electrones: los lodos son irradiados con haces de electrones de alta energía provenientes de un acelerador de electrones, con una dosis mínima de 10kGy (1.0 megarad).

-Irradiación con rayos gamma: Los lodos son irradiados con rayos Gamma de ciertos isótopos, como Cobalto 60 o Cesio 137, con una dosis mínima de 10kGy (1.0 megarad).

-Pasteurización: los lodos se mantienen por sobre los 70°C por un período superior a 30 minutos.

Como clase B si presentan una media geométrica de coliformes fecales de un número de muestras no inferior de siete, de menos de 2.000.000 de NMP por gramo de sólidos totales en base a materia seca demostrado a la autoridad sanitaria con el uso de procesos de higienización como:

-Digestión aeróbica: los lodos son agitados con aire u oxígeno para mantener condiciones aeróbicas durante un tiempo medio de retención celular específico y una temperatura específica, 40 días a una temperatura de 20°C y 60 días a una temperatura de 15°C.

-Secado al aire: procesos de secado sobre una cama de arena o en piscinas de poca profundidad. En un tiempo mínimo de secado de 3 meses y máximo de 6 meses.

-Digestión anaeróbica: los lodos son tratados en ausencia de aire, con un tiempo de residencia medio de 15 días a 35 – 55 °C o de 60 días a 20°C.

-Compostaje: ya sea usando el método de compostaje confinado, pilas aireadas estáticas o pilas de volteo, la temperatura mínima debe ser de 40°C y mantenerse por 5 días.

-Estabilización con cal: procedimiento en el cual se agrega cal, viva o apagada para elevar el pH de los lodos a 12 durante un período no inferior a dos horas.

Ambas clasificaciones de lodos están especificadas con mayor detalle en los artículos 7 y 8 del decreto 4 Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

El Titulo III del decreto 4 “Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas” dice que el proyecto de gestión de lodos debería abordar la generación, cuantificación y caracterización de los lodos, así como el diseño de unidades y equipos necesarios para su manejo, tratamiento y/o disposición final durante toda la vida útil del proyecto. Además, se debe establecer un programa de control de parámetros críticos para prevenir olores o daños a la salud humana y al medio ambiente, así como un plan de contingencia para cualquier fallo o desperfecto que pueda representar riesgos para la salud, el medio ambiente o el bienestar de la población.

Los lodos procedentes del tratamiento secundario deben tener una humedad del 75% o menos para su transporte, lo cual puede lograrse mediante procesos de extracción de agua como lo mostrado en el volumen seis de “Biological wastewater treatment series”:

-Centrifugación: el cual corresponde a un proceso de separación sólido/líquido (lodo) mediante la fuerza centrífuga.

-Filtro de banda: caracterizado por tener 3 zonas, una de deshidratación en base a la gravedad, en donde el líquido percola por la banda inicial para luego deshidratarlo por una zona de baja presión, en donde es comprimida gentilmente entre bandas superiores e inferiores, para luego pasar por la zona de alta presión en donde es comprimido gradualmente y así deshacerse del líquido intersticial del lodo.

-Filtro prensa: en donde se alimenta el lodo en lotes para después ser filtrados bajo presión.

-Filtrado al vacío: que es similar al filtro de prensa en donde también se alimenta en lotes pero que hace el uso de bombas de vacío para poder extraer el líquido del lodo.

Estos lodos deben transportarse en camiones equipados con sistemas de carga de tolvas, que constan de un brazo hidráulico con gancho llamado "Ampliroll" (Logisamb, s. f.), y contenedores de lodos diseñados para prevenir el derrame o la emisión durante el transporte.

En cuanto a la disposición final, esta puede llevarse a cabo mediante lo descrito en el Título IV del decreto 4 "Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas":

-Rellenos sanitarios en donde solo se podrá depositar lodos de clase A y B con su debida autorización sanitaria, que su disposición diaria no supere el 6% a 8% del total de residuos dispuestos diariamente del relleno sanitario y que no superé el 70% de la media diaria de humedad.

-Mono rellenos que consideren sistemas de impermeabilización y de control de gases y olores donde se haga un recubrimiento diario del mono relleno en donde la frecuencia de este puede ser mayor o menor dependiendo de la autoridad sanitaria si es que persiste problemas de olores o si se hace una solicitud para disminuirla.

-Aplicación de lodos en el suelo que necesitará antecedentes en el área de aplicación como lo es mencionado en el artículo 19 del Decreto 4 "Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas" con requisitos sanitarios para el área de aplicación, una tasa máxima de disposición de 90 toneladas anuales de materia seca.

-Incineración en el cual se queman los lodos generando cenizas correspondientes al 4% del volumen de lodos deshidratado alimentado necesitando un diseño con balances de masa y energía detallados en donde principalmente se usa incineradores de cámaras múltiples y de cama fluidizada para la incineración de lodos (Andreoli et al., 2007).

Por lo tanto, el diseño y la implementación de todas las medidas mencionadas anteriormente para disponer del lodo están fuera del alcance del trabajo realizado, cuyo objetivo se centró en la reducción del consumo de agua y los índices de DBO₅.

7 Conclusiones

De las zonas de la planta estudiadas, su aporte en RILes en metros cúbicos diarios, son, el área de recepción (en donde los camiones cisterna hacen la transferencia de leche cruda a los silos y también donde estos son lavados interna y externamente) con 590,45 [m³], el área de silos (en donde se almacena la materia prima con el cual hacen diferentes quesos) con 589,06 [m³], el área de pasteurización (en donde se lleva a cabo la pasteurización de la leche cruda y suero) con 4.453,28 [m³], el área de quesería (donde se hacen los gránulos de queso los cuales se le dan forma y se extrae el suero) con 1.179,53 [m³], logrando estimarse un total de 6.812 [m³] de RIL estudiado en comparación a lo reportado de la planta de tratamientos de RIL que presento una descarga de 13.715 [m³] totales, por lo que se pudo estimar un 50% de aporte de RIL para el mes de febrero.

Para los volúmenes de descarga diario se levantó que el límite de descarga de RIL diario de 504 [m³] donde para el mes de febrero se sobrepasó la descarga para 18 días del mes. Para la concentración de DBO₅ con un límite de descarga según el decreto supremo N°609 menor a 300 [mg/L], este se observó sobrepasado para 16 días del mes.

El paquete de medidas operacionales dado se describe como un cambio en los parámetros de tiempo de consumo de agua para el sistema de lavado CIP, con un reúso del permeado proveniente de la concentración de suero del equipo de osmosis reversa disminuyendo en 2.091,06 [m³] en RIL tratado y tecnológicamente se propuso un sistema de tratamiento secundario de lodos activados, presentando un volumen de reactor de 117,51 [m³] con un consumo de aire para disminuir la DBO₅ de 14.334,6 [m³/d] para reducir la concentración de DBO₅ a una menor de 300 [mg/L].

El costo estimado para la propuesta tecnológica fue de 283,42 UF para la parte eléctrica, 111,98 UF para el monitoreo de agua, 30 UF para los diferentes procesos de apoyo a la planta de tratamiento y 756,33 UF para el personal de la planta, dando un total de 1.181,73 UF.

Finalmente, a partir del desarrollo del trabajo fue posible identificar y cuantificar los volúmenes de RILes generados en las distintas áreas de esta planta quesera, destacando el área de pasteurización como la principal fuente de efluente estudiado. Con un aporte de 6.812 [m³/mes] de RIL que se pudieron identificar, representando el 50% de los RILes tratados por la planta de tratamiento. Además, se observó que el límite diario de descarga de RIL fue superado en 18 días del mes, y la concentración de DBO₅ excedió el límite regulado en 16 días. La implementación de las medidas de cambio de receta del sistema CIP y reúso de permeado disminuye los días de sobrepaso de descarga de RIL a 8 días y la adopción de un tratamiento de lodos activados para la concentración de DBO₅ con un costo estimado de 1.181,73 UF, representan soluciones viables para reducir tanto el volumen de RIL como la concentración de DBO₅, contribuyendo a un manejo más sostenible y eficiente de los efluentes. Estos hallazgos no solo aportan a la mejora de los procesos internos de la planta, sino que también ofrecen un marco de referencia para futuras investigaciones, como la investigación de la totalidad de aporte de RIL en la planta quesera.

8 REFERENCIAS

- Guinee, T., O'Kennedy, B., & Kelly, P. (2006). Effect of Milk Protein Standardization Using Different Methods on the Composition and Yields of Cheddar Cheese. *Journal Of Dairy Science*, 89(2), 468-482. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72110-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72110-5)
- BLOGMADDELTRANSPORTS. (2018). Funciones y características de los camiones con cisternas alimentarias. 21 de noviembre 2020, de BLOGMADDELTRANSPORTS Sitio web: <https://web.archive.org/web/20220925072523/http://blogmaddeltransports.com/archivos/127>
- SkipShapiro Enterprises. (2023, 6 octubre). Separacion de suero del queso. Shapiroe. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://shapiroe.com/blog/whey-from-cheese-reuse-and-disposal/>
- Remma. (2024). Dosificadora de queso fresco. Instalacioneslacteas. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://www.instalacioneslacteas.com/es/sala-de-trabajo/dosificadoras/dosificadora-queso-fresco>
- Tecnical. (2023). Prensa de molde de queso. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://www.tecnical.com/es/productos/elaboracion-de-queso/prensas-industriales-queso.html>
- Tecnical. (2024). Piscina de salado de queso. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://www.tecnical.com/es/productos/elaboracion-de-queso/salado-queso/superficie.html>
- GoldPack. (2024). Silos de suero para producción de ricota. Goldpack1. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://goldpack1.com/product/plantas-de-elaboracion-de-ricotta/>
- Comat. (2024). Cinta de drenaje de suero de ricota. Comatonline. Recuperado 9 de junio de 2024, de <https://comatonline.com/es/macchina/cinta-de-drenaje/>
- Cookson Beecher. (2016). Raw milk's 'explosive growth' comes with costs to the state. 21 de noviembre 2020, de foodsafetynews Sitio web: <https://www.foodsafetynews.com/2016/01/raw-milks-explosive-growth-comes-with-costs-to-the-state/>
- Jing Peng, Juming Tang, Diane M. Barrett, Shyam S. Sablani, Nathan Anderson & Joseph R. Powers. (26 mayo 2017). Thermal pasteurization of ready-to-eat foods and vegetables: Critical factors for process design and effects on quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 2970-2995.
- Moreno Aznar Luis A., Pilar Cervera Ral , Rosa M.ª Ortega Anta, Juan José Díaz Martín, Eduard Baladia, Julio Basulto, Silvia Bel Serrat , Iris Iglesia Altaba , Ana M.ª López-Sobaler , María Manera, Elena Rodríguez Rodríguez , Alba M. Santaliestra Pasías , Nancy Babio y Jordi Salas-Salvadó. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española. *Nutrición Hospitalaria*, 28, 2039-2089.
- Walton M. (2008). Principles of Cleaning-in-Place (CIP). En *Cleaning-in-Place Dairy, Food and Beverage Operations(1-9)*. Ayr, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- SagaFluid. (2020). ¿CÓMO FUNCIONA UN SISTEMA DE LIMPIEZA CIP?. 21 de noviembre 2020, de Saga Fluid Sitio web: <https://sagafluid.com/sistema-limpieza-cip/>
- Andre Eck. (1990). *El Queso*. Málaga, España: Omega.

- Virtualpro. (2005). FUNDAMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE QUESOS. 2021, de Virtualpro Sitio web: <https://www.virtualpro.co/files-bv/20051201/20051201-013.htm>
- Puganeshwary Palaniandy, Hj. Mohd Nordin Adlan, Hamidi Abdul Aziz, and Mohamad Fared Murshed. (2017). Dissolved Air Flotation (DAF) for Wastewater Treatment. 2021, de Researchgate Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/319467246_5_Dissolved_Air_Flotation_DAF_for_Wastewater_Treatment
- Zaror, C. 1993. Conceptos fundamentales de tratamiento de residuos industriales. Departamento Ingeniería química. Universidad de Concepción. Chile.147p
- Google. (s.f.) [Planta de producción de quesos Quillayes Surlat. Recuperado el 1 de julio de 2021 de <https://www.google.com/maps/place/Loncoche,+Araucan%C3%ADa/@-39.3786114,-72.6346207,352m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x96145686fe4d2db7:0x9643d2a67d752e56!8m2!3d-39.3671082!4d-72.6326061>
- Jorvicsa. (s.f.) [Tinas queseras doble "O" para quesos blandos, semiduros y duros], Recuperado el 1 de julio de 2021 de <https://www.jorvicsa.com/productos-jorvic/tinas-queseras/tinas-queseras-doble/>
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins From 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*. 18(7): 695-704.
- Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., and Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*. 33(6): 756-774.
- Barreto, Marco Alejandro Briceño Molina, Diego fernando Torres Parra, Juan Manuel. (2018). Diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha de la automatización de un sistema de CIP en la industria láctea. 28-07-2021, de Universidad Piloto de Colombia Sitio web: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8696>
- Redaspa. (s. f.). Osmosis Inversa [Figura]. Separación por membranas Osmosis Inversa. <http://www.redaspa.com/es/aplicaciones/separacion-por-membranas/osmosis-inversa-2/#!prettyPhoto>
- Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovich, D. (Eds.). (2008). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Cao, S. M., Fontoura, G. A. T., Dezotti, M., & Bassin, J. P. (2015). Combined organic matter and nitrogen removal from a chemical industry wastewater in a two-stage MBBR system. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1063708>
- Eddy, M. (1995). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.
- Kiely, G., Veza, J. M., & Iglesias, J. M. V. (1999). Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.

SSIS. (2007, October). ESTUDIO TARIFARIO AGUAS EMPRESA DE SERVICIO SANITARIO AGUAS SANTIAGO PONIENTE 4o PROCESO [Review of ESTUDIO TARIFARIO AGUAS EMPRESA DE SERVICIO SANITARIO AGUAS SANTIAGO PONIENTE 4o PROCESO]. [http://www.siss.gob.cl/.
http://www.siss.gob.cl/586/articles-4305_gastos_platas_revc.pdf](http://www.siss.gob.cl/http://www.siss.gob.cl/586/articles-4305_gastos_platas_revc.pdf)

Andreoli, C. V., Von Sperling, M., Fernandes, F., & Ronteltap, M. (2007). Sludge Treatment and Disposal. IWA Publishing.

Logisamb. (s. f.). <https://www.logisamb.cl/servicios>

Decreto 4 de 2009. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas. 30 de enero de 2009. Ministerio secretaría general de la presidencia; Subsecretaría general de la presidencia.

De Lactoequipos, V. T. L. E. (2017, 13 noviembre). TINAS DE CUAJO. LACTO EQUIPOS. <https://lactoequipos.wordpress.com/2017/11/12/tinas-de-cuajo/>

Cleaning-in-Place. (2008). En Wiley eBooks. <https://doi.org/10.1002/9781444302240>

CGE. (s. f.). Tarifas de Suministro Eléctrico a Precio de estabilización 2022 - 1 de mayo de 2024. cge.cl. Recuperado 5 de junio de 2024, de <https://www.cge.cl/wp-content/uploads/2024/04/Tarifa-de-Suministro-Elctrico-a-Precio-de-estabilizacion-2022-vigente-desde-el-1-de-mayo-2024.pdf>

MI FUTURO | MINEDUC. (s. f.). <https://www.mifuturo.cl/buscador-de-empleabilidad-e-ingresos/>

phosver. (2013, junio). Concentración de Suero por NANOFILTRACIÓN y ÓSMOSIS INVERSA Transformación de un residuo en un subproducto rentable. Phosver. Recuperado 9 de junio de 2024, de https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/52-concentracion_de_suero_por_oi_y_nf.pdf