

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL QUÍMICA Y AMBIENTAL

VALPARAÍSO-CHILE



# **OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN PLANTA SANTIAGO, ECOLAB**

**DANIELA NATALIA SALINAS GORDILLO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL QUÍMICO**

PROFESOR GUÍA: Dr. Daniel Ramírez Livingston.

PROFESOR CORREFERENTE: Msc. Gerardo Lara Lenttini

2019

Valparaíso - Chile

## Dedicatoria

A todas las personas que queremos un mundo sustentable

## Agradecimientos

Esta memoria no hubiese sido llevada a cabo sin el apoyo de mis padres, Ariel Salinas A. y Evelyn Gordillo, quienes confiaron siempre en mí y tuvieron la fortaleza de apoyarme durante todo el transcurso de mi carrera. Mi hermano, Ariel Salinas G. que estuvo siempre dándome sus risas y su cariño. Gracias a mi abuela María del Rosario Jiménez y a mi tata Alex Gordillo por regalarme siempre y darme su cariño desde que era una bebé. Sin duda no puedo dejar atrás el apoyo de todo el resto de mi familia, Salinas y Gordillo que estuvieron siempre junto a mí dándome su apoyo.

Gracias a Rubén Sepúlveda, que me acompañó en el medio del estrés hasta el último momento, y que me empujaba a seguir cuando ya no quería más guerra. A mis amigas carmelianas, que me han visto crecer y tomar todo tipo de decisiones que me llevaron hasta este momento. A mis amigos del departamento de Ingeniería Química y Ambiental, por las noches de estudio, las risas, los laboratorios y el estrés compartido. Sin duda, a mi queridísima Orquesta Estudiantil de la UTFSM, que me acompañó desde mechona, dándome la oportunidad de seguir haciendo música en medio de un mundo de matemáticas, química y física.

No puedo dejar atrás a todo el equipo de Ecolab, por las risas, los buenos momentos, por el aprendizaje y por darme su apoyo en la implementación de este estándar.

Finalmente, agradecer a mis profesores, Daniel Ramirez y Gerardo Lara por ayudarme a sacar adelante esta memoria.

## Glosario

En el transcurso del presente documento se mencionan distintos términos en inglés y siglas escritas con letra cursiva, los cuales son definidos a continuación:

**Batch:** Sistema de producción por lotes.

**IBC:** Por sus siglas en inglés, un Intermediate Bulk Container, consiste en un contenedor plástico de 1[m<sup>3</sup>] (1x1x1).

**ILM:** Por sus siglas en inglés, In Line Mixer, consiste en un sistema de mezcla en línea gracias al medio de turbulencia en el *piping*.

**KPI:** Por sus siglas en inglés, Key Performance Indicator, corresponde a un indicador de variables críticas de proceso.

**Legacy:** Término utilizado en la compañía para distinguir entre productos Nalco y Ecolab.

**Man hole:** En español, entrada hombre. Es la apertura más grande que se encuentra en la parte superior de los mezcladores.

**NCh:** Norma Chilena

**No Wash:** Instrucción de No lavar.

**PFD:** Por sus siglas en inglés, Process Flow Diagram o bien, Diagrama de Flujo de Proceso en español.

**Piping:** Cañerías o bien, tuberías en español.

**Planning:** Unidad de planificación en la compañía

**PLC:** Por sus siglas en inglés, Programmable Logic Controller, o bien, Controlador Lógico Programable en español.

**Rinse:** Instrucción de Enjuagar

**Run to Standard:** Reunión diaria de las distintas áreas donde se revisan los indicadores del día anterior, definir las mejoras y otorgar responsables de ellas.

**SHE:** Área de Ecolab encargada de Salud, Seguridad y Medio Ambiente (Safety, Health and Environment).

**Sprayballs:** Aspersores utilizados en el lavado de estanques.

**Waste Water:** Agua de desecho.

**Wash:** Instrucción de Lavar

**Spry-jets:** Dispositivos de lavado por aspersión a presión.

## Resumen Ejecutivo

La presente memoria está enmarcada dentro del trabajo de sustentabilidad de la compañía Ecolab, que busca disminuir el consumo de agua en sus plantas de producción. Debido a que en Latinoamérica no existe un proceso estándar de trabajo, en esta memoria se propone un estándar enmarcado en el ciclo de Deming (planear, hacer, verificar y actuar) tomando como base el trabajo del Pilar de *SHE* en Europa.

Se desarrolla el estándar y es adaptado a Latinoamérica, éste se despliega en el área de producción de químicos de planta Santiago como prueba piloto, ya que es una planta representativa en cuanto a volumen y diversificación de productos. Durante la implementación se abordan los distintos pasos del estándar: Colección de data y evaluación de condiciones iniciales, Análisis de prioridades, Análisis y corrección de la causa raíz de la pérdida y Verificación de las acciones correctivas.

Dentro de los pasos del estándar se desarrolla el mapa de agua de la planta (diagrama de flujo respecto al agua), de donde se desprende que las principales pérdidas de la planta se encuentran en los rechazos de la unidad de osmosis, retrolavado del ablandador y lavado de estanques de producción. Para solucionar las pérdidas, se proponen acciones correctivas como la recirculación de ambos rechazos de osmosis, el almacenamiento de agua de lavado para su reutilización en la fabricación de productos, reutilización del rechazo y retrolavado como agua de lavado de mezcladores y lavado menor; y reposición de la torre de enfriamiento con rechazo del primer paso. Las pérdidas son priorizadas según efectividad de ahorro de agua, teniendo en primer lugar el reciclaje, en segundo lugar reuso del recurso y en última instancia su reducción (optimización de procesos). Finalmente, se establece un control de *KPIs* y la periodicidad con la cual deben ser medidos para poder tomar acciones correctivas frente a posibles desviaciones.

El estudio técnico arroja oportunidades de disminución en un 29% el agua de lavado de mezcladores, en un 100% el rechazo del segundo paso, en un 34% el rechazo del primer paso y en un 55% el rechazo del ablandador

Los resultados de la implementación del proceso estándar de trabajo logran una disminución del porcentaje de agua de no productiva, disminuciones en el riesgo monetario del agua en cuanto a calidad, cantidad y relación con el negocio y un aumento en la eficiencia del consumo de agua (relación entre m<sup>3</sup> de agua consumida y toneladas fabricadas) en un 14%, lo cual representa el doble del valor objetivo exigido por la compañía, el cual corresponde a un 7%.

# Índice

Dedicatoria .....	2
Agradecimientos.....	3
Glosario .....	4
Resumen Ejecutivo.....	5
Índice.....	6
Índice de Figuras.....	9
Índice de Tablas.....	11
Capítulo 1. Introducción .....	12
Capítulo 2. Objetivos .....	13
2.1.    Objetivo General.....	13
2.2.    Objetivos Específicos.....	13
Capítulo 3. Información de la Empresa .....	14
3.1.    Breve reseña de Ecolab S.A .....	14
3.2.    Ecolab en Chile.....	14
Capítulo 4. Planta Santiago .....	16
4.1.    Operación de la planta.....	16
4.2.    Layout de la Planta .....	17
4.3.    Producción de la Planta.....	17
Capítulo 5. Metodología .....	19
5.1.    Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales.....	19
5.2.    Análisis de Prioridades.....	20
5.3.    Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida .....	21
5.4.    Verificación de las acciones Correctivas .....	23
Capítulo 6. Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales.....	24
6.1.    Descripción del Proceso y Funcionamiento de la Operación .....	24
6.2.    Colección y Análisis de Consumos Históricos .....	25
6.3.    Diagrama de Flujo y Descripción de Equipos .....	27

6.4.	Resolución de Balances de Materia .....	31
6.5.	Definición de KPIs Iniciales y el Nuevo Valor a Alcanzar .....	33
6.6.	Restauración de Condiciones Iniciales .....	38
Capítulo 7. Análisis de Prioridades .....		39
7.1.	Identificar corrientes usadas como servicio.....	39
7.2.	Identificar pérdidas de agua.....	39
7.3.	Identificar calidad de agua de las corrientes.....	40
7.4.	Porcentaje que cada corriente representa del total de agua utilizada en el Área de Químicos .....	43
7.5.	Prioridades y Oportunidades.....	44
Capítulo 8: Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida .....		46
8.1.	Identificar Causa Raíz.....	46
8.2.	Definir acciones correctivas para las prioridades .....	47
8.3.	Evaluar la factibilidad técnica para cada acción.....	48
8.3.1.	Agua de lavado en Mezcladores: .....	48
8.3.2.	Rechazo del primer paso de la osmosis inversa:.....	52
8.3.3.	Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa:.....	54
8.3.4.	Retrolavado del Ablandador: .....	55
8.3.5.	Potencial de Ahorro de las medidas correctivas .....	56
8.4.	Aplicar acciones correctivas factibles a la causa raíz identificada .....	56
8.4.1.	Recuperación de Agua de Lavado: .....	56
8.4.2.	Implementación de Matriz de Lavado: .....	57
8.4.3.	Recuperación del Rechazo del primer paso de la osmosis inversa .....	57
8.4.4.	Recuperación del Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa: .....	58
8.4.5.	Recuperación del Retrolavado del ablandador:.....	58
8.5.	Definir el Plan Maestro.....	58
8.5.1.	Recuperación de Agua de Lavado: .....	58
8.5.2.	Implementación de Matriz de Lavado .....	61
8.6.	Implementar indicadores a medir en <i>Run to Standar</i> de producción .....	62
Capítulo 9: Verificación de las Acciones Correctivas .....		65

9.1.	Calcular los nuevos KPI.....	65
9.1.1.	Indicador YTD .....	65
9.1.2.	Indicador de % de Agua no productiva: .....	66
9.1.3.	Monetización del riesgo: .....	67
9.2.	Adoptar un sistema de colección de data y Seguimiento periódico de los KPIs ...	70
Capítulo 10.	Conclusiones .....	71
Capítulo 11.	Recomendaciones .....	72
Anexos .....		73
Anexo n°1:	Ejemplos de Causa Raíz de la Pérdida .....	73
Anexo n°2:	Ficha Técnica del Filtro de Carbón Activado .....	74
Anexo n°3:	Especificaciones del Ablandador ubicado en el área Farmacéutica.....	75
Anexo n°4:	Risk Water Monetizer: Reporte de Planta Santiago .....	76
Anexo n°5:	Especificaciones de agua potable Nalco (R-99), según NCh-409.....	78
Anexo n°6:	Matriz de Lavado para mezcladores T-10X y T-40X .....	80
Referencias .....		81

## Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de Planta Santiago, Ecolab S.A, en Chorrillos uno, comuna de Lampa, Región Metropolitana.....	15
Figura 2. Layout planta Santiago, Ecolab S.A. Fuente: Elaboración propia. ....	18
Figura 3. Paso 0, Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales. Fuente: Elaboración propia. ....	20
Figura 4. Árbol de Pérdidas de agua (Ecolab S.A., 2018).....	20
Figura 5. Paso 1, Análisis de Prioridades. Fuente: Elaboración propia. ....	21
Figura 6. Paso 2, Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida. Fuente: Elaboración propia. ....	22
Figura 7. Paso 3, Verificación de las Acciones Correctivas. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Figura 8. Nivel de Producción, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia .....	26
Figura 9. Nivel de Consumo de Agua, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia .....	26
Figura 10. Nivel de Disposición de Agua de Desecho en Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia. ....	27
Figura 11. PFD respecto a Flujos de Agua, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia .....	28
Figura 12. Mapa de Agua de Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia. ....	29
Figura 13. Data de YTD, planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 14. YTD Área químicos. Elaboración propia.....	34
Figura 15. Total Risk Premium para Planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017).....	36
Figura 16. Incoming Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	36
Figura 17. Outgoing Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	37
Figura 18. Revenue Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	37
Figura 19. Pérdidas de Agua en el área de Químicos de planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia. ....	39
Figura 20. Consumo porcentual en planta de Químicos. Fuente: Elaboración Propia .....	43
Figura 21. Distribución de pérdidas en el área de producción química. ....	44
Figura 22. Porcentaje de productos Nalco y Ecolab con potencial recuperación de agua de lavado. ....	49
Figura 23. Comportamiento de pH y conductividad en el lavado de un producto A.....	51
Figura 24. Comportamiento de pH y conductividad en el lavado de un producto B.....	51
Figura 25. Potencial ahorro de agua no productiva al implementar las acciones correctivas de disminución de agua. ....	56
Figura 26. Porcentaje de agua de lavado ahorrada por la implementación de recuperación de agua de lavado .....	57
Figura 27. Fuljo de Trabajo para la recuperación de agua en planta Santiago .....	60

Figura 28. Generación de Matriz de lavado a partir de la planificación de la producción ..	61
Figura 29. Diagrama de Run to Standard del indicador "Recuperación de agua acumulada" .....	63
Figura 30. Diagrama de Run to Standard del indicador "Diferencia diaria de % de nivel en estanco S-514" .....	64
Figura 31. Data de YTD, planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 32. YTD del Área de Químicos incluyendo el resultado de las acciones correctivas	66
Figura 33. KPI % de Agua no productiva - Planta completa .....	66
Figura 34. KPI % de Agua no productiva - Área químicos.....	67
Figura 35. Total Risk Premium para Planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017).....	68
Figura 36. Incoming Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	68
Figura 37. Outgoing Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	69
Figura 38. Revenue at Risk de planta Stgo, Ecolab (Ecolab S.A, 2017) .....	69

## Índice de Tablas

Tabla 1. Flujos de agua presentes en la Figura n°12. ....	33
Tabla 2. Flujos de pérdida de agua en área de químicos y su porcentaje, Ecolab. Fuente: Elaboración propia. ....	40
Tabla 3. Parámetros y Especificaciones de Calidad para agua Legacy Ecolab .....	40
Tabla 4. Parámetros y Especificaciones de Calidad para agua Legacy Nalco.....	41
Tabla 5. Calidad de agua utilizada en los distintos flujos en el área de químicos, planta Stgo, Ecolab.....	42
Tabla 6. Medición de calidad según tipo de agua. Valores obtenidos del Laboratorio de calidad de Ecolab.....	42
Tabla 7. Criterio de selección de lavado para la característica de pH.....	50
Tabla 8. Secuencia de lavado para la producción .....	62
Tabla 9. Tabla 1 de Elementos esenciales, según la NCh-409 (Instituto Nacional de Normalización - INN, 2006).....	78

## Capítulo 1. Introducción

El agua es un recurso indispensable para todas las formas de vida, al igual que para el desarrollo de la actividad productiva. Si bien es un recurso abundante en nuestro planeta (tres cuartas partes están cubiertas de agua), solo una proporción menor (cerca del 1%) ha estado históricamente disponible para consumo humano (Jiménez & Wainer, 2017).

El problema es que, a nivel global, el uso del agua se ha ido incrementando un 1% anual desde los años 80 del siglo pasado. Las razones se explican en el aumento de la población, el desarrollo económico y modificaciones en los modelos de consumo. En este contexto, y según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, se proyecta que el incremento de un 1% por año se mantendrá, al menos, hasta el 2050, lo que representa un aumento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso y consumo del agua (Reporte Sostenible, 2019).

La realidad chilena no es ajena a este fenómeno mundial de creciente presión sobre los recursos hídricos, agudizada por un aumento de la demanda y una mayor limitación de la oferta. La preocupación por un escenario de mayor escasez de agua ha estado presente durante mucho tiempo en la discusión nacional, inquietud que ha llevado a anunciar medidas y estrategias diversas, unas más acertadas y otras menos (Jiménez & Wainer, 2017). De hecho, según antecedentes entregados en la Política Nacional para los Recursos Hídricos, Chile posee actualmente una brecha de agua de 82,6 [m<sup>3</sup>/s] que, al año 2030, aumentará a 149 [m<sup>3</sup>/s], cifra estimada al comparar la disponibilidad de agua con las proyecciones de crecimiento económico e infraestructura prevista a construir (Reporte Sostenible, 2019). En dicho contexto, cabe destacar que al año 2015, el uso consuntivo del agua en Chile se reparte en un 82% a la industria agropecuaria, en un 8% al Agua Potable, en un 7% a la industria y en un 3% a la minería (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, 2019).

La solución real a la escasez de agua se encuentra a través de su uso eficiente y la generación de alternativas de acceso al agua, lo que puede generar un cambio sustancial en la real disponibilidad del recurso hídrico. En efecto, el problema de escasez de agua muchas veces tiene más relación con la ineficiencia en el uso y la ausencia de una buena gestión, que con la disponibilidad del recurso (Jiménez & Wainer, 2017).

## Capítulo 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Estudiar el uso y consumo del recurso hídrico de Planta Santiago, Ecolab S.A, y optimizar su uso por medio de la reutilización, reducción y/o eliminación de pérdidas con el fin de lograr un uso eficiente y alineado a la política de ahorro de agua la compañía.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Proponer una metodología estándar de optimización del recurso hídrico alineado al ciclo de Deming de mejora continua, que sea aplicable a todas las plantas de Ecolab en Latinoamérica.
- Probar e implementar el estándar de optimización del recurso hídrico en planta Santiago.

## Capítulo 3. Información de la Empresa

### 3.1. Breve reseña de Ecolab S.A

Ecolab S.A. es la empresa donde se desarrolla la presente memoria, una compañía que es líder global en tecnologías y servicios de agua, higiene y energía. Alrededor del mundo, las empresas de los mercados de servicios de alimentos, procesamiento de alimentos, hotelería, salud, industria, petróleo y gas eligen los productos y servicios de Ecolab S.A para mantener su entorno limpio y seguro, operar de manera eficiente y alcanzar sus objetivos de sustentabilidad (Ecolab S.A., 2019).

Ecolab S.A fue fundada en 1923, en St. Paul Minnesota por M.J. Osborn a sus 44 años. La compañía nace solamente con un producto y un empleado, luchando al principio, hasta que reconoce la necesidad de un detergente eficaz para las máquinas lava-loza eléctricas que se estaban volviendo populares en las cocinas comerciales. Se desarrolla Soliax™, producto que se convierte en el principal detergente para lavavajillas y pone a la naciente compañía en una base financiera sólida (Ecolab S.A., 2019).

A lo largo de los años, Ecolab S.A adquiere distintas compañías enfocadas al negocio de higiene industrial, tanto en la fabricación de productos químicos como en la entrega de servicios, definiendo estratégicamente cuatro pilares de desarrollo: agua limpia, alimentos seguros, energía abundante y entornos saludables. La adquisición más importante de la compañía es la de Nalco Holding Company, empresa que proporciona servicios de mejora de agua, energía y aire para la industria, enfocados en la industria química, principalmente a la petroquímica, petróleo y gas natural. Nalco se caracteriza por el alto conocimiento técnico que poseen sus trabajadores, ofreciendo soluciones completas a la industria, incluida la instalación y monitoreo de equipos y productos. Dicha adquisición, ejecutada en su totalidad el año 2011, posiciona a Ecolab como el líder en servicios de aguas limpias.

A nivel global, actualmente Ecolab S.A cuenta con clientes en alrededor de 3 millones de locaciones, 95 años de historia en innovación, más de 9.400 patentes, 49.000 asociados, 17 millones de dólares donados a través de la Fundación “Ecolab Foundation” en donaciones corporativas y horas de voluntariado y un nivel de ventas de \$USD15.000 millones (Ecolab S.A, 2019).

### 3.2. Ecolab en Chile

En Chile, Ecolab S.A parte sus operaciones en el año 1978, instalando su planta en la comuna de Quilicura para posteriormente instalar una segunda planta en Marathon. Hasta el año 2018 la manufactura de productos Ecolab se situaba en planta Marathon, mientras que en

planta Quilicura se llevaba a cabo la manufactura de los productos Nalco. Con la construcción de planta Santiago, ubicada en Chorrillos 1 en la comuna de Lampa de la Región Metropolitana, tal como se observa en la Figura n°1, se fusiona la manufactura de los productos Nalco y Ecolab en un mismo lugar físico. Además de la planta de manufactura, la compañía cuenta con centros de distribución en las distintas zonas del país.

En Chile, la compañía cuenta con cinco unidades de negocio las cuales abarcan gran parte del mercado industrial del país. Estas áreas son: eliminación de plagas, alimentos y bebidas, institucional, industrial y tratamiento de aguas. Cada una de ellas ofrecen al cliente sustentabilidad a través de soluciones de higiene, seguridad y eficiencia operacional dentro de sus organizaciones.



*Figura 1. Ubicación de Planta Santiago, Ecolab S.A, en Chorrillos uno, comuna de Lampa, Región Metropolitana.*

## Capítulo 4. Planta Santiago

Existen dos áreas principales dentro de la planta: el área de producción Farmacéutica, donde se fabrican productos de higiene humana y veterinaria, los cuales son regulados por el Instituto de Salud Pública del Ministerio de Salud (ISP) y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG); y el área de producción de Químicos, donde se fabrican productos de limpieza para diversas industrias (hotelería, alimenticia y minera, entre otras). Ambas áreas en conjunto alcanzan una manufactura de alrededor de 540 productos de *legacy* Nalco y Ecolab.

El área de producción Farmacéutica comienza su puesta en marcha el mes de febrero del 2019 y se consolida su operación en el mes de marzo del 2019. Por esta razón, la presente memoria se enfoca en la optimización del recurso hídrico del área de producción de Químicos, debido a que su operación se encuentra más estable y mejor consolidada que el área Farmacéutica.

### 4.1. Operación de la planta

En cuanto a la operación diaria de la planta existen distintas etapas las cuales son especificadas a continuación:

Planificación: El área de *planning* levanta un plan de fabricación y envasado que debe responder a la demanda de los distintos productos por parte de los clientes. Dicho plan es entregado al equipo de producción, indicando las cantidades a producir de cada producto y el mezclador a utilizar.

Producción: Con el plan definido, se entregan las órdenes de producción al equipo de logística, que entrega las materias primas al área de fraccionamiento (quienes preparan las materias primas para cada producción) y luego es entregada la orden y las materias primas fraccionadas a los fabricantes (quienes llevan a cabo el procedimiento de fabricación de los productos). Cabe destacar que todas las fabricaciones son producciones en *batch*.

Envasado: Siguiendo el plan designado por *planning*, se emiten las órdenes de envasado y se envasan los distintos productos en los formatos requeridos por los clientes.

Calidad: Una vez terminada la fabricación, se procede a la liberación del granel para su envasado, siempre y cuando el producto se encuentre dentro de las especificaciones de calidad del producto, de lo contrario, el producto debe ser ajustado o bien, reprocesado. Una vez envasado, se procede a la inspección por atributos según la NCh 43, donde se evalúa el correcto etiquetado del producto, etiqueta de n° de *batch*, peso del producto, correcta

posición de las tapas y limpieza del envase. Con la inspección por atributos aprobada, el personal de logística puede proceder al despacho del producto terminado.

Logística: De vital importancia, logística se hace cargo de la entrega de materias primas desde las distintas bodegas a fraccionamiento, y del despacho de producto terminado hacia el centro de distribución, donde es despachado al cliente

## 4.2. Layout de la Planta

En la Figura n°2 se observa la disposición de la planta. Las áreas de mayor interés en la presente memoria corresponden a aquellas donde se involucra el uso de agua, es decir, la sala de estanque y bombas de agua potable, área de producción, área de servicios, tanques de almacenamiento de agua S-501, S-512, S-503, área de producción farmacéutica, tanque de almacenamiento de agua de desecho S-514 y el In Line Mixer.

## 4.3. Producción de la Planta

Existen dos tipos de tecnologías para la fabricación de productos, tal como se especifica a continuación:

- Mezcladores: Son trece en total, y en ellos se fabrica la mayoría de los productos. Son diversos en diseño para cumplir con las necesidades de la fabricación, tales como enfriamiento o calefacción por medio de enchaquetado/serpentín, adición directa de soda y/o cloro, entre otras especificaciones. La versatilidad de diseño y volumen permite una amplia flexibilidad en cuanto a la producción, pues la mayoría de las formulaciones se pueden llevar a cabo en la mayoría de los mezcladores, a excepción de cinco de ellos, que son específicos para el producto a fabricar: clorados, ceras, perácidos, inflamables y polvos.
- In Line Mixer: La presente es una tecnología que permite llevar a cabo la fabricación de producto al interior cañerías. Las materias primas son tomadas desde los tanques del área de granel y la mezcla es llevada a cabo producto de la turbulencia al interior de las cañerías, descargando el producto en camiones acondicionados para recibir el producto y despacharlo inmediatamente.

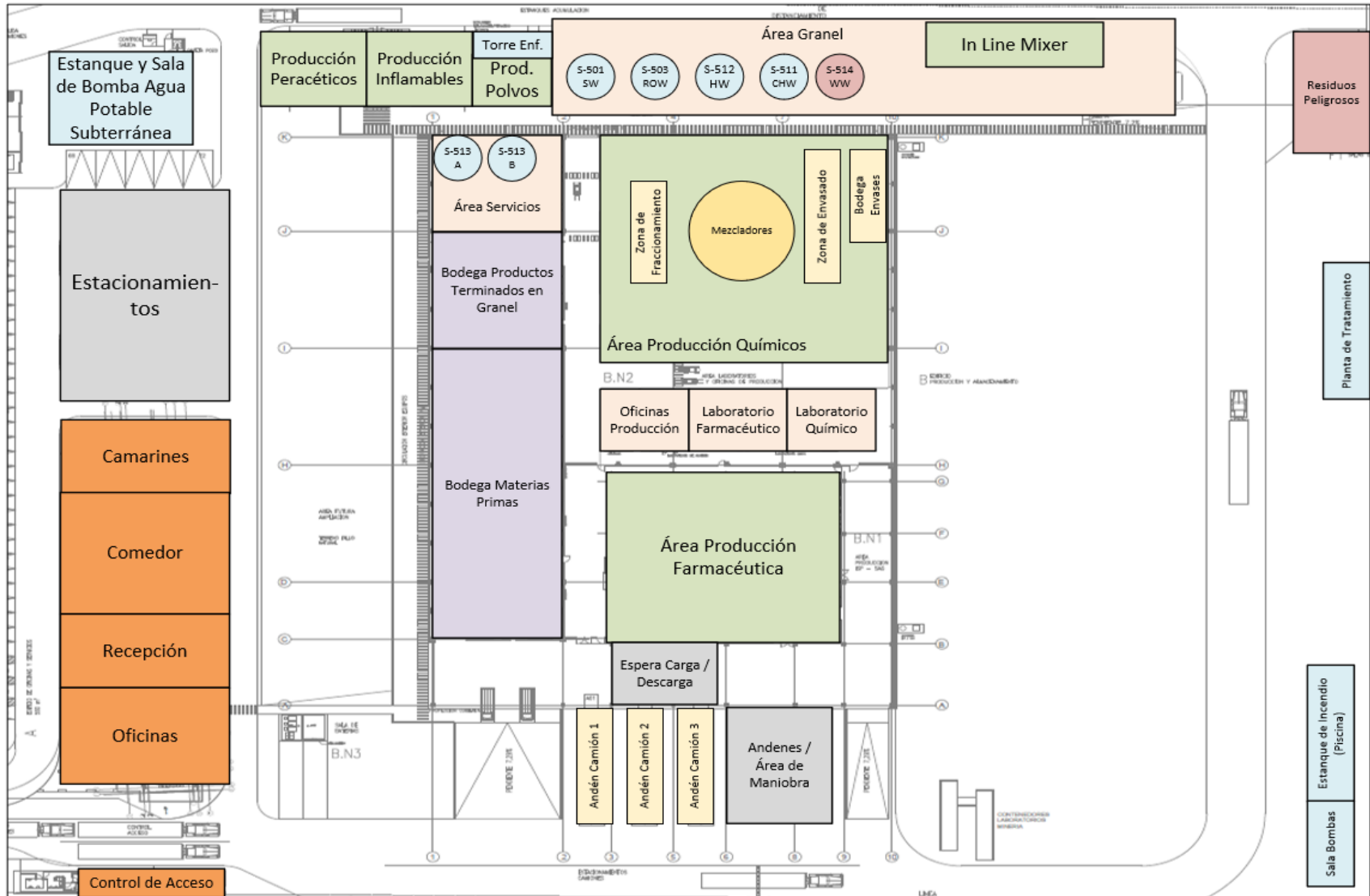


Figura 2. Layout planta Santiago, Ecolab S.A. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 5. Metodología

En el presente capítulo se busca definir una metodología estándar para lograr el cumplimiento del objetivo general de la optimización del recurso hídrico, de manera tal que pueda ser probada en planta Santiago y replicada en el resto de las plantas de Latinoamérica. Cabe destacar que el presente proceso estándar se encuentra basado en el trabajo del Pilar de *SHE* en Europa, adaptándolo a una metodología enmarcada en el Ciclo de Deaming (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y aplicable a la región de Latinoamérica.

### 5.1. Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales

- Entender el proceso y las funciones de las operaciones dentro del perímetro en términos de utilización del recurso hídrico.
- Colectar y analizar los consumos y costos históricos con el fin de identificar estacionalidad en el uso del recurso, aumento de consumo por envejecimiento de los equipos, entre otros.
- Realizar el diagrama de flujo de agua, identificando entradas y salidas de las distintas unidades. Para este cometido se recomienda realizar un inventario exhaustivo de los servicios y equipos involucrados (bombas, mezcladores, torre de enfriamiento, etc).
- Resolver balances hídricos, identificando las cantidades de entrada y salida de las distintas unidades de procesos. Para este cometido, se recomienda segmentar las secciones a analizar para una data más detallada, y realizar las mediciones necesarias durante un periodo de tiempo definido según las necesidades. En caso de existir pocos medidores o acceso a mediciones de caudal, se recomienda desarrollar el balance global del proceso.
- Definir KPIs iniciales, y el nuevo valor a alcanzar. Se debe considerar que la meta es el uso eficiente de agua y la disminución de costos asociados. Para la determinación del Costo Monetario, utilizar la herramienta Ecolab “Risk Water Monetizer” (Ecolab S.A, 2017). En este punto es importante también involucrar indicadores en la *Run to Standard* de producción, con el fin de hacer un seguimiento diario o semanal a las variables e ir corrigiendo las falencias de una manera más inmediata.
- Restaurar las condiciones básicas con el fin de partir de la base mínima para la operación (ausencia de fugas, etc).

En la Figura n°3 se aprecia el esquema resumen del proceso de Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales.

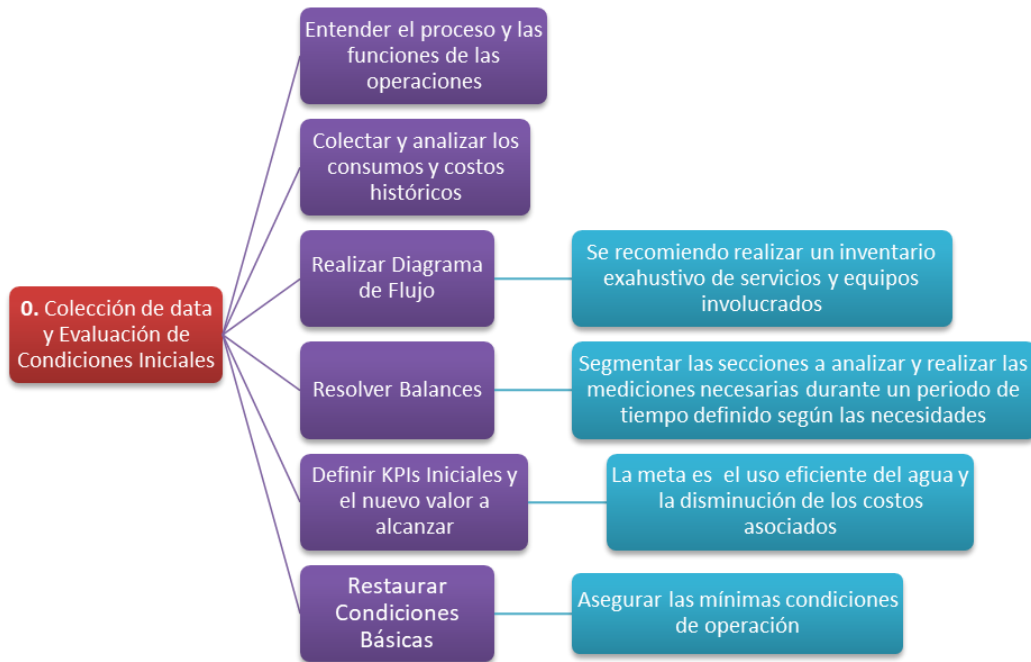


Figura 3. Paso 0, Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales. Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. Análisis de Prioridades

- Identificar el agua que es usada como servicio (calefacción o enfriamiento).
- Identificar las pérdidas de agua, considerando que es todo el recurso hídrico que no va en la formulación del producto (agua de lavado, rechazos de osmosis, etc), tal como se muestra en el Árbol de Pérdidas de Agua adjunto en la Figura n°4.

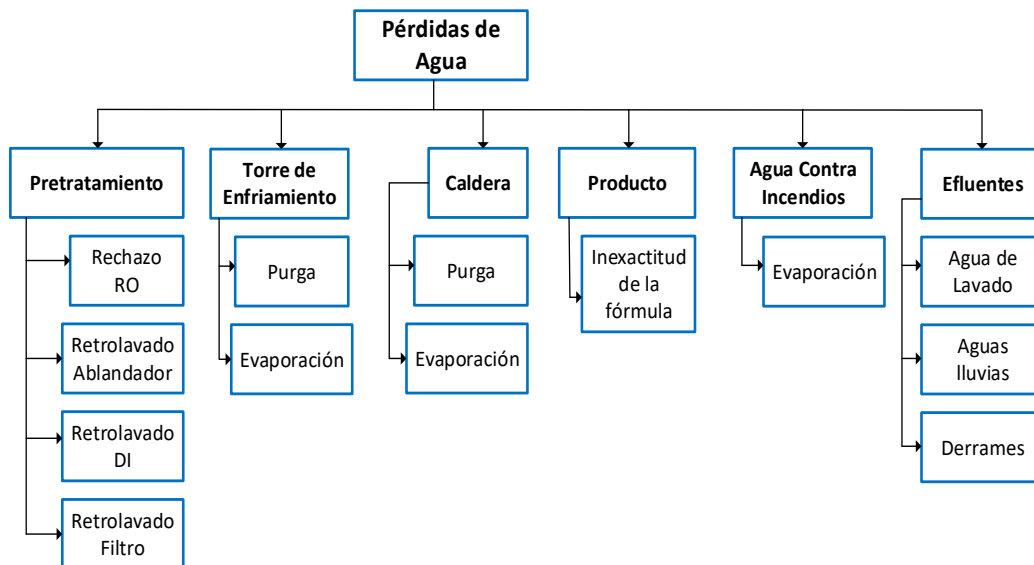


Figura 4. Árbol de Pérdidas de agua (Ecolab S.A., 2018)

- En cada corriente de agua de pérdida identificar la calidad de agua que corresponde, con el fin de conocer las corrientes que pueden ser reutilizadas en los distintos procesos según su requerimiento (agua suavizada, desionizada, potable, salobre, etc).
- Calcular el porcentaje que cada corriente representa del total de agua utilizada, para conocer donde se encuentra el mayor consumo y/o la mayor pérdida del recurso.
- En base a los porcentajes obtenidos, asignar prioridades y oportunidades de mejora a las corrientes identificadas, tales como:
  - Reducir: Utilizar solamente las cantidades óptimas para los distintos procesos.
  - Reutilizar: Evaluar la posibilidad de reusar corrientes de agua en procesos que requieran una calidad de agua similar, revalorizando el desecho.
  - Eliminar: En el caso de que se esté usando agua de forma innecesaria.

En la Figura n°5 se aprecia el esquema resumen del proceso de Análisis de Prioridades.

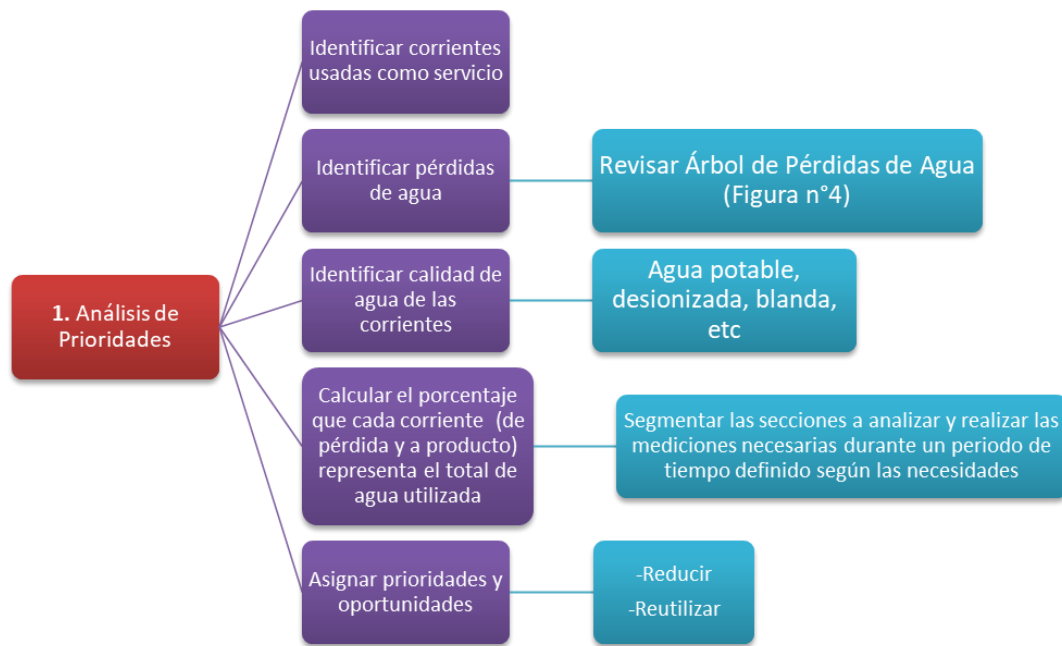


Figura 5. Paso 1, Análisis de Prioridades. Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida

- Identificar la causa raíz de las pérdidas de agua, tales como:
  - Inexistencia de estándares: Esto quiere decir que no existen parámetros de optimización en la operación que permitan un uso eficiente del agua, lo que repercute en un mayor uso de agua del que realmente se necesita.
  - Operacional: Equipos que generan pérdidas por diseño operacional.

Ejemplos para las distintas Causas Raíz se encuentran mencionados en el Anexo n°1.

- Definir Acciones Correctivas para la corrección de las causas raíz identificadas como prioridad:
  - Inexistencia de estándares: Analizar y estudiar cual es el consumo óptimo de la unidad de proceso para definir el estándar de consumo en la operación.
  - Operacional: Analizar y estudiar las pérdidas generadas y buscar una oportunidad para ellas basada en la cantidad y calidad del agua desechada.
- Evaluar la factibilidad técnica para cada acción: La solución debe ser factible en un horizonte de mediano plazo.
- Aplicar acciones correctivas factibles a la causa raíz identificada: Llevar a cabo el Plan Maestro
- Definir el Plan Maestro: Es necesario para llevar a cabo la implementación de las acciones correctivas de manera eficiente.
- Implementar *KPIs* a medir en *Run to Standard*: Este paso consiste en un análisis frecuente (diario o semanal) y de fácil medición que permita monitorear la eficacia de las acciones correctivas. De esta manera, se puede identificar en un periodo corto de tiempo si se están llevando a cabo correctamente las acciones correctivas o bien, si hubo alguna falencia poder analizarla a tiempo y tomar acciones para que no vuelva a ocurrir.

En la Figura n°6 se aprecia el esquema resumen del proceso de Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida

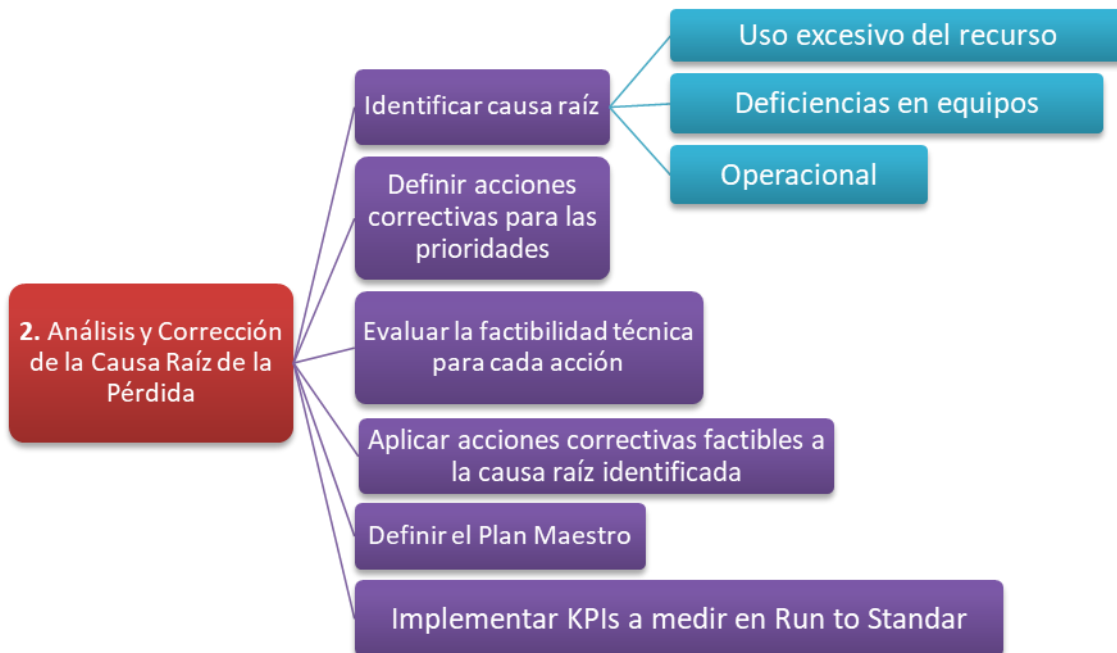


Figura 6. Paso 2, Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida. Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4. Verificación de las acciones Correctivas

- Calcular los nuevos *KPI* y verificar si se logró el objetivo.
- Adoptar un sistema de colección de data.
- Realizar un seguimiento periódico de los *KPIs*.

En la Figura n°7 se aprecia el esquema resumen del proceso de Verificación de las acciones Correctivas



Figura 7. Paso 3, Verificación de las Acciones Correctivas. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 6. Colección de Data y Evaluación de Condiciones Iniciales

### 6.1. Descripción del Proceso y Funcionamiento de la Operación

En términos generales, la fabricación de productos consiste en los siguientes pasos:

- Fraccionamiento: Se pesan las materias primas de acuerdo con la orden de fabricación de cada producto, y en ocasiones se lleva a cabo el *pre-batch*, que consiste en diluciones o agitación de materias primas en un IBC previo a ser cargado al mezclador. Una vez fraccionadas las materias primas son dispuestas en pallets para que el fabricante las retire y las disponga en el mezclador correspondiente a la fabricación del producto.
- Fabricación: Esta etapa es distinta en cada producto según el procedimiento correspondiente. La fabricación puede involucrar los siguientes pasos:
  - Adición de polvos: Consiste en la adición de materia prima sólida al interior del mezclador.
  - Adición de líquidos: Los líquidos son bombeados desde *IBC* a nivel de suelo por medio de bombas neumáticas. El *pipíng* asociado al mezclador permite manejar la transferencia a través de válvulas.
  - Adición de agua (potable, dura, blanda, caliente): A los mezcladores llegan líneas directas de agua blanda, agua caliente, agua dura y agua potable, lo que permite una transferencia directa de agua al mezclador, lo cual es llevado a cabo por medio de un *PLC* donde el fabricante indica la cantidad y el tipo de agua a ingresar.
  - Agitación: La agitación es clave para obtener un correcto mezclado de las materias primas, lo cual es permitido por la existencia de agitadores mecánicos que giran con revolución de 70 [rpm].
  - Enfriamiento: El enfriamiento es llevado a cabo por medio de agua de refrigeración suministrada por la torre de enfriamiento, la cual puede otorgar la transferencia de calor deseada por medio de un enchaquetado, o bien, por medio de un serpentín, dependiendo del mezclador en el cual se fabrique el producto.
  - Calefacción: En algunos mezcladores la calefacción se lleva a cabo por medio del enchaquetado (compartido con el agua de refrigeración) al cual ingresa agua blanda caliente proveniente del estanque S-512. Otros mezcladores

poseen un serpentín por el cual circula aceite caliente, el cual es independiente del serpentín de refrigeración.

- Adición de ZnCl: Algunos mezcladores poseen *piping* directo desde el estanque S-510 ubicado en el área de granel, lo que permite la adición de ZnCl a través del PLC donde el fabricante indica la cantidad a ingresar.
- Adición de soda (NaOH): Al igual que con el ZnCl, algunos mezcladores poseen *piping* directo desde el estanque S-508 ubicado en el área de granel, lo que permite la adición de soda a través del PLC donde el fabricante indica la cantidad a ingresar.
- Adición de NaClO: Con la misma lógica que para la adición de ZnCl y NaOH, se adiciona NaClO desde el estanque S-509 ubicado en el área de granel.
- Lavado: En esta etapa se limpia el mezclador con agua potable en el caso de los T-10X y producción de polvos y con agua blanda en el caso de los T-40X, la cual es posteriormente enviada al estanque de *Waste Water* S-514, de donde es retirada por la empresa que realiza la disposición final de residuo líquido.

## 6.2. Colección y Análisis de Consumos Históricos

En la presente sección es necesario entender que planta Santiago se encuentra operando desde abril del año 2018, donde los primeros meses fueron de marcha blanca y comprensión de la nueva operación con las nuevas tecnologías involucradas, distinto de lo que los líderes y operarios conocían en las plantas de Marathon y Quilicura. Por esta razón, los registros no muestran la estacionalidad de la operación, pero sí la tendencia del volumen de producción y consumo a alcanzar, tal como se observa en los gráficos presentes en la Figura n°8 respecto al nivel de producción y en la Figura n°9 respecto al nivel de consumo de agua de la planta. Para ambos gráficos se calculó el indicador de nivel dividiendo la producción[ton] y consumo[m<sup>3</sup>] de cada mes por el valor más alto en los meses comprendidos, que en este caso corresponde al mes de agosto del 2018.

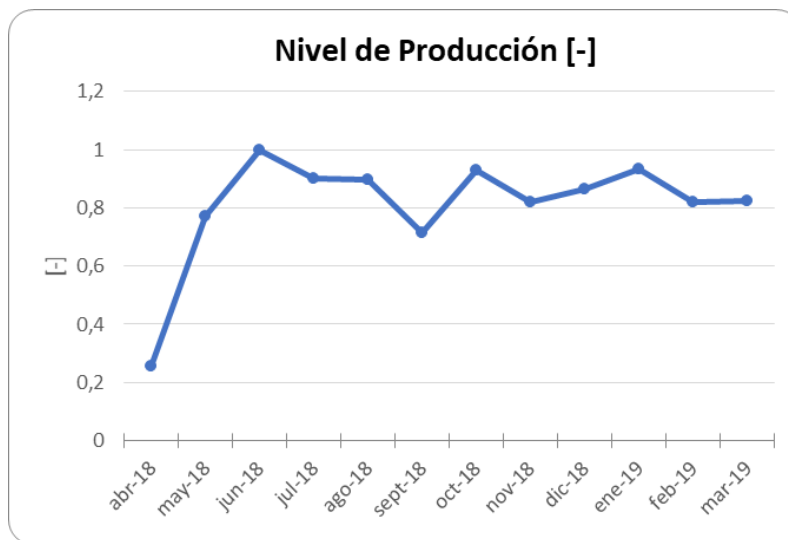


Figura 8. Nivel de Producción, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia

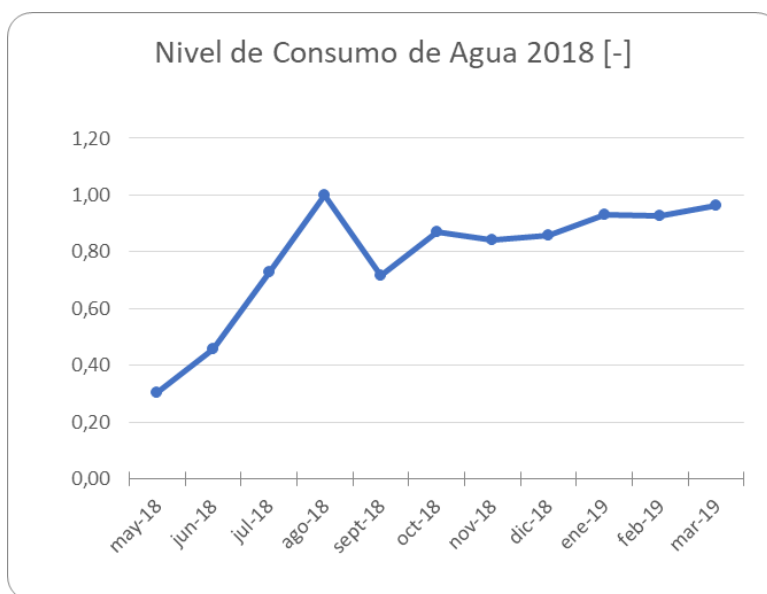


Figura 9. Nivel de Consumo de Agua, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la disposición de agua de desecho, la cual está compuesta principalmente por el agua de lavado usada para limpiar los mezcladores al terminar la fabricación y de clasificación alcalina corrosiva, se observa en el gráfico de la Figura n°10 el nivel de disposición en relación al mes de mayor disposición de agua. Cabe destacar que durante el mes de octubre existió una mayor cantidad de agua dispuesta en relación a los meses posteriores debido a la acumulación de agua de desecho correspondiente a los meses de marcha blanca. Cabe destacar que la disposición la lleva a cabo la empresa Bravo Energy bajo el acuerdo de efectuar los retiros de agua sin restricción de pH y por un precio de 54 [CLP/kg].

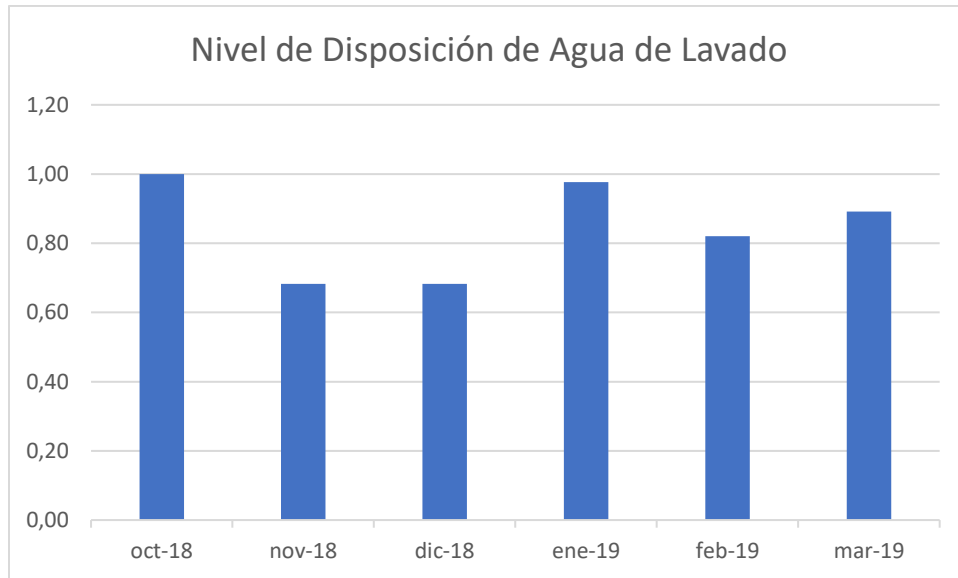


Figura 10. Nivel de Disposición de Agua de Desecho en Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3. Diagrama de Flujo y Descripción de Equipos

En la Figura n°11 se observa el *PFD* de la planta respecto a los flujos de agua. Debido a la poca cantidad de medidores existentes para realizar mediciones de caudal y la poca accesibilidad para llevarlas a cabo por aforo volumétrico, se presenta en la Figura n°12 el diagrama de bloques respecto al agua, también llamado Mapa de Agua, el cual consiste en una simplificación del *PFD*, y que a su vez es de gran utilidad para el desarrollo del balance global de la planta ya que permite identificar con facilidad las corrientes de entrada y salida asociadas al proceso de producción.

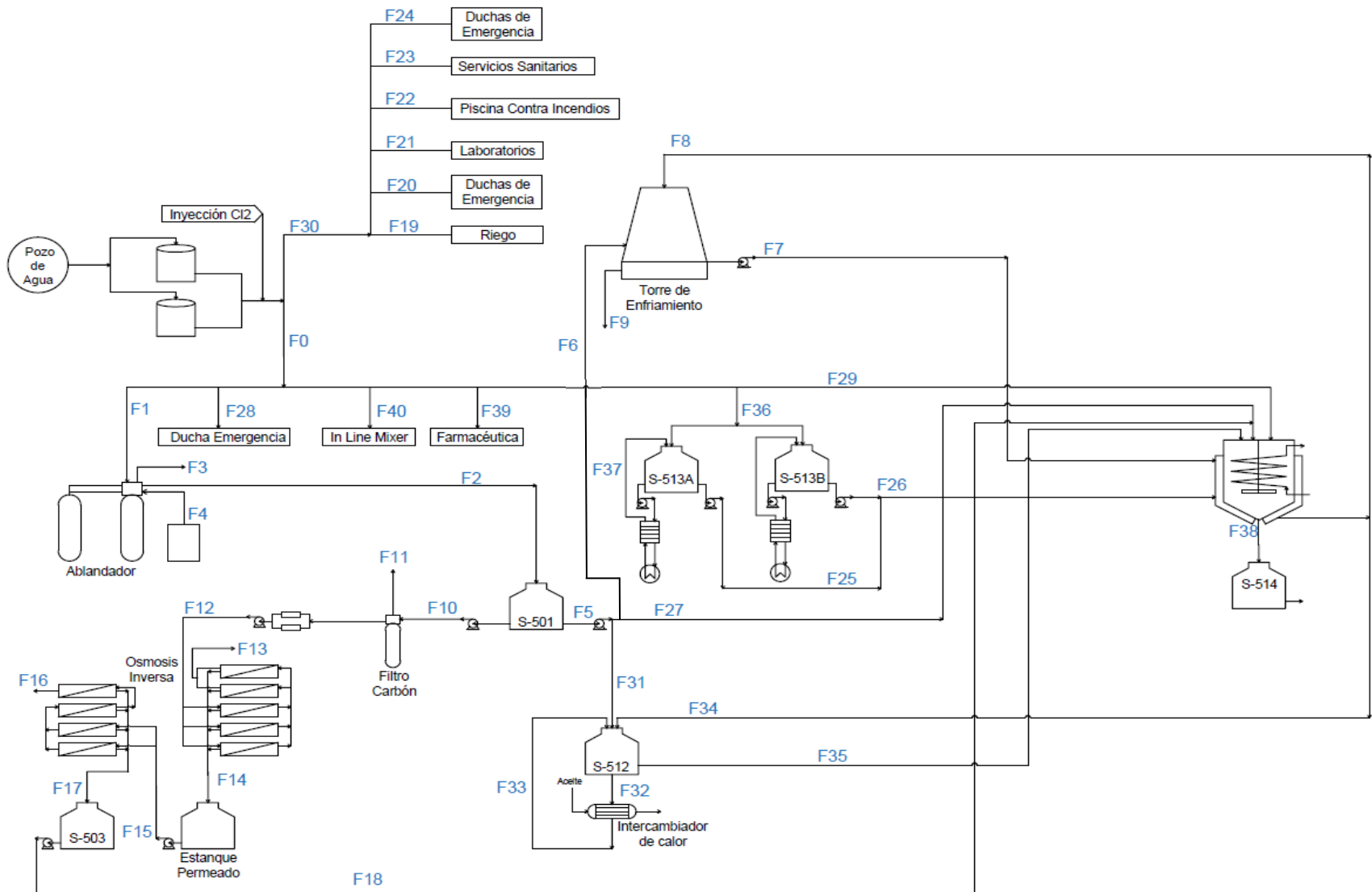


Figura 11. PFD respecto a Flujos de Agua, Planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia



Los principales equipos que involucran flujos de agua en la planta se describen a continuación:

- **Matriz de Agua Potable:** En la planta Santiago de Ecolab la Matriz de Agua Potable es suministrada por el pozo de agua que se encuentra dentro de la misma instalación. Desde los dos estanques de almacenamiento de agua de pozo (de 60[m<sup>3</sup>] cada uno) que se encuentran en la sala de bombas, el agua es suministrada hacia el área de Servicios Sanitarios (baños, regadío, casino, etc) y al área de Procesos (mezcladores, torre de enfriamiento, etc), previa potabilización por medio de inyección de cloro en línea.
- **Ablandador:** El equipo Ablandador consta de dos columnas de intercambio iónico. Es alimentado por agua potable, la cual se transforma en agua suavizada una vez que abandona el proceso de intercambio iónico. El proceso consta del flujo a través de una resina que intercambia los iones que otorgan dureza al agua (como Ca<sup>+2</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) por iones inocuos (Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>). Una vez que se satura la resina, empieza la etapa de regeneración donde se carga con NaCl, dejando nuevamente operativa la resina para su correcto funcionamiento. La operación de doble columna implica que mientras una se encuentra en regeneración, la otra está operando, asegurando un suministro continuo de agua suavizada al sistema. Cabe destacar que durante la etapa de regeneración se genera agua de desecho, pues se lava la resina para expandirla y eliminar el exceso de sal.
- **Osmosis Inversa:** La Osmosis Inversa consiste en un proceso de purificación de agua, en la cual ingresa agua blanda a alta presión filtrada previamente en un filtro de carbón activado, y se generan dos corrientes de salida: el rechazo (queda por fuera de la membrana y está altamente concentrado en sales) y el permeado (agua purificada que atravesó la membrana y baja concentración de sales).
- **Torre de Enfriamiento:** En Planta Santiago es operada con agua blanda y rellenada manualmente. Tiene una salida de agua fría que se direcciona al sistema de enfriamiento de los mezcladores y una entrada de agua caliente proveniente de los mezcladores.
- **Mezcladores:** En los Mezcladores se lleva a cabo la producción de la planta, integrando distintas materias primas con distintos tipos de agua, agitación y calefacción o enfriamiento según corresponda. Los mezcladores son suministrados de Agua RO (proveniente de la unidad de osmosis inversa), Agua Suavizada (proveniente del ablandador), y Agua Potable para la fabricación de productos. Por otro lado, cuentan con enchaquetados o serpentines para calefacción (con agua blanda caliente) o enfriamiento proveniente de la torre de enfriamiento (agua potable). Otro consumo de agua involucrado en los mezcladores es el agua de lavado, que puede ser potable y caliente (en el caso de los mezcladores T-10X) o suavizada y fría (en el

caso de los mezcladores T-40X). La cantidad necesaria de agua de lavado depende directamente del tipo de producto que haya sido producido en el *batch*, y el desecho generado a partir del lavado es enviado al estanque S-514 para que un tercero se encargue de la disposición final.

- **In Line Mixer:** Como se definió anteriormente, corresponde a una tecnología para fabricar productos al interior de cañerías que descargan el producto en camiones acondicionados para recibirlo. Cabe destacar que las materias primas se encuentran en el área de granel, y que el agua utilizada en la formulación corresponde a agua potable.
- **Estanque S-501:** Almacena el agua blanda proveniente del ablandador, para luego ser distribuida a las unidades que requieran de ella, como los mezcladores y los sistemas de calefacción.
- **Estanque S-503:** Almacena el agua desionizada proveniente de la unidad de osmosis inversa, para luego ser distribuida a las unidades que requieran de ella, como los mezcladores.
- **Estanque S-511:** Almacena agua blanda para el sistema de enfriamiento con chiller (que no se encuentra en operación).
- **Estanque S-512:** Almacena el agua blanda de calefacción proveniente del intercambiador de calor de tubo y coraza que pone en contacto el agua de calefacción con el aceite de calefacción proveniente del calentador de aceite.
- **Estanque S-513:** Almacena agua suavizada calentada por los calderines con el fin de usarla en el lavado de los mezcladores.
- **Estanque S-514:** Almacena el agua de desecho proveniente del lavado de los mezcladores. Al llenarse, se llama al camión de la compañía Bravo Energy para que haga retiro del agua y se encargue de su disposición final.

#### 6.4. Resolución de Balances de Materia

Debido a la poca cantidad de medidores al interior de la planta, se busca entender el balance global de la planta y desarrollar estrategias para minimizar las pérdidas encontradas.

Dentro de las consideraciones del balance se estudia solamente el ramal de agua de proceso, debido a la inexistencia de un medidor que cuantifique el agua destinada a oficinas y servicios sanitarios. Además, el estudio de consumo de agua se enfoca a la planta de Químicos, debido a que la planta Farmacéutica empieza su operación en el mes de marzo, por lo que el valor obtenido durante el periodo de medición no es representativo del consumo en operación consolidada.

El balance global se desarrolla según la Ecuación n°1, obedeciendo a la misma simbología de colores presentada el diagrama de flujo de la Figura n°12.

$$F_0 = F_3 + F_{11} + F_{13} + F_{16} + F_{18} + F_{27c} + F_{28} + F_{29} + F_{38} + F_{39} + F_{40} + F_{42} + F_{43} \quad (1)$$

A continuación, se describe la medición realizada de cada flujo:

- $F_0$ : Existe un medidor al principio de la cañería que distribuye el agua de procesos a la planta.
- $F_3$ : La válvula de 3 pasos del ablandador posee un contador regresivo de galones que indica el momento en que comenzará la regeneración de la resina. Cuando el contador llega a cero empieza el primer enjuague rápido de 8 minutos, posteriormente el enjuague lento de 60 minutos, a continuación, el segundo enjuague rápido de 8 minutos, y finaliza con un enjuague final de 8 minutos. Se mide por aforo volumétrico el caudal en cada uno de los enjuagues, lo que permite calcular el agua utilizada durante la etapa de regeneración.
- $F_{11}$ : Es un flujo estimado en base al dato de retrolavado otorgado por la ficha técnica del filtro de carbón de dimensiones 30x72 [in], la cual se encuentra en el Anexo n°2. Debido a que el filtro de carbón lleva a cabo el proceso de retrolavado durante la noche, se preguntó al jefe de mantención (quien posee amplio conocimiento y experiencia con los equipos de la planta) por el tiempo de regeneración del filtro, indicando que corresponde a un rango presente entre 15 y 20 minutos. Con el tiempo de retrolavado y el caudal de éste, se logra estimar la cantidad de agua empleada en dicho proceso.
- $F_{13}$  y  $F_{16}$ : La unidad de osmosis inversa cuenta con un contador de metros cúbicos acumulados en el proceso de permeado y rechazo de cada paso, por lo que se llevó un registro diario de dichos valores.
- $F_{18}$ : Se obtiene a partir de las toneladas de fabricación de diaria de productos y el porcentaje de agua desmineralizada que llevan en su formulación.
- $F_{27c}$ : Se obtiene a partir de las toneladas de fabricación de diaria de productos y el porcentaje de agua blanda que llevan en su formulación.
- $F_{28}$ : Se realizan mediciones diarias en el medidor M-54, el cual está asociado a la salida de agua potable de donde se obtiene el agua de lavados menores.
- $F_{38}$ : Se realizan mediciones de caudal por medio de aforo volumétrico a los *sprayballs* de cada mezclador. Luego se pega una planilla en cada *PLC* donde el operador anota el tiempo de lavado cada vez que lo lleva a cabo.
- $F_{39}$ : Se realizan mediciones diarias del medidor M-54, previo a la entrada de la unidad de osmosis inversa de la planta farmacéutica y posterior al ablandador. Se estima el flujo de entrada al ablandador (entrada a la planta farmacéutica) según su ficha técnica que se encuentra en el Anexo n°3, considerando que el flujo de agua blanda que abandona el ablandador corresponde a un 70% del flujo de alimentación.

- $F_{40}$ : Se obtiene a partir de las toneladas de fabricación de diaria de productos que se fabrican en el *ILM* y el porcentaje de agua potable que llevan en su formulación.
- $F_{42}$ : Se considera despreciable, ya que se activan solo en caso emergencia. Se realizan pruebas periódicas para verificar que funcionen para dichos casos, pero la cantidad es mínima (inferior a 1 [m<sup>3</sup>]).
- $F_{43}$ : Se mide por aforo volumétrico el flujo asociado al servicio de enfriamiento. Debido a la inexistencia de medidores en la reposición de la torre, se considera que la pérdida por evaporación es igual a la reposición de agua, considerando que dicha pérdida suele ser de un 2% del flujo de servicio (Nalco by Ecolab, 2019).

Una vez tomadas las mediciones durante el periodo de un mes, y desarrollados los balances de materia, se obtienen los flujos involucrados en la Figura n°12, los cuales son presentados según su porcentaje respecto al flujo de entrada F0 en la Tabla n°1.

Tabla 1. Flujos de agua presentes en la Figura n°12.

Flujo	Calidad de Agua	% respecto a F0
F0	Potable	100%
F27C	Suavizada	17%
F18	Desmineralizada	8%
F29+F40	Potable	14%
F38	Desecho	7%
F28	Potable	1%
F3	Desecho	2%
F11	Desecho	4%
F13	Desecho	8%
F16	Desecho	4%
F43	Desecho	0%

### 6.5. Definición de KPIs Iniciales y el Nuevo Valor a Alcanzar

A continuación, se definen los KPI que diagnostican la situación actual de la planta respecto al consumo de agua y el valor meta que se desea alcanzar:

- YTD: El indicador Year To Date es el indicador corporativo de sustentabilidad, representa el consumo de agua con relación a las toneladas de producto fabricado a la fecha, tal como se presenta en la Ecuación n°2.

$$YTD = \frac{\text{Toneladas de agua consumida}}{\text{Tonelads de producto fabricado}} \quad (2)$$

La meta anual es reducir el 7% del consumo de agua del año anterior. En el caso de planta Santiago no existe actualmente una meta corporativa debido a que durante el primer año de operación se recopilará la data de YTD para establecer la meta del año 2020. La data que se ha registrado a la fecha se observa en el gráfico presentado en la Figura n°13, evidenciando el incremento que hubo de mayo a agosto, mes en que se consolida la producción de la nueva planta. Dicho valor se mantiene relativamente constante hasta el mes de febrero, mes en el que empieza a arrancar la planta Farmacéutica, observándose una tendencia de incremento en el indicador, ya que se fabricaron productos de prueba que no podían ser comercializados por la falta de permisos.

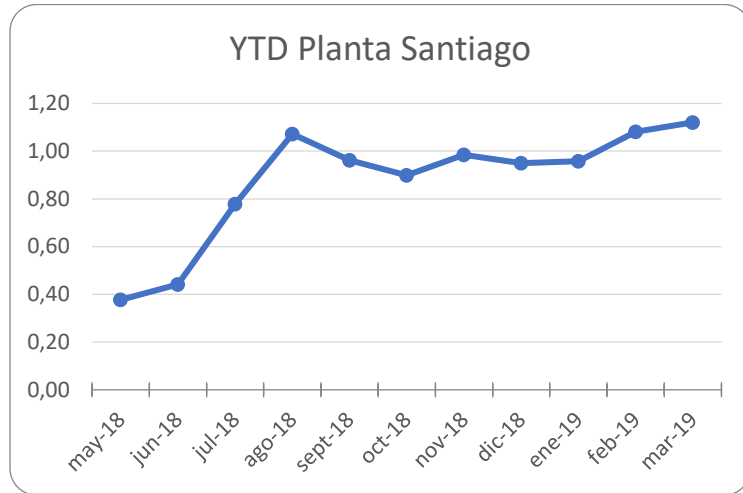


Figura 13. Data de YTD, planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia

Si se observa el indicador de YTD solo en el área de químicos en la Figura n°14, se evidencia un comportamiento errático.

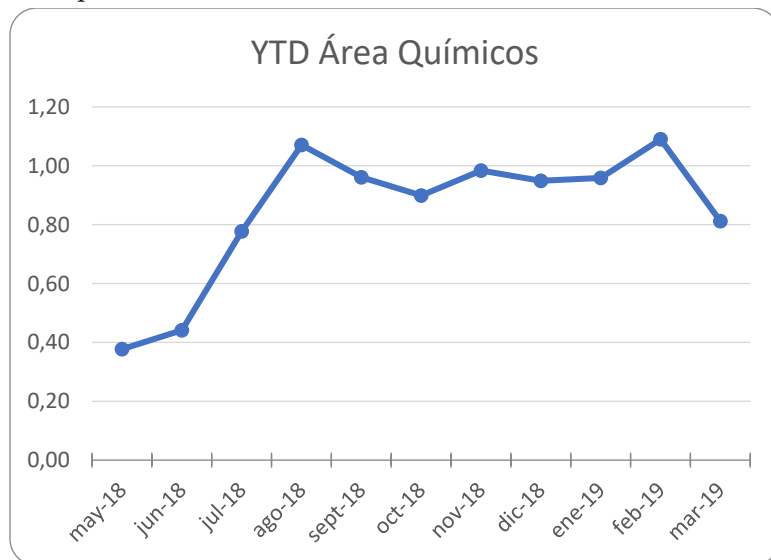


Figura 14. YTD Área químicos. Elaboración propia

Si se toman los meses comprendidos entre agosto y marzo, se observa un promedio del YTD igual a 0,96. Bajo la premisa de que ese sería el indicador del año, una reducción del 7% implicaría una meta de YTD igual a 0,89.

- % Agua no productiva: Este indicador muestra la cantidad de agua de desecho (rechazo de osmosis, aguas de lavado, entre otras) versus el consumo de agua del área de químicos de la planta, tal como se observa en la Ecuación n°3.

$$\begin{aligned} \% \text{ Agua no productiva} &= \frac{\text{Agua que no va en el producto}}{\text{Agua total consumida}} \times 100 \\ &= \frac{(\text{Agua total consumida}) - (\text{Agua que va al producto})}{\text{Agua total consumida}} \times 100 \quad (3) \end{aligned}$$

El valor actual del indicador se obtiene del balance de materia desarrollado:

$$\begin{aligned} \% \text{ Agua no productiva} &= \frac{(F_0 - F_{39}) - (F_{18} + F_{27c} + F_{29} + F_{40})}{F_0 - F_{39}} \times 100 \\ \% \text{ Agua no productiva} &= 49\% \end{aligned}$$

Se espera que el porcentaje de agua no productiva sea de un 36%, debido a la oportunidad de disminución de agua aplicando acciones correctivas a las distintas pérdidas presentes.

- Monetización del riesgo: El precio relativamente bajo del agua a menudo significa que los riesgos asociados a su uso son pasados por alto. La herramienta corporativa Water Risk Monetizer (Ecolab S.A, 2017) ayuda a evaluar los riesgos comerciales relacionados con el agua para comprender la brecha entre el pago que la empresa realiza por el agua y los costos potenciales de los riesgos del agua para la empresa. La herramienta involucra el valor monetizado de factores como pago de consumo y disposición de agua, disponibilidad de ésta, calidad del agua obtenida, cantidad de industrias y/o población que comparten la misma fuente, entre otros factores. El reporte de Planta Santiago entregado por la herramienta se observa en el Anexo n°4. A continuación, se mencionan los indicadores que entrega la herramienta:
  - Total Risk Premium: Es una estimación monetaria del valor total del agua para la instalación. Es la suma del riesgo entrante (basada en la cantidad y calidad) y la del riesgo saliente (basada en el riesgo de la calidad). En la Figura n°15 se observa el Total Risk Premium de Planta Santiago.

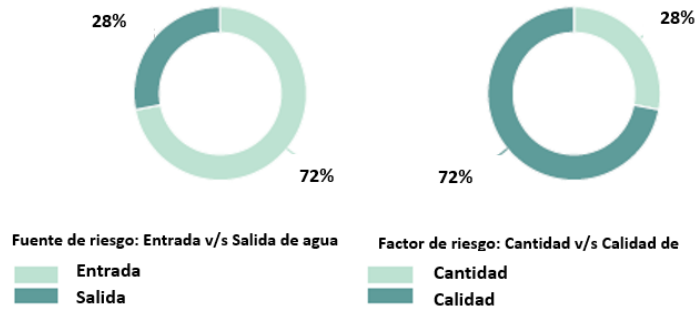


Figura 15. Total Risk Premium para Planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017).

- Incoming Risk: Otorga un valor monetario a los impactos locales en el medio ambiente, la salud humana y el suministro doméstico del agotamiento del agua y los costos futuros del tratamiento de agua entrante. El Incoming Risk de planta Santiago se observa en la Figura n°16, y es catalogado como un riesgo alto.

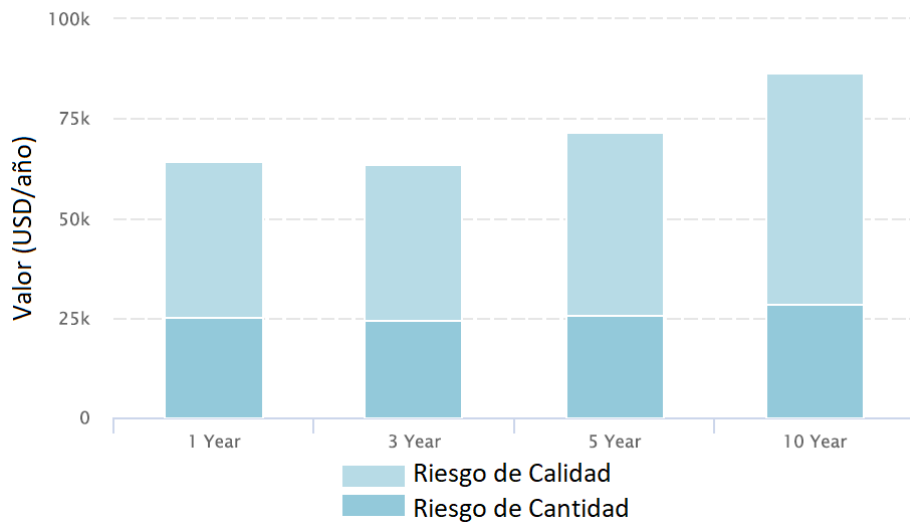


Figura 16. Incoming Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)

- Outgoing Risk: Otorga un valor monetario a los impactos ambientales y de salud humana de la contaminación del agua y los costos futuros del tratamiento del agua. El Outgoing Risk de planta Santiago se observa en la Figura n°17, y es catalogado como un riesgo alto.

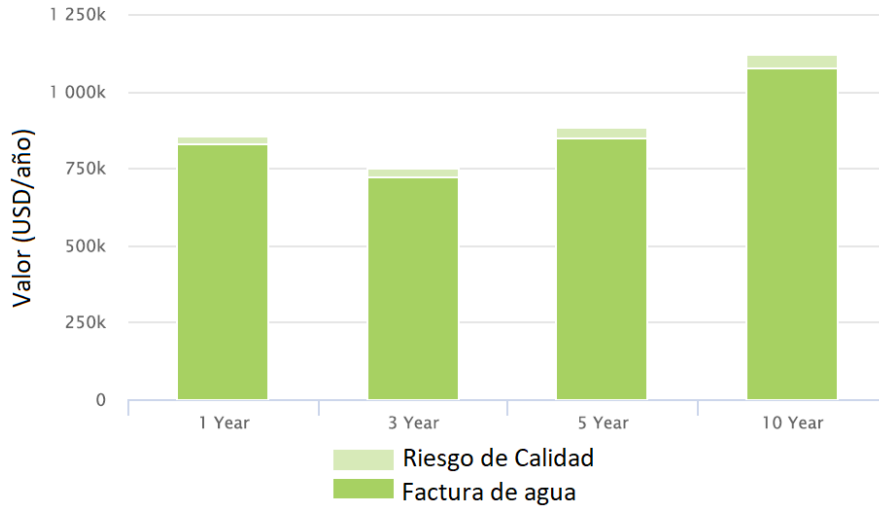


Figura 17. *Outgoing Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)*

- Revenue at Risk: Compara la cantidad estimada de agua que requiere una empresa para generar ingresos a la proporción de agua disponible de la empresa en la cuenca hidrográfica si el agua se distribuye entre los usuarios del agua en función de la actividad económica (contribución de la cuenca al PIB). Si se requiere más agua que la proporción de agua de la cuenca asignada, entonces una proporción de los ingresos del negocio están potencialmente en riesgo. El Revenue Risk de planta Santiago se observa en la Figura n°18, y es catalogado como un riesgo alto.

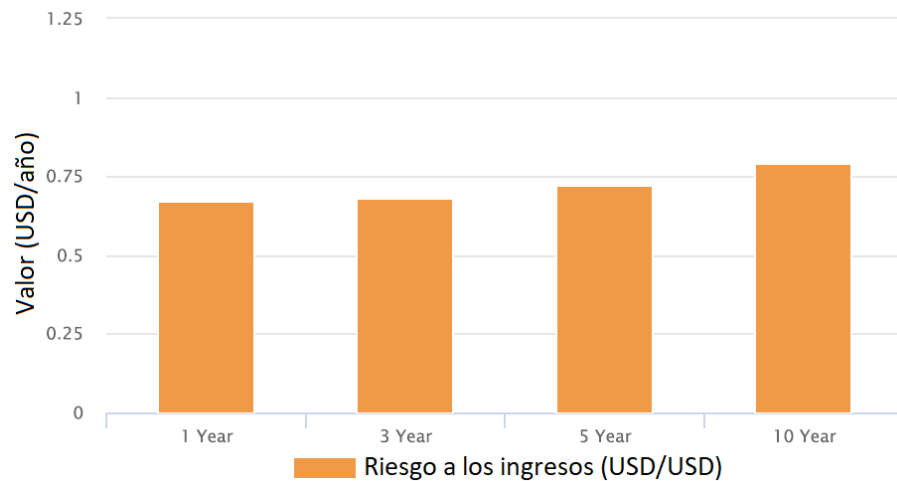


Figura 18. *Revenue Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)*

## 6.6. Restauración de Condiciones Iniciales

Esta etapa busca eliminar las pérdidas por condiciones fuera del estándar, como fugas en cañerías y averías, entre otras.

En planta Santiago se está implementando un Planeamiento total de la Producción (TPM por sus siglas en inglés, Total Production Management) el cual consta de dos pilares: Mantenimiento Autónomo (AM) y Mantenimiento Programado (PM).

AM consistente en que cada operario se hace dueño de un equipo o de una unidad dentro de la planta, la cual debe mantener limpia, ordenada y funcional. Ante cualquier desperfecto dentro de la unidad (averías, fugas, fallas de sensores, etc) el operario debe levantar una tarjeta de mantención, indicando el desperfecto existente. Si el desperfecto es de solución rápida, el operario puede y debe llevarla a cabo, por ejemplo, colocar cinta aisladora en la junta de una conexión para evitar goteo de agua. En el caso de que el desperfecto requiera reparaciones de mayor conocimiento técnico o más complejas, el equipo de mantenimiento debe hacerse cargo de ellas.

PM consiste en la planeación programada de la mantención, enfocándose en una mantención de tipo preventiva que permita adelantarse a los desperfectos en la operación. Este pilar involucra inspecciones periódicas, mantención de los equipos según ficha del proveedor, entre otras.

Cabe destacar que el Paso 0 del Estándar de Sustentabilidad debe estar fuertemente alineado con TPM, ya que es el camino en que se mantendrá el estándar de los equipos, lo cual es la base para poder trabajar en la disminución de pérdidas.

Cuando se empezaron a llevar a cabo las mediciones de flujos de agua para construir el balance de materia, se detectó una fuga de agua importante a la entrada del ablandador, por lo que en conjunto con el operador dueño del área de servicios (área donde se encuentra localizado el ablandador) se levantó la tarjeta correspondiente y se reparó la fuga.

## Capítulo 7. Análisis de Prioridades

Una vez construido el mapa de agua y resueltos los balances de materia, se puede proceder al análisis de prioridades

### 7.1. Identificar corrientes usadas como servicio

Las corrientes utilizadas como servicio en la planta son usadas en enfriamiento ( $F_s$ ) y calefacción ( $F_{34}$ ), operan en ciclo cerrado y provienen de la torre de enfriamiento y del intercambiador de calor respectivamente. Cabe destacar que el intercambiador de calor usa aceite caliente como servicio, el cual también es usado como servicio de calefacción en los mezcladores acondicionados para ello (T-40X).

### 7.2. Identificar pérdidas de agua

Se considera pérdida de agua aquellos flujos que no son utilizados en la formulación del producto, es decir, aquellos que impactan en el *KPI* de %Agua no productiva.

Observando el árbol de pérdidas presentado en la Figura n°19, dentro de la planta se encuentran pérdidas por Rechazo de Osmosis Inversa, Retrolavado del Ablandador, Retrolavado del Filtro de carbón y Agua de Lavado, las cuales son destacadas en color naranja.

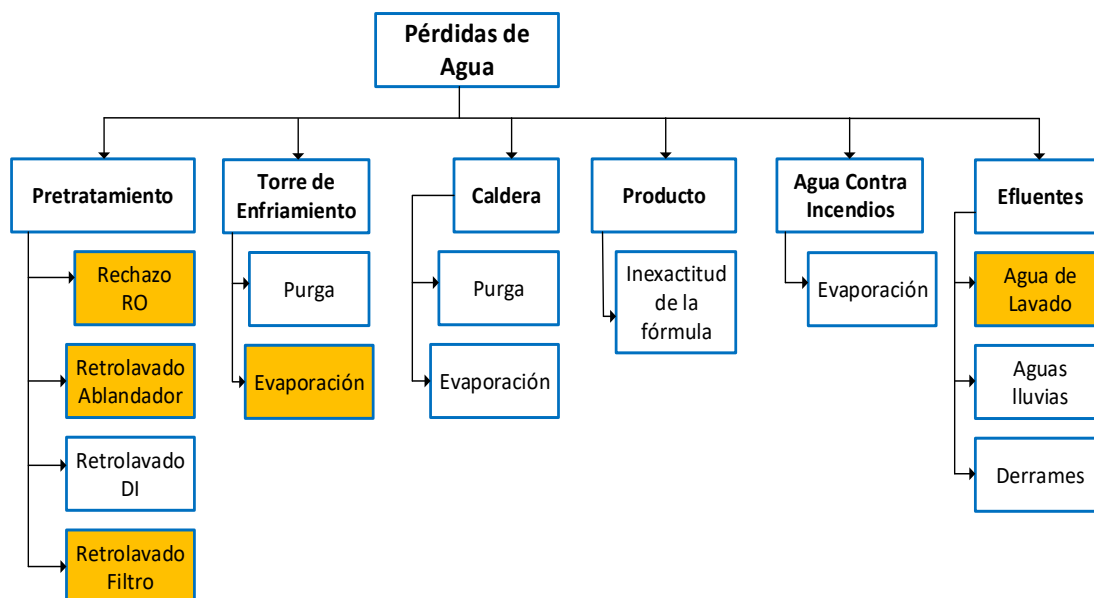


Figura 19. Pérdidas de Agua en el área de Químicos de planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla n°2 se observan los flujos asociados a pérdidas y el porcentaje que representan del agua de proceso en el área de químicos.

Tabla 2. Flujos de pérdida de agua en área de químicos y su porcentaje, Ecolab. Fuente: Elaboración propia.

Flujo	[%]	Pérdida
F38	11%	Lavado Estanques
F28	1%	Lavado menor
F3	3%	Retrolavado Filtro Carbón
F11	6%	Retrolavado Ablandador
F13	13%	Rechazo 1er paso Osmosis Inversa
F16	7%	Rechazo 2° paso Osmosis Inversa

### 7.3. Identificar calidad de agua de las corrientes

La compañía define calidades de agua estándar a nivel global para utilizar en los procesos, tanto para *legacy* Ecolab como para Nalco, según se muestra en la Tabla n°3 y 4, respectivamente. En el caso de la especificación de agua potable Nalco (R-99), se ajusta a la norma correspondiente al país donde se encuentre la planta, o bien, a lo determinado por la Organización Mundial de la Salud (eligiendo la especificación más estricta), por lo tanto, en planta Santiago se rige por la NCh-409, cuyas especificaciones de calidad de agua se encuentran en el Anexo n°5.

Tabla 3. Parámetros y Especificaciones de Calidad para agua Legacy Ecolab

Parámetro de Calidad	Límite Inferior / Criterio de Aceptación	Límite Superior
<b>100016: Agua Suavizada</b>		
Apariencia [-]	Líquido Incoloro	
Olor [-]	Inoloro	
pH [-]	6	9
Dureza [ppm]		8
<b>100017: Agua Purificada</b>		
Apariencia [-]	Líquido Incoloro	
Conductividad [ $\mu$ S/cm]		2,1
Dureza [ppm]		0,5
Microbiológico [cfu/mL]		50
Tinción de Gram y Especiación de Bacterias Aisladas [-]	No Staphylococcus aureus, o Pseudomonas aeruginosa	
<b>100018: Agua Desionizada grado peracético</b>		
Apariencia [-]	Incolora, sin partículas	
Conductividad [ $\mu$ S/cm]		10
Microbiológico [cfu/mL]		500
Cloruro [ppm]		3
Hierro [ppm]		0,1
<b>100032: Agua Desionizada</b>		
Apariencia [-]	Líquido Incoloro	
Conductividad [ $\mu$ S/cm]		70
pH [-]	4	8
Microbiológico [cfu/mL]		100
<b>100040: Agua Potable</b>		
Especificaciones	Ninguna	

Tabla 4. Parámetros y Especificaciones de Calidad para agua Legacy Nalco

Parámetro de Calidad	Límite Inferior	Límite Superior
R-97: Agua Suavizada		
Dureza [mg/L]		3
R-98: Agua Desmineralizada		
Conductividad [ $\mu$ S/cm]		25
R-99: Agua Potable		
Especificación	NCh 409	
Amoniaco [mg/L]		1,5
Cloruros [mg/L]		400
pH [-]	6,5	8,5
Cloro libre [mg/L]	0,2	2
Sulfatos [mg/L]		500 [mg/L]

Si bien existen muchas clasificaciones corporativas para la calidad del agua, en la práctica, en el área de químicos de planta Santiago se usan tres tipos de agua:

- 100018: Agua desionizada grado peracético, también llamada Agua RO (Reverse Osmosis), corresponde al permeado generado por la unidad de osmosis inversa, el cual es almacenado en el estanque S-503.
- 100016: Agua suavizada, también llamada Agua SW (Soft Water), es obtenida por intercambio iónico en el ablandador, y almacenada en el estanque S-501.
- R-99: Agua obtenida del pozo y clorada en línea para potabilizarla.

En la Tabla n°5, se presentan los flujos observados en el Mapa de Agua (Figura n°12) y la calidad de agua utilizada por cada una.

Tabla 5. Calidad de agua utilizada en los distintos flujos en el área de químicos, planta Stgo, Ecolab.

Flujo	Calidad de Agua	Comentarios
F0	R-99	Agua de entrada
F3	Desecho	Retrolavado Ablandador
F11	Desecho	Retrolavado de Filtro carbón
F13	Desecho	Rechazo del primer paso de la Osmosis Inversa
F16	Desecho	Rechazo del segundo paso de la Osmosis Inversa
F18	100018	Agua desmineralizada a producto
F27 C	100016	Agua Suavizada en producto
F27 L	100016	Agua de lavado en T-40X
F28	R-99	Lavado Menor
F29	R-99	Agua en producto
F37	R-99	Agua de lavado en T-10X
F38	Desecho	Agua de lavado en T-40X y T-10X
F39	R-99	Agua a Planta Farmacéutica
F40	R-99	Agua Potable en producto (In Line Mixer)
F42	R-99	Ducha de emergencia
F43	100016	Pérdida por evaporación Torre Enfriamiento

Con el fin de corroborar la calidad del agua utilizada en la fabricación y en los servicios sanitarios, se realizan pruebas de concentración de sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ), dureza total (ppm de  $\text{CaCO}_3$ ), conductividad y cloro libre ( $\text{Cl}_2$ ) en el laboratorio de calidad de la planta. Los resultados se observan en la Tabla n°7, arrojando incumplimiento en la calidad del agua R-99, la cual debiese tener una concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  menor a 500[mg/L] según la NCh409 adjunta en el Anexo n°5 y observando un segundo incumplimiento en la calidad del agua 100016, la cual debiese poseer una dureza menor a 8 [ppm  $\text{CaCO}_3$ ].

Tabla 6. Medición de calidad según tipo de agua. Valores obtenidos del Laboratorio de calidad de Ecolab.

Código de Agua	Tipo de Agua	pH [-]	Dureza [ppm $\text{CaCO}_3$ ]	Conductividad [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	$\text{Cl}_2$ [mg/L]	$\text{SO}_4$ [mg/L]
100016	Suavizada	7,9	280,0	1780,1	0,2	58,5
100018	Desionizada	6,1	-	5,0	-	-
R-99	Potable	7,7	731,9	1603,2	1,3	614,5

Además de los flujos de agua identificados con las calidades 100016, 100018 y R-99, es de vital importancia conocer la calidad de agua de los flujos de desecho, con el fin de entender qué se está desechando, en qué condiciones y buscar oportunidades de optimización para dichas pérdidas de agua.

- Retrolavado del Ablandador: En cuanto al retrolavado del ablandador éste se caracteriza por su alta conductividad debido a la concentración de iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$
- Rechazo de Osmosis Inversa, primer paso: Este efluente cuenta con características de pH 8,2, dureza igual a 900 [ppm  $\text{CaCO}_3$ ], conductividad de 4,9 [mS/cm] y concentración de sulfatos igual a 1.512,5 [mg/L].

- Rechazo de Osmosis Inversa, segundo paso: Este efluente cuenta con características de pH 7,3, dureza menor a 2 [ppm CaCO<sub>3</sub>], conductividad de 161,1 [µS/cm] y concentración de sulfatos igual a 26 [mg/L].
- Agua de Lavado: La muestra de agua de lavado es tomada a la salida del estanque de Waste Water S-514. En dicho estanque se homogenizan los desechos de la mayoría de los mezcladores (a excepción de perácidos, inflamables y clorados, cuyos desechos van al área de residuos peligrosos), por lo que su composición es variable según la producción que se haya llevado a cabo. Se mide el pH de la solución, obteniéndose un rango comprendido entre pH 6,1 y 12,6.

#### 7.4. Porcentaje que cada corriente representa del total de agua utilizada en el Área de Químicos

Del gráfico presente en la Figura n°20 se desprende que el mayor consumo de agua se encuentra en los productos con un porcentaje de 59%, seguido de los rechazos de la osmosis inversa que representan un total del 20%.

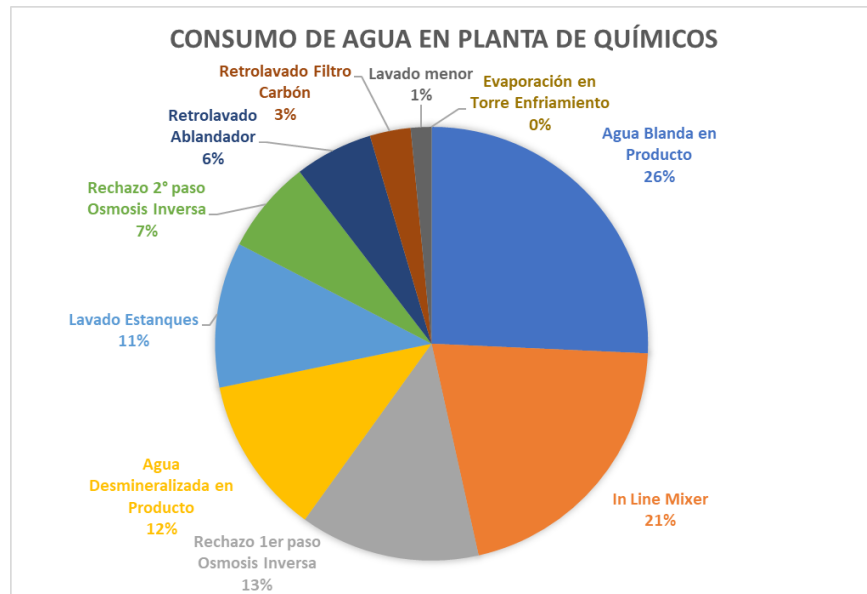


Figura 20. Consumo porcentual en planta de Químicos. Fuente: Elaboración Propia

Si se analizan solo las pérdidas del área de producción de químicos, se observa con mayor facilidad las corrientes que aportan mayoritariamente a la pérdida de agua del área, tal como se muestra en la Figura n°21.

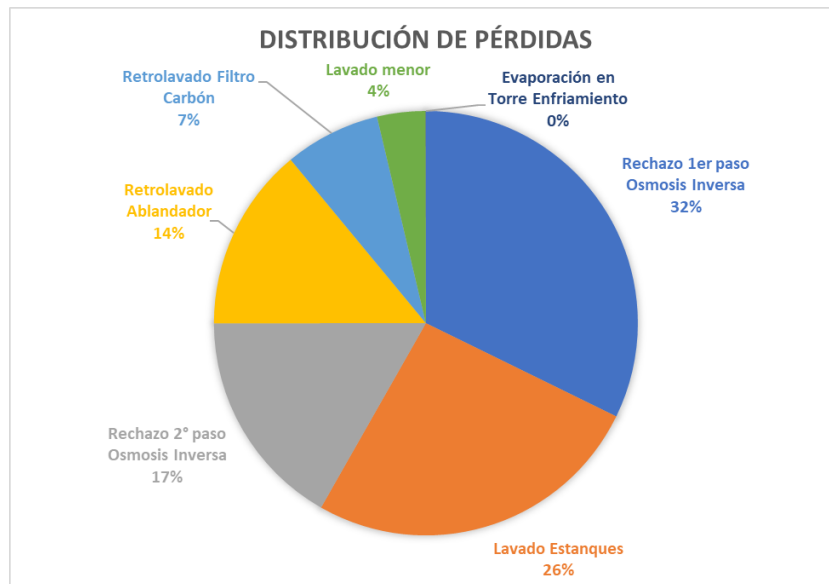


Figura 21. Distribución de pérdidas en el área de producción química.

### 7.5. Prioridades y Oportunidades

Se realizan dos análisis para definir las prioridades: cantidad de agua y costo de disposición. Del análisis de pérdidas se desprende que la mayor cantidad asociada a ellas se encuentra en los rechazos de la unidad de osmosis, mientras que el mayor costo asociado a pérdidas se encuentra en el lavado de mezcladores. Por lo tanto, se decide dar prioridad a resolver la disposición de agua de lavado con el fin de disminuir el costo asociado, en segundo lugar, resolver la pérdida de agua de rechazo de la osmosis inversa y, en tercer lugar, el retrolavado del ablandador.

Las oportunidades de mejora de los flujos se clasifican en tres tipos con distintos niveles de ahorros de agua:

- Reducir: En general, las acciones de reducción consisten en la optimización los procesos, es decir, el agua usada sigue cumpliendo la misma función, pero es usada en una menor cantidad. Algunos ejemplos son la eliminación de fugas, mejoras de procesos, reducción de desechos, etc. Con este tipo de medida se puede lograr 25% de ahorro de agua, o menos.
- Reusar: Es una acción que le da un nuevo uso al recurso antes de ser desechado, como usar agua de proceso para enjuagar estanques, lavar *IBC*, en torre de enfriamiento, etc. Esta medida permite un ahorro de hasta el 50% de agua.
- Reciclar: Consiste en darle un nuevo uso productivo al agua. Por ejemplo, tratar el agua desechada y luego recuperarla para usarla en el proceso y/o producción. Con esta medida se ahorra el 100% del agua.

Respecto a las oportunidades, se definen diversas opciones tal como se observa a continuación:

- $F_3$ : Reusar en Lavado Menor.
- $F_{11}$ : Reusar en estanque de agua de pozo/lavado menor.
- $F_{13}$ : Reusar en lavado de estanques (primer enjuague en productos espumosos).  
Reciclar en estanque de agua de pozo. Reusar en reposición de torre de enfriamiento.
- $F_{16}$ : Reusar en estanque de agua de pozo/estanque S-501.
- $F_{28}$ : Reducir
- $F_{38}$ : Reducir y reciclar como agua de dilución en el mismo producto.

## Capítulo 8: Análisis y Corrección de la Causa Raíz de la Pérdida

### 8.1. Identificar Causa Raíz

- Retrolavado del Ablandador: Analizando la calidad del agua suavizada brindada por el ablandador, se desprende que el equipo no trabaja correctamente. Con una revisión rápida del equipo, se identificó que el nivel de resina no es el correspondiente a la especificación del equipo, observándose un porcentaje de llenado del 50% del volumen del ablandador, en lugar del 75%. Esto implica un agotamiento temprano de la resina, repercutiendo directamente en la calidad de agua del agua blanda. Para reestablecer la calidad del agua suavizada de manera rápida, se procede a regenerar manualmente el ablandador una vez que se satura la resina, lo cual implica que aumenta la cantidad de regeneraciones necesarias para mantener la calidad deseada en el agua. La acción correctiva para recuperar la condición estándar, por lo tanto, implica el llenado de los ablandadores con resina para resolver la calidad de salida del agua blanda. Por otro lado, la generación del retrolavado es propia de la operación del ablandador, siendo necesaria para regenerar la resina y retirar las sales removidas.
- Rechazo del primer paso de la osmosis inversa: Dada la necesidad de fabricar agua RO, y considerando las condiciones de entrada, es de esperar que el rechazo del primer paso de la osmosis contenga una alta concentración de iones. Mientras mayor sea la demanda de productos con agua RO en su fabricación, mayor es el flujo de rechazo obtenido.
- Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa: Al igual que en el caso del rechazo de primer paso, la necesidad de fabricar agua RO de conductividad menor a 10 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], requiere de un segundo paso en la osmosis y su respectiva agua de rechazo. Dado que el permeado proveniente del primer paso ya posee como condición de entrada una conductividad de 90 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], concentración de sulfatos de 30 [ $\text{mg}/\text{L}$ ] y una dureza menor a 2 [ppm de  $\text{CaCO}_3$ ], el rechazo obtenido del segundo paso posee una calidad de agua similar al agua SW con una conductividad igual a 161 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], concentración de sulfatos de 26 [ $\text{mg}/\text{L}$ ]. Al igual que el rechazo del primer paso, su generación aumento con la producción de productos formulados con agua RO.
- Lavado Menor: El uso de agua registrado en la sección de Envasado menor surge frente a la necesidad de lavar equipos como embotelladoras, llenadoras de bolsas, llenadoras de baldes, entre otras. Cabe destacar que en el área se envasa según campañas que minimizan la necesidad de lavado. Sin embargo, cuando se cambia de

familia de producto es necesario eliminar las trazas de color, espuma y químicos que puedan contaminar el producto siguiente.

- Agua de lavado en Mezcladores: En el área de lavado de mezcladores se realizan lavados por medio de sphyballs con agua blanda para los mezcladores T-10X y agua potable para los T-40X, donde el operador selecciona el tiempo a lavar necesario hasta que el mezclador quede limpio, según su experiencia. Finalmente, por medio de *piping* el agua de lavado es enviada al estanque S-514, donde se acumula y es despachada a disposición final a través de una empresa externa. Cabe destacar que no existe un protocolo que minimice el agua usada, ya que se lava hasta que el operador considere que el mezclador se encuentre limpio. Los mezcladores específicos para perácidos, inflamables, clorados y ceras poseen secuencias de producción para minimizar los lavados, sin embargo, en el resto de los mezcladores (donde se fabrica la mayoría de los productos), no se potencian las secuencias de fabricación con minimización de lavado.

## 8.2. Definir acciones correctivas para las prioridades

- Agua de lavado en Mezcladores: Para conseguir una disminución en la disposición de agua de lavado se propone una medida de reutilización de agua y una medida de disminución de agua. Para una reutilización, se sugiere guardar el agua utilizada en el lavado del estanque luego de la fabricación de un producto, reutilizándola posteriormente como agua de dilución en la fabricación del mismo producto, o bien, en un producto que posea las mismas materias primas en su formulación. En cuanto a la disminución de agua, se propone construir una matriz de lavado que identifique oportunidades de enjuague o no lavado, disminuyendo la necesidad de que el mezclador quede limpio en su totalidad para la fabricación del siguiente producto. Con la matriz de lavado también se busca planificar la producción evitando el consumo de agua en lavados.
- Rechazo del primer paso de la osmosis inversa: Considerando que la alta conductividad en la presente corriente es provocada principalmente por iones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , se sugiere realizar el primer enjuague de los productos más espumosos con agua de rechazo del primer paso, de esta manera las sales disueltas en el agua cortan la espuma disminuyendo la cantidad de agua necesaria para eliminar la espuma en el lavado. Por otro lado, se sugiere también dar el primer enjuague con agua de rechazo del primer paso a los productos que no se pueda recuperar su agua.

Otra opción es usar esta corriente de agua en la reposición de la torre de enfriamiento, lo cual implica separar los sistemas calefacción y enfriamiento (que en este momento tienen *piping* en común) para que el agua concentrada en sales no llegue al intercambiador de calor y dañe el equipo por corrosión.

- Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa: Dada su alta calidad, se propone incorporarla en los estanques de agua de pozo, lo que permite aumentar la calidad del agua potable debido a la mezcla con agua similar al agua blanda. De esta manera el agua potable se encontraría dentro de los parámetros de la norma NCh409, considerando que se encuentra actualmente fuera de la norma debido a la alta concentración de sulfatos.

Otra opción es incorporarla al estanque S-501 debido a la similitud en calidad con el agua blanda.

- Retrolavado del Ablandador: En cuanto a la oportunidad de recuperar el agua del retrolavado, dada su alta conductividad por la concentración de sales presentes en ella, se propone utilizar dicha agua en el lavado de piso por parte del personal de aseo y en el lavado de envases menores.

### 8.3. Evaluar la factibilidad técnica para cada acción

#### 8.3.1. Agua de lavado en Mezcladores:

##### 8.3.1.1. *Recuperación de Agua de Lavado*

Se consideran los siguientes requerimientos para elegir los productos a los cuales guardar el agua de lavado para luego reincorporarla.

- Productos que se encuentren dentro de la política de recuperación de agua de Ecolab: Existe un listado de productos a los que se les puede guardar el agua de lavado y reincorporarla en la fabricación sin afectar los parámetros de calidad del producto.
- Productos que contengan agua blanda o potable en su formulación: debido a que el sistema de lavado de los mezcladores se lleva a cabo con agua blanda, esta puede ser reincorporada en formulaciones que requieran la misma calidad de agua o una calidad inferior. Es decir, a los productos que en su formulación lleven agua desionizada no se les podrá guardar el agua de lavado.
- Productos con un periodo de fabricación menor o igual a 45 días: Este es un parámetro elegido para evitar la acumulación de *IBCs* con agua y asegurar que el agua guardada sea reincorporada al proceso.

- Productos que requieran en su formulación mayor cantidad de agua que la generada en el lavado: Al igual que el punto anterior, este requerimiento tiene como fin evitar la acumulación de agua, guardando solo la cantidad de agua que pueda ser reincorporada en el proceso.

Una vez que se evalúan todas las condiciones presentadas, se llega a una potencial recuperación de agua de 46 productos, lo que conlleva una recuperación del 27% del agua de lavado según la Figura n°22 (19% de productos Ecolab y un 8% de productos Nalco), lo que a su vez representa un 6% del consumo de agua de proceso de la planta. Cabe destacar para recuperar el 100% del potencial de agua de lavado, es necesario contar con espacio suficiente para el almacenamiento de 50 *IBCs*.

Agua de Lavado en T-10X y 40X

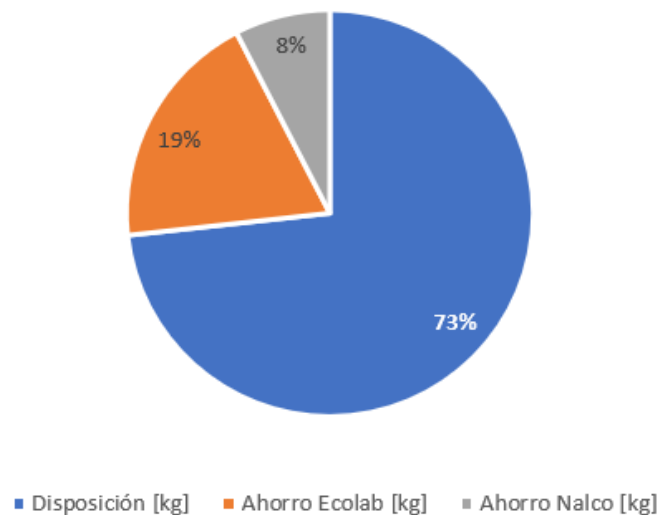


Figura 22. Porcentaje de productos Nalco y Ecolab con potencial recuperación de agua de lavado.

### 8.3.1.2. Matriz de Lavado

Para la construcción de la matriz de lavado se utiliza la herramienta corporativa *Washout Matrix*, la cual tiene como variable de entrada los códigos asociados a productos terminados de *legacy* Ecolab y entrega como salida tres criterios de lavado:

- *Wash*: El agua al final del lavado debe tener la conductividad y el pH correspondiente al tipo de agua con la que se está lavando. No puede tener trazas de color, ni olor o espuma.

- *Rinse*: El agua al final del lavado puede tener características de pH y conductividad intermedias entre el producto fabricado y las correspondientes al tipo de agua con la que se está lavando. Además, puede tener trazas de color, olor y espuma.
- *No Wash*: No lavar. Fabricar inmediatamente el siguiente producto sin tener que lavar el mezclador.

Para la selección del criterio de lavado se toman en consideración las siguientes características de cada producto: estado físico, reacción química generada, presencia de soda, claridad, color, presencia de enzimas, nivel de espuma, presencia de hipoclorito, presencia de ácido nítrico, olor, fluorescencia, perfume, pH, presencia de ácido sulfúrico y sustancias residuales.

A modo de ejemplo, en la Tabla n°7 se observa el criterio de selección de lavado para la característica de pH:

- *No Wash*: Se puede fabricar un producto neutro y luego un producto alcalino sin necesidad de lavar el mezclador.
- *Rinse*: Se puede fabricar un producto alcalino y luego un producto levemente alcalino solo enjuagando el mezclador.
- *Wash*: Si se fabrica un producto ácido y luego un producto neutro, el mezclador debe ser lavado.

Tabla 7. Criterio de selección de lavado para la característica de pH

WshMtx_pH	Rule Type:	Starts With Grid					
WshMtx_pH	After >	Alkaline	Low Alkaline	Neutral	Low Acidic	Acidic	Unknown
WshMtx_pH	Before <						
WshMtx_pH	Alkaline	No Wash	Rinse	Wash	Wash	Wash	Wash
WshMtx_pH	Low Alkaline	No Wash	No Wash	Wash	Wash	Wash	Wash
WshMtx_pH	Neutral	No Wash	No Wash	No Wash	No Wash	No Wash	Wash
WshMtx_pH	Low Acidic	Wash	Wash	Wash	No Wash	No Wash	Wash
WshMtx_pH	Acidic	Wash	Wash	Wash	Rinse	No Wash	Wash
WshMtx_pH	Unknown	Wash	Wash	Wash	Wash	Wash	Wash
WshMtx_pH	<blank>	Wash	Wash	Wash	Wash	Wash	Wash

Al evaluar las características de dos productos basta con que una característica resulte en *Wash/Rinse* para que sea necesario lavar/enjuagar el mezclador entre las dos fabricaciones. Por otro lado, si el resultado de comparación de todas las características es *No Wash*, entonces se puede fabricar el segundo producto sin lavar el mezclador.

De la matriz resultante para planta Santiago que se observa en el Anexo n°6, se desprende la existencia de 49 productos que pueden ser fabricados como primer producto, generando 383 oportunidades de enjuague y 24 oportunidades para no lavar. Con dicha información, el equipo de *planning* puede realizar campañas de producción que minimicen el lavado entre fabricaciones. Cabe destacar que la matriz solo admite códigos de *lagacy* Ecolab, por lo que se atacaría solamente dichos productos.

De los 49 productos obtenidos con la matriz de lavado para optimizar los lavados, 13 productos se encuentran seleccionados para recuperar su agua de lavado, por lo que su optimización de lavado no genera disminución de consumo de agua frente a la recuperación de ésta, pero sí reduce el tiempo de proceso empleado en el proceso de lavado. Los 36 productos restantes sí representan un ahorro en el agua consumida, generando 95 oportunidades de enjuague y 8 oportunidades para no lavar.

Para obtener el ahorro que implica la implementación de campañas de lavado que reduzcan el consumo de agua, se debe estudiar la cantidad de agua que se emplea en el lavado de los 36 productos seleccionados y su comportamiento de lavado en cuanto a pH y conductividad, tal como se muestra en la Figura n°23 y 24 para un producto A y un producto B respectivamente.

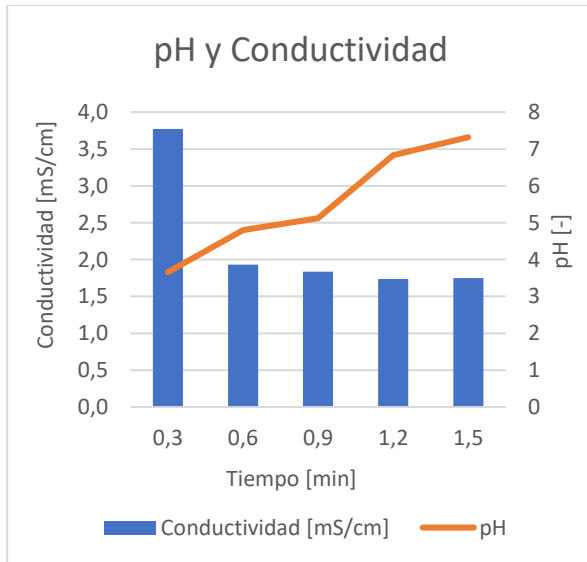


Figura 23. Comportamiento de pH y conductividad en el lavado de un producto A.

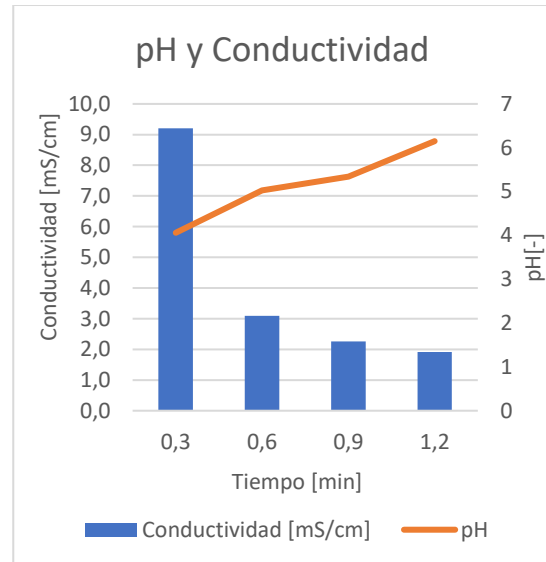


Figura 24. Comportamiento de pH y conductividad en el lavado de un producto B.

Considerando la periodicidad con que serán ejecutadas las campañas de producción, se debe calcular la disminución de agua que implica el enjuague o el no lavado entre los productos de la campaña. Se realiza el ejemplo del cálculo con los productos A y B de la Figura n° 23 y 24.

Se identifica el tipo de lavado que se debe utilizar entre los productos:

*Producto A → Producto B: No Wash*

*Producto B → Producto C: Rinse*

Según la demanda de dichos productos, surge la campaña de producción  $A \rightarrow B \rightarrow C$  con una periodicidad de 7 días, es decir, dicha secuencia se fabricaría 4 veces por mes. Considerando que los *sprayballs* del mezclador suministran un flujo de agua de 500[kg/min], se obtiene de

la Figura n°23 y 24 la cantidad de agua utilizada en el lavado del producto A y B, según se observa en la Ecuación n°4.

$$\begin{aligned} \text{Lavado normal de producto A} &= 1,5[\text{min}] \times 500[\text{kg}/\text{min}] = 750[\text{kg}] \text{ de agua (4)} \\ \text{Lavado normal de producto B} &= 1,2[\text{min}] \times 500 [\text{kg}/\text{min}] = 600[\text{kg}] \text{ de agua} \end{aligned}$$

Dado que para fabricar el producto C luego del producto B se debe enjuagar el mezclador, de la Figura n°24 se desprende que para el producto B, el enjuague se alcanza en el minuto 0,6; asegurando un pH intermedio de 5, que se encuentra entre el pH del producto y el pH del agua, además de contar con una conductividad de 3,1 [mS/cm], cercana a la del agua de entrada.

Por lo tanto, el ahorro de agua logrado al implementar los criterios de lavado de la matriz se observa a continuación en la Ecuación n°5:

$$\begin{aligned} \text{No Wash A} \rightarrow \text{B} &= 570 [\text{kg}] \text{ de agua} \\ \text{Rinse B} \rightarrow \text{C} &= (1,2 - 0,6)[\text{min}] * 500 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{min}} \right] = 300 [\text{kg}] \text{ de agua} \\ \text{Ahorro en el mes} &= (570 + 300) \left[ \frac{\text{kg}}{\text{campana}} \right] * 4 \left[ \frac{\text{campana}}{\text{mes}} \right] = 3.480 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right] \quad (5) \end{aligned}$$

Realizando este análisis con todas las oportunidades entregadas por la matriz de lavado en base al plan de producción entregado por *planning* se concluye que se lograría reducir en un 2% la generación de agua de lavado de planta Santiago.

### 8.3.2. Rechazo del primer paso de la osmosis inversa:

El rechazo asociado al primer paso de la osmosis inversa presenta una conductividad mayor a 9.999 [mS/cm], siendo ese el límite superior de medición del conductímetro presente en el laboratorio de calidad de la planta, mientras que la concentración de sulfatos corresponde a 1.513[mg/L]. La alta conductividad del efluente deja pocas alternativas a la disposición final, ya que la calidad presente en el flujo no da opción a riego, reutilización en baños ni ninguna forma de infiltración a la napa subterránea según la legislación chilena (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2003).

#### 8.3.3.1. Reutilización como agua de lavado:

Se propone utilizar el agua del rechazo para dar un primer enjuague de 0,3[min] (valor comúnmente utilizado en el primer lavado) a los mezcladores, dando un enjuague final con agua blanda limpia.

Para estimar el ahorro potencial de agua se debe considerar los productos que no son aptos para la reincorporación de agua de lavado, el mezclador en el que se fabrican, el flujo de

lavado asociado al mezclador de fabricación, y el número de *batch* mensual con que se manufactura el producto.

En la Ecuación n°6 se observa la estimación del ahorro de agua.

$$Ahorro\ Agua = B \times F_{lavado} \times 0,3 \left[ \frac{min}{batch} \right] \quad (6)$$

Con las variables:

$$B = \text{Batch mensual} \left[ \frac{batch}{mes} \right]$$

$$F_{lavado} = \text{Flujo de lavado} \left[ \frac{kg}{min} \right]$$

Aplicando esta acción a todos los productos que no son aptos de recuperar agua, se puede reutilizar un 7,2% del rechazo del primer paso, que a su vez representaría un 0,4% del agua no productiva en el área de manufactura química.

### 8.3.3.2. Reposición en torre de enfriamiento:

Para poder reusar el rechazo del primer paso de la osmosis el *piping* para el servicio de calefacción debe ser independiente del *piping* del servicio de enfriamiento. De esta manera, se evita tener *piping* con corrosión en los sectores expuestos a altas temperaturas y daños en el intercambiador de calor. Otra de las ventajas de tener sistemas exclusivos para el tipo de servicio, es que al ser recirculadas las corrientes se aprovecha de manera más eficiente la carga térmica con la que cada una vuelve al sistema, tal como se observa en la Ecuación n°7.

$$Q_{enfriamiento} = F_{ref} \times Cp_{agua} * (T_{Eout} - T_{Ein}) \quad (7)$$

$$Q_{calefacción} = F_{cal} \times Cp_{agua} * (T_{Cout} - T_{Cin})$$

Con las variables:

$$Q_{enfriamiento} = \text{Potencia torre de enfriamiento} [kW]$$

$$F_{ref} = \text{Flujo de refrigeración} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$Cp_{agua} = \text{Calor específico del agua} \left[ \frac{J}{g^{\circ}C} \right]$$

$$T_{Eout} = \text{Temperatura a la salida de la torre de enfriamiento} [^{\circ}C]$$

$$T_{Ein} = \text{Temperatura al ingreso del torre de enfriamiento (salida del mezclador)} [^{\circ}C]$$

$$Q_{calefacción} = \text{Potencia intercambiador de calor} [kW]$$

$$F_{cal} = \text{Flujo de calefacción} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$T_{Cout} = \text{Temperatura a la salida del intercambiador de calor} [^{\circ}C]$$

$$T_{Cin} = \text{Temperatura al ingreso del intercambiador de calor (salida del mezclador)} [^{\circ}C]$$

Compartiendo sistema de calefacción y enfriamiento,  $T_{Cout} = T_{Eout}$ .

Independizando los sistemas de calefacción y enfriamiento,  $T_{Ein}$  disminuye y  $T_{Cin}$  aumenta, debido a que ambas ya no se mezclan alcanzando una temperatura intermedia en la salida del mezclador, esto genera diferencias de temperatura menores, disminuyendo la carga térmica de la torre de enfriamiento e intercambiador de calor deben otorgar o retirar. De esta manera, se logra disminuir en un 29% la energía requerida en el proceso de calefacción y enfriamiento.

### 8.3.3. Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa:

#### 8.3.3.3. *Recirculación del Rechazo al estanque de Agua de pozo:*

Como se mencionó anteriormente, el agua potable se encuentra fuera de los valores requeridos por la norma de calidad de agua vigente NCh-409, con una concentración de sulfatos de 614,5[mg/L] en contraposición al valor máximo permitido por la norma de 500[mg/L].

Para evaluar la factibilidad técnica de la reincorporación del rechazo al estanque de agua de pozo, la calidad de dicho flujo debe ser superior o igual a lo solicitado por la norma. Idealmente, al realizar la dilución de agua de rechazo en el agua de pozo, se debiese alcanzar los valores permitidos por la norma que actualmente se encuentran fuera de especificación. Los valores obtenidos en el análisis de calidad para el rechazo del segundo paso de la osmosis inversa muestran una cantidad de sulfatos igual a 26[mg/L].

Para conocer la concentración diaria obtenida de la dilución del rechazo se lleva a cabo el cálculo mostrado en la Ecuación n°8:

$$[SO_4^{-2}]_{i+1} = \frac{(V_{Agua\ Pozo} - V_{Rechazo}) * [SO_4^{-2}]_i + V_{Rechazo} * [SO_4^{-2}]_{Rechazo}}{V_{Agua\ Pozo}} \quad (8)$$

Con las variables:

$[SO_4^{-2}]_{i+1}$ : *Concentración de sulfatos en el estanque después de la dilución*

$[SO_4^{-2}]_i$ : *Concentración de sulfatos en el estanque antes de la dilución*

$[SO_4^{-2}]_{Rechazo}$ : *Concentración de sulfatos en el rechazo del 2° paso de la osmosis*

$V_{Agua\ Pozo}$ : *Volumen del estanque de agua de pozo*

$V_{Rechazo}$ : *Volumen del rechazo incorporado al estanque*

Bajo la premisa de que en el peor de los casos la concentración de sulfatos se mantendrá constante en el rechazo del segundo paso de la osmosis (teóricamente debiese disminuir debido a la disminución de la concentración en el estanque de agua de pozo), se obtiene que el día 11 desde el comienzo de la recirculación, se alcanza una concentración de sulfatos igual a 495[mg/L], logrando el cumplimiento de la norma.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior y considerando la información que se posee en cuanto a la calidad del rechazo del primer paso de las osmosis, se podría recircular también

una porción de dicho rechazo mezclado con el rechazo del segundo paso de la osmosis inversa, según la Ecuación n°9:

$$[SO_4^{-2}]_{i+1} = \frac{(V_{\text{Agua Pozo}} - V_{R1} - V_{R2}) * [SO_4^{-2}]_i + V_{R1} * [SO_4^{-2}]_{R1} + V_{R2} * [SO_4^{-2}]_{R2}}{V_{\text{Agua Pozo}}} \quad (9)$$

Según este análisis, se podría alcanzar una concentración de sulfatos menor a 500[mg/L] en el periodo de un mes desde el comienzo de la recirculación, considerando una recuperación del 100% del rechazo del segundo paso y del 27% para el rechazo del primer paso.

Cabe destacar que, para llevar a cabo esta medida, es necesario modificar el diseño de distribución de agua, definiendo estanques independientes para el agua de consumo humano y el agua de proceso, esto con el fin de evitar posibles contaminaciones que puedan afectar la salud de las personas en la instalación. La otra opción es juntar los flujos por medio de adosamiento de *piping* con diámetros que permitan la entrega de flujo en la proporción deseada, efectuando el acoplamiento de cañerías en la sección de agua de proceso, y con el resguardo de válvulas check (que evitan que el flujo se devuelva) aguas arriba del acople.

#### 8.3.3.4. Incorporación del Rechazo al Estanque S-501:

Para evaluar la factibilidad técnica de esta opción, basta con comparar la calidad de agua del rechazo con la requerida por Ecolab para ser considerada como agua suavizada (100016).

La técnica usada para medir dureza se lleva a cabo por medio de un kit Nalco, que consta de una titulación con límite inferior de detección igual a 2 [ppm CaCO<sub>3</sub>]. Al realizar la titulación el cambio de color se ve en el primer instante, por lo que la dureza asociada al rechazo es inferior a 2[ppm CaCO<sub>3</sub>]. El pH asociado el rechazo es de 7,3[-], por lo tanto, cumple con las especificaciones necesarias para ser considerada agua suavizada.

Además de cumplir con la especificación de calidad, el descarte del rechazo se encuentra físicamente muy cercano al ablandador, por lo que se puede adosar al *piping* por donde se envía el agua blanda al estanque S-501.

#### 8.3.4. Retrolavado del Ablandador:

Para reutilizar una porción del retrolavado obtenido del ablandador se propone acumularlo en un estanque de almacenamiento y utilizarlo en lavado menor, lo cual considera el enjuague de mangueras, lanzas, envases, llenado de la máquina lavadora de pisos, etc.

El flujo de retrolavado es suficiente para cubrir la totalidad de los lavados menores, logrando una reutilización de un 55% del retrolavado.

### 8.3.5. Potencial de Ahorro de las medidas correctivas

Considerando todas las acciones que se han propuesto como medidas correctivas para disminuir el consumo de agua de la planta, se calcula que el *KPI* de Agua no productiva que se podría alcanzar, pasando de un 49% que es la situación actual, a un potencial de 30%.

En la Figura n°25 se observa el porcentaje que cada acción correctiva propuesta disminuiría potencialmente del total del agua no productiva.



Figura 25. Potencial ahorro de agua no productiva al implementar las acciones correctivas de disminución de agua.

## 8.4. Aplicar acciones correctivas factibles a la causa raíz identificada

### 8.4.1. Recuperación de Agua de Lavado:

Dado que es una medida administrativa, y que se cuenta con espacio para almacenar 36 *IBC*'s con sistema de trinchera de contención en caso de derrame, la medida se considera factible e implementable.

Al mes de agosto se logra recuperar un 21% de agua de lavado gracias a la presente medida implementada lo que corresponde a un 4% del agua no productiva, tal como se observa en la Figura n°26. El potencial ahorro de un 6% del agua no productiva no se logra debido a que se necesita una mayor capacidad de almacenamiento de *IBCs* para el almacenamiento de agua.

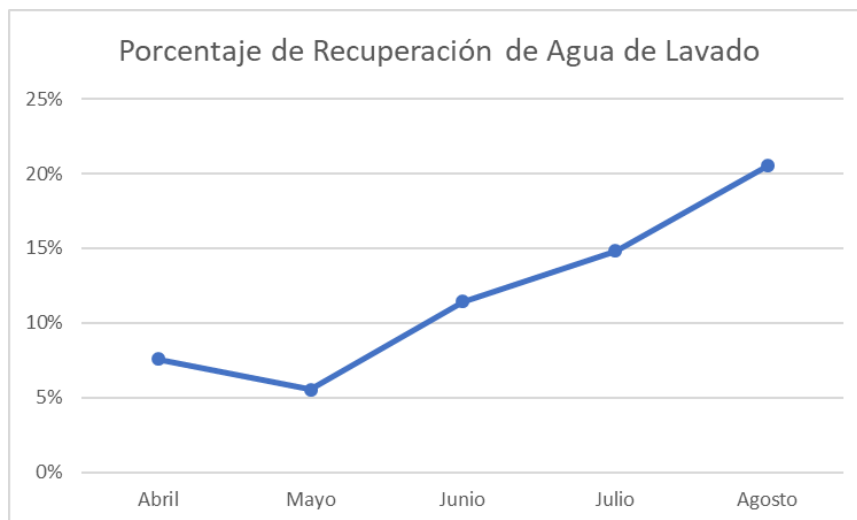


Figura 26. Porcentaje de agua de lavado ahorrada por la implementación de recuperación de agua de lavado

#### 8.4.2. Implementación de Matriz de Lavado:

Al igual que el caso anterior, también se trata de una medida administrativa, por lo tanto, se considera una medida factible e implementable. La implementación arranca en el mes de agosto, logrando una reducción de agua del 0,1% de agua no productiva.

#### 8.4.3. Recuperación del Rechazo del primer paso de la osmosis inversa

La solución de reincorporación del rechazo al estanque de agua de pozo corresponde a una solución de ingeniería que requiere de inversión en *pipíng*, estanque de acumulación de rechazo, sensor de nivel y bomba. La evaluación técnica queda hecha y a disposición de la planta, para pasar a la etapa de evaluación económica, a cargo del área de mantenimiento/ingeniería.

La reutilización del rechazo como agua de lavado implica una inversión similar a la de recirculación, ya que se debe acumular el agua, enviarla por *pipíng* a los mezcladores y adosarla al sistema de *sprayballs* existente. Para incorporar la medida como control administrativo, habría que lavar con hidrolavadora, lo cual es más engorroso para el operador, ya que los *sprayballs* se controlan desde el *PLC*.

#### 8.4.4. Recuperación del Rechazo del segundo paso de la osmosis inversa:

La solución de reincorporación del rechazo al estanque de agua de pozo corresponde a una solución de ingeniería que requiere de inversión en *pipíng*, estanque de acumulación de rechazo, sensor de nivel y bomba. La evaluación técnica queda hecha y a disposición de la planta, para pasar a la etapa de evaluación económica, a cargo del área de mantención/ingeniería.

La solución de incorporación del rechazo al estanque S-501 implica una inversión menor a la anterior (basta con cambiar una conexión en el *pipíng*), por lo cual es llevada a cabo por el área de mantención.

Esta medida se implementó durante el mes de Julio, logrando una recuperación del 100% del rechazo del 2° paso.

#### 8.4.5. Recuperación del Retrolavado del ablandador:

Esta acción correctiva también requiere de inversión en *pipíng*, o bien, espacio para colocar un *IBC* con agua de retrolavado en la zona de lavado. Actualmente la zona de lavado no puede ser obstaculizada por un *IBC* debido a que existe circulación de camiones en ella. Por lo tanto, pasa a la etapa de evaluación económica para instalar el *pipíng* correspondiente para recuperar dicha agua.

### 8.5. Definir el Plan Maestro

#### 8.5.1. Recuperación de Agua de Lavado:

Para implementar la recuperación de agua de lavado se debe realizar el siguiente flujo de trabajo:

- Orden de fabricación: Al ser impresas las órdenes de fabricación del día siguiente, se debe verificar si los productos a fabricar se encuentran en la lista de productos para recuperar agua. Si existen productos a los que se pueda recuperar su agua de lavado, entonces en la orden de fabricación se debe escribir “Recuperar Agua de Lavado”, para luego ser entregada a fraccionamiento.
- Entregar orden a fraccionamiento: Una vez que fraccionamiento prepara las materias primas, los fabricantes toman la orden para comenzar la fabricación.
- Fabricación: Si la orden de fabricación dice “Recuperar Agua”, entonces el fabricante debe retirar el *IBC* correspondiente al agua de lavado del producto a fabricar y posicionarla junto al mezclador donde se fabricará el producto, pesar el *IBC* con el

agua dentro y restar el peso del *IBC*, el resultado es la cantidad de agua que se va a cargar al mezclador y debe ser anotado en la Orden de Fabricación.

- Identificar espumabilidad del producto: Si el producto no es espumoso, el agua debe ser cargada inmediatamente al mezclador, y completar con agua limpia la cantidad indicada por la orden de fabricación. Si el producto es espumoso, primero cargar el agua limpia (agua indicada por la orden menos agua en el *IBC*), y cargar el agua del *IBC* a medida que se vayan lavando las líneas entre la adición de las distintas materias primas.
- Lavado: Al lavar el mezclador, el agua debe ser guardada nuevamente en el *IBC*.
- Adición de biocida: Revisar si al agua de lavado se le debe agregar algún biocida. Si es así, agregar la cantidad del biocida indicado al *IBC*.
- Guardar el *IBC*: Posicionar el *IBC* en la zona de contención de aguas de lavado.
- Registro de agua recuperada y agua guardada: Cuando la orden de fabricación vuelve a la oficina de producción una vez que el producto fue aprobado por Aseguramiento de la Calidad, se debe registrar en la planilla de “Implementación de Agua de Lavado” la fecha, el producto y la cantidad de agua recuperada, además de la cantidad de agua guardada para la siguiente fabricación.

En la Figura n°27 se observa de forma esquemática el Flujo de trabajo para la recuperación de agua en la planta.

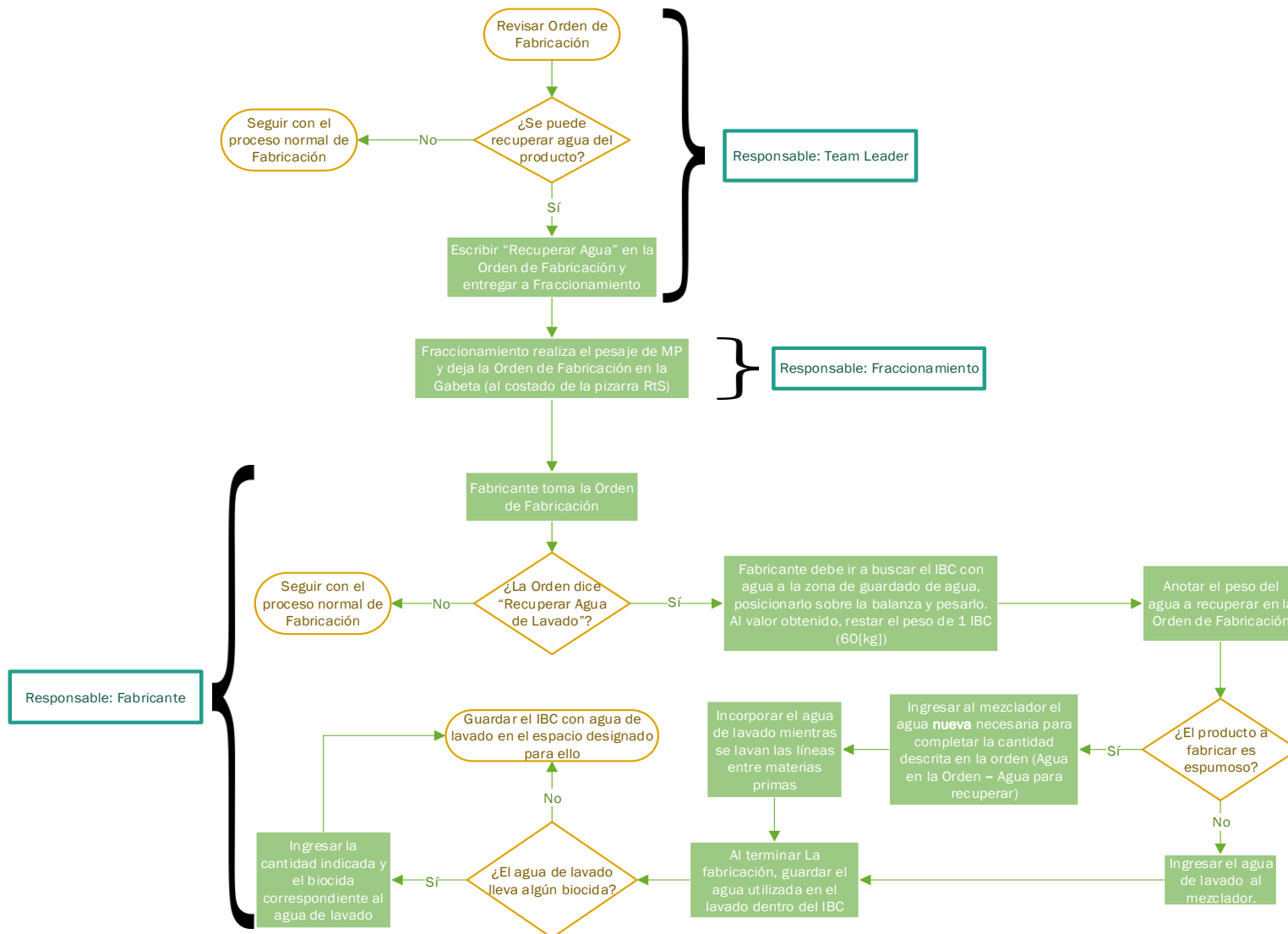


Figura 27. Flujo de Trabajo para la recuperación de agua en planta Santiago

### 8.5.2. Implementación de Matriz de Lavado

Para lograr implementar la Matriz de Lavado y reducir el uso de agua en el lavado de estanques, es de suma importancia el trabajo colaborativo con el área de *planning*.

Debido a lo engorroso que puede ser para el planificador buscar los productos en la matriz, se crea una herramienta donde se ingresan los códigos de los productos a fabricar (semanal o mensualmente), generando una matriz de compatibilidad entre dichos productos. De esta manera, se obtiene de manera rápida y sencilla las oportunidades de enjuagues y no lavados en el plan de fabricación para dicho periodo, tal como se muestra en la Figura n°28. Con la herramienta, el planificador puede agrupar las producciones (adelantándolas o retrasándolas del plan inicial) según tonelaje o mezclador y generar secuencias de producción que minimicen el uso de agua en el lavado.

MIN Productos	j16t3	w16k1	j16E6	j16t0	w16j2	j16m3	j16n2	j16d8	j16v1	w16h1	j16j0	j16k9	j16w7	j16u3	j16c8	j16s5	j16x3	j16w8	j16y5	j16y9	j16x4	w16d2	w16g3	j16k5	
j16t3	N	W	W	W	R	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	R	W	W	
w16k1	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16E6	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16t0	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
w16j2	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16m3	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16n2	W	R	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16d8	W	W	W	W	N	W	W	N	W	N	N	R	N	W	W	R	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16v1	W	W	R	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	R	W	W	W	W	W
w16h1	W	W	W	W	R	W	W	N	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16j0	W	W	W	W	R	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16k9	W	W	W	W	R	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16w7	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16u3	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	R	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16c8	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
j16s5	W	W	W	W	R	W	W	W	W	W	W	W	W	R	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W	W
j16x3	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W	W
j16w8	W	W	W	W	R	W	W	W	W	W	W	W	R	R	W	W	R	W	N	W	W	W	R	W	W
j16y5	W	W	R	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W	W	W
j16y9	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W	W
j16x4	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W	W
w16d2	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N	W	W
w16g3	W	W	W	W	R	W	W	W	W	R	R	W	R	W	W	R	W	W	W	W	W	R	W	N	W
j16k5	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	N

Figura 28. Generación de Matriz de lavado a partir de la planificación de la producción

Cuando *planning* entrega la planificación de fabricaciones al equipo de producción, debe indicar el mezclador donde se va a llevar a cabo la producción y la secuencia de lavado asociada a ella obtenida de la matriz, tal como se muestra en la Tabla n°8; donde se observa una oportunidad de No lavado y 9 oportunidades de enjuague para la secuencia propuesta.

Tabla 8. Secuencia de lavado para la producción

Secuencia	Antes	Después	Tipo de Lavado
1	w16h1	j16d8	N
2	j16d8	j16s5	R
3	j16s5	j16w7	R
4	j16w7	j16n2	W
5	j16n2	w16k1	R
6	w16k1	j16v1	W
7	j16v1	j16y5	R
8	j16y5	j16e6	R
9	j16e6	j16u3	W
10	j16u3	j16c8	R
11	j16c8	w16g3	W
12	w16g3	j16j0	R
13	j16j0	w16j2	R
14	w16j2	j16w8	W
15	j16w8	j16k9	R

Una vez que la secuencia de lavado planificada llega a producción, esta debe ser ejecutada, es decir, debe ser informada la secuencia a los fabricantes y se debe asegurar que se realicen enjuagues y no lavados entre los productos indicados. De lo contrario, no se concreta el ahorro de agua y el trabajo precioso se convierte en una pérdida de tiempo y recursos en lugar de una ganancia.

### 8.6. Implementar indicadores a medir en *Run to Standar* de producción

Con el fin de lograr los objetivos planteados y poder tomar acciones correctivas en cuanto se detecten falencias, se implementan indicadores sencillos de medir y que reflejen la efectividad de las medidas correctivas planteadas.

Dado que las medidas implementadas de Recuperación de Agua de Lavado e Implementación de Matriz de Lavado repercuten directamente en la generación de agua de desecho, se implementa un seguimiento diario de los siguientes indicadores:

- Recuperación de Agua de Lavado Acumulada [ton]: Para obtener el ahorro de esta medida se calcularon las toneladas que potencialmente se podrían recuperar. En base a dicho valor se define la meta de recuperación y se distribuye en 4 semanas, evidenciando que el agua debe ser recuperada progresivamente dentro del mes. En la Figura n°29 se observa un ejemplo del diagrama que se completa diariamente en la pizarra de *Run to Standard*, mostrando en verde los valores permitidos y en rojo los valores que sobrepasan lo esperado. Cuando se alcanzan los valores rojos, se

analiza con los operarios las causas de dicho incremento y se toman las acciones necesarias para que no vuelvan a ocurrir.

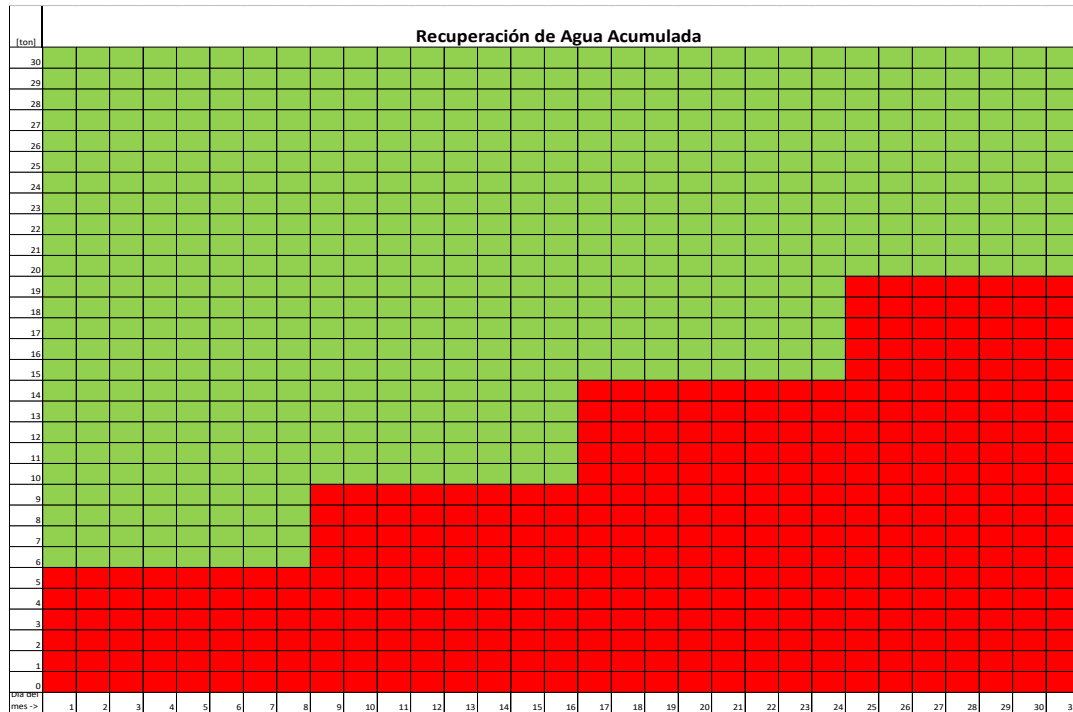


Figura 29. Diagrama de Run to Standard del indicador "Recuperación de agua acumulada"

- % de incremento de nivel en estanque S-514: Debido a que toda el agua de lavado es acumulada en el estanque S-514, es de esperar que, si se guarda el agua de lavado, el nivel del estanque no aumente descontroladamente. Por esta razón este indicador es una consecuencia del anterior, pues mientras mayor sea la recuperación de agua, menor será el incremento en el nivel del estanque. Considerando el ahorro de agua que debiese lograrse gracias a las medidas implementadas, el incremento diario del estanque debiese ser de un 10%. Cabe destacar que el sensor de nivel muestra el % de llenado del estanque, por lo que basta que cada día antes de comenzar la operación los operadores registren el nivel del tanque y verifiquen si el incremento fue mayor o menor al 10%.

En la Figura n°30 se observa el diagrama que se completa diariamente en la pizarra de *Run to Standard* para el presente indicador.

Generación diaria de agua - Diferencia diaria del % del estanque S-514 (Waste Water)	
20	
19	
18	
17	
16	
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	
8	
7	
6	
5	
4	
3	
2	
1	
Día del mes ->	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Figura 30. Diagrama de Run to Standard del indicador "Diferencia diaria de % de nivel en estanque S-514"

## Capítulo 9: Verificación de las Acciones Correctivas

En el presente capítulo se muestra el desarrollo de los indicadores desde la implementación de las acciones correctivas, el seguimiento realizado para cumplir con ellos y el cierre del ciclo de Deaming.

### 9.1. Calcular los nuevos KPI

#### 9.1.1. Indicador YTD

El gráfico presente en la Figura n°31 muestra el comportamiento del consumo de agua respecto a las toneladas fabricadas en la planta completa. Se observa que entre los meses de abril y agosto existe una tendencia a la baja, con un incremento intermedio en el mes de julio debido a la parada del área farmacéutica por averías en equipos, lo que implicó seguir consumiendo agua (planta de agua farmacéutica no puede parar por ordenanza del SEREMI) pero sin generar el tonelaje asociado a la producción de dicha área.

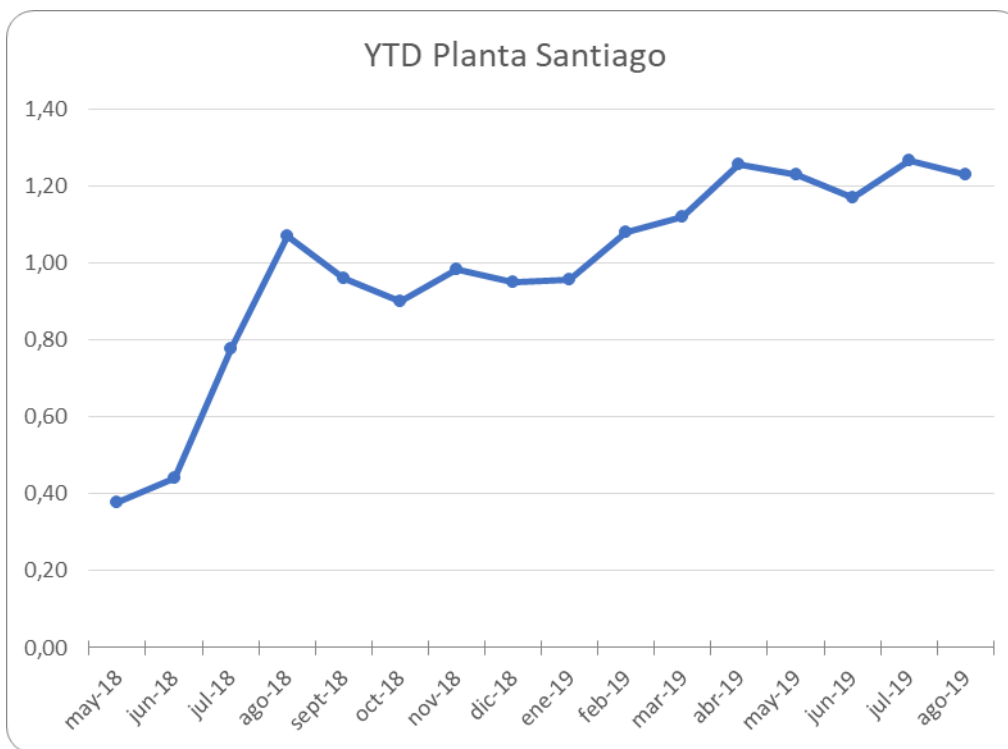


Figura 31. Data de YTD, planta Santiago, Ecolab. Fuente: Elaboración propia

Si se observa el indicador del área de químicos en la Figura n°32, se observa la tendencia a la baja desde la implementación de las medidas correctivas. Considerando los meses

comprendidos entre abril y agosto, en los cuales se aplicaron las acciones correctivas, se observa un promedio del YTD igual a 0,82; el cual corresponde a un valor por debajo de la meta de 0,89; demostrando un cumplimiento mayor al esperado.

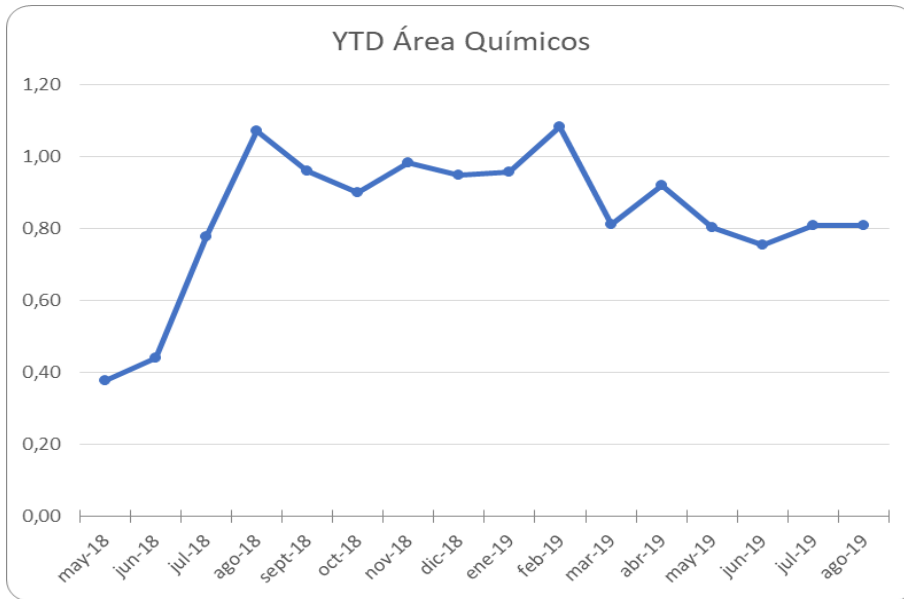


Figura 32. YTD del Área de Químicos incluyendo el resultado de las acciones correctivas

### 9.1.2. Indicador de % de Agua no productiva:

En la Figura n°33 se observa el % de agua no productiva de la planta completa, alcanzando valores del 60% de agua no productiva.

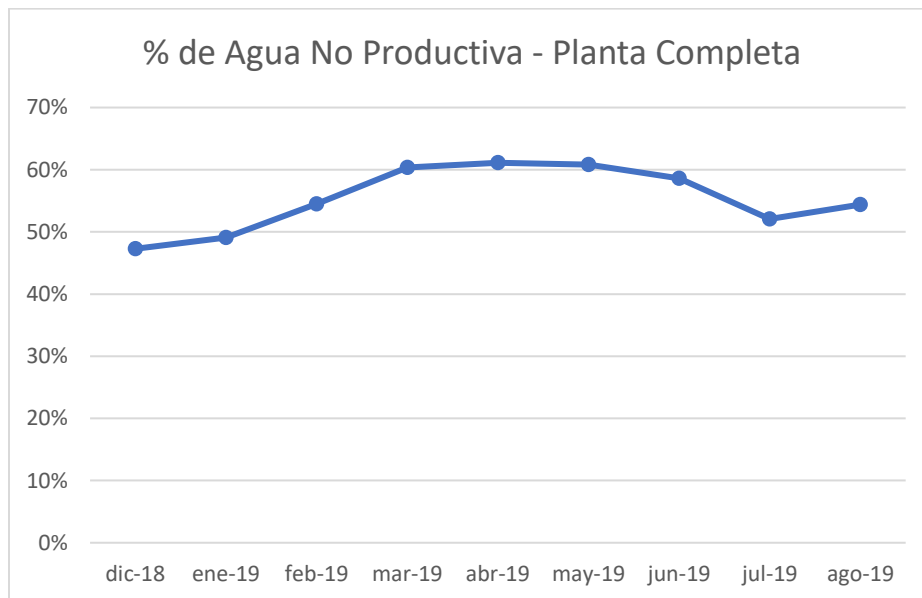


Figura 33. KPI % de Agua no productiva - Planta completa

Si se observa en la Figura n°34 el gráfico de % de agua no productiva del área de químicos, se evidencia una tendencia a la baja, alcanzando un valor promedio en el periodo del 34%. En este *KPI* no se alcanza el 30% propuesto inicialmente, ya que hubo medidas que no fueron implementadas, como la recuperación del rechazo del primer paso de la osmosis (por costo de inversión), y la recuperación completa de agua de lavado de mezcladores (por falta de espacio de almacenamiento para *IBCs*).

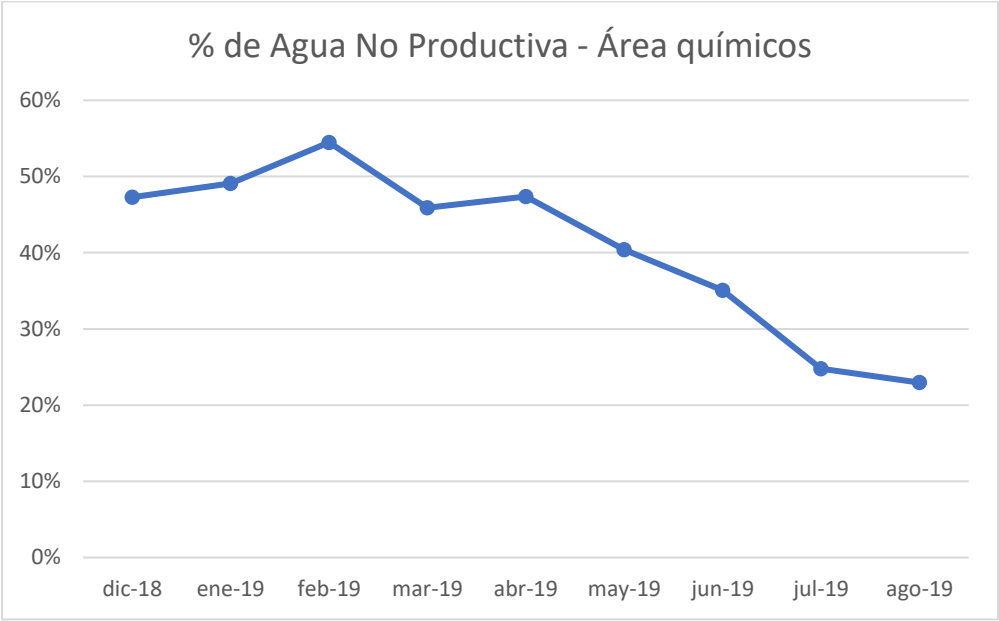


Figura 34. *KPI* % de Agua no productiva - Área químicos

9.1.3. Monetización del riesgo:

- Total Risk Premium:

Se observa una redistribución de los porcentajes de riesgo tanto en la Entrada como en la salida, aumentando en un 3% el riesgo en el agua de entrada y disminuyéndolo en la salida.

Al comparar Cantidad vs Calidad en la Figura n°35 se observa que tan solo aumentó en un 1% el riesgo asociado a la calidad, lo que disminuyó en cuanto a la cantidad.

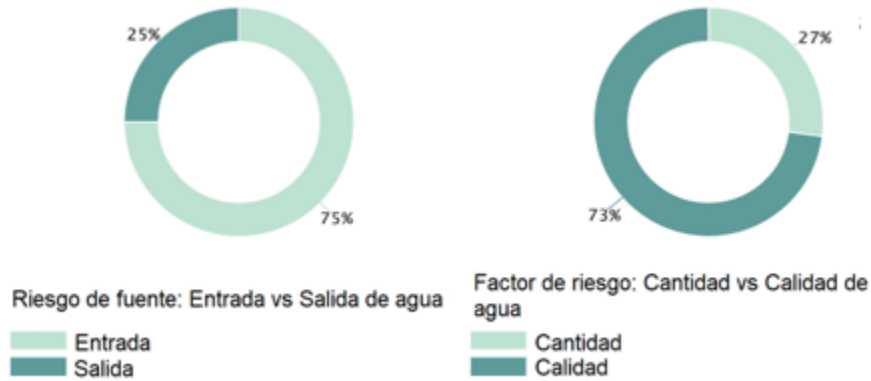


Figura 35. Total Risk Premium para Planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017).

- Incoming Risk:

Se observa en la Figura n°36 cómo disminuye el riesgo asociado a la calidad y la cantidad de agua tanto para el primer año como para la proyección al 10 año al ser comparado con los datos del inicio del proyecto.

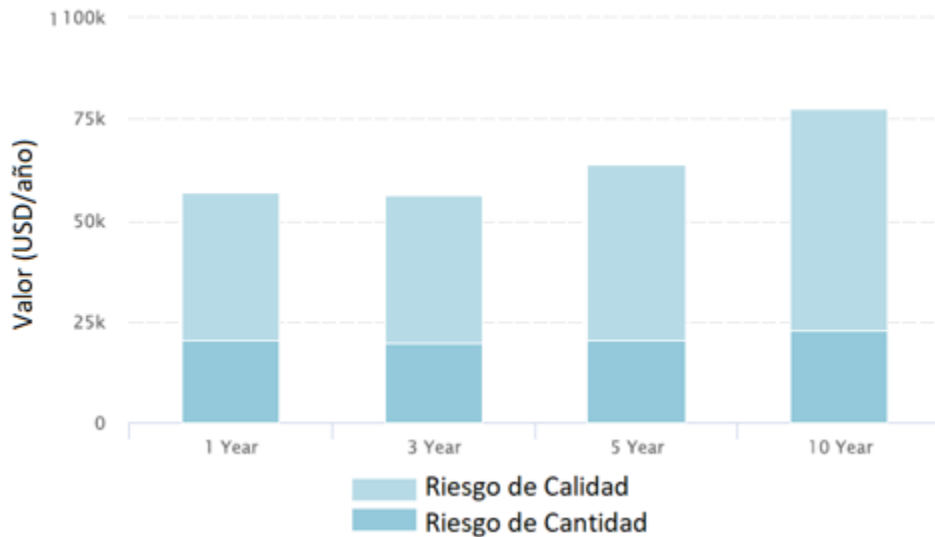


Figura 36. Incoming Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)

- Outgoing Risk:

Según se observa en la Figura n°37, el riesgo asociado al pago por disposición de agua de desecho disminuye considerablemente, desde 830[kUSD] hasta 165 [kUSD], lo que evidencia la importancia de tener un buen control en las emisiones de aguas de desecho, dado que impactan de manera importante en la monetización del riesgo.



Figura 37. Outgoing Risk de planta Santiago, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)

- Revenue at Risk:

Disminuye levemente, ya que las ganancias del negocio siguen teniendo una fuerte dependencia del consumo de agua, tal como se observa en la Figura n°38.

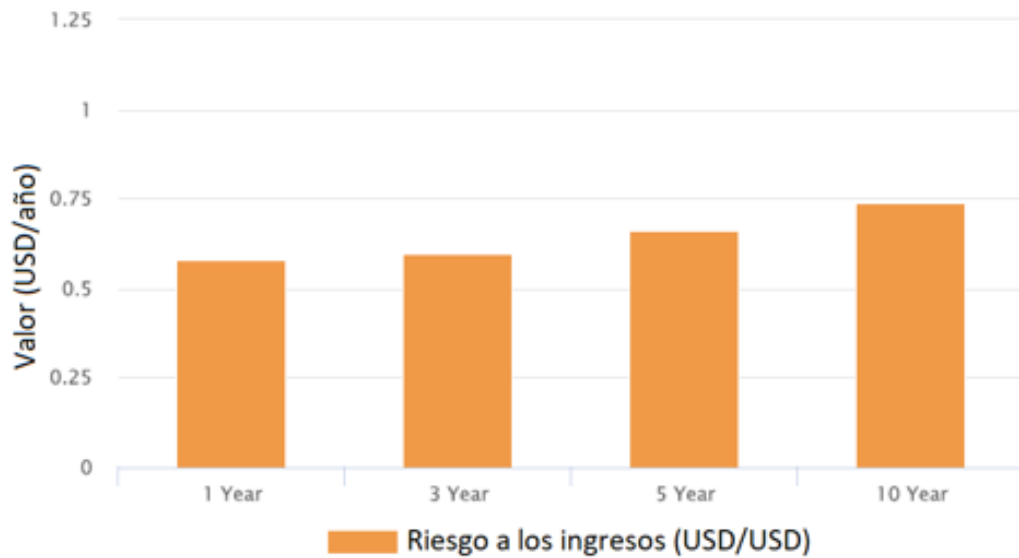


Figura 38. Revenue at Risk de planta Stgo, Ecolab (Ecolab S.A, 2017)

## 9.2. Adoptar un sistema de colección de data y Seguimiento periódico de los KPIs

Para que el estándar siga siendo implementado, mantenga las acciones correctivas e identifique nuevas pérdidas (en el caso de que surjan), es de suma importancia monitorear los datos del balance de agua. Para esto, se requiere contar con un sistema de colección de data que permita identificar si las pérdidas se incrementan, de manera de tomar las acciones correctivas correspondientes al caso.

El primer sistema de colección de data es el asociado al *Run to Standard*, es decir, el monitoreo diario de las variables críticas, que en este caso son la recuperación de agua de lavado y generación de agua de lavado. Además, estos datos deben ser cargados una vez a la semana en la planilla regional de *KPIs* de sustentabilidad, los cuales son presentados semanalmente en la *Run to Standard* del equipo de *SHE*.

Adicionalmente, se deben cargar los datos semanales del balance de agua, de manera de identificar si existen pérdidas o si alguna de las identificadas se encuentra fuera de control.

## Capítulo 10. Conclusiones

Se destaca la importancia de la implementación del estándar, el cual enmarcado en el ciclo de Deming conduce la detección de pérdidas, su causa raíz, las acciones correctivas a implementar y el seguimiento de *KPIs*, otorgando control al proceso. La estandarización del trabajo ordena el proceso y también identifica las acciones correctivas más efectivas. Los hallazgos más importantes del proceso fueron la identificación de las pérdidas de mayor prioridad, como el agua de lavado (lo cual implica un costo monetario elevado) y el rechazo de la osmosis, que representaba un 46% de la pérdida.

En base a las pérdidas identificadas, se corrobora que las acciones correctivas asociadas a reciclar el agua son las más efectivas, ya que recuperan el 100% de la pérdida como se evidenció en la recuperación del rechazo del segundo paso de la osmosis inversa. Por otro lado, también quedó en evidencia que la acción correctiva menos eficiente es la reducción por medio de la optimización, ya que el potencial es menor al 25%, lo cual queda evidenciado con el pequeño ahorro que se logró a través de la implementación de la matriz de lavado.

Durante la implementación fue clave el trabajo en equipo, pues sin el apoyo del liderazgo y de los operarios hubiese sido imposible lograr disminuir el consumo de agua. Uno de los desafíos más importantes fue implementar un flujo de trabajo efectivo en las acciones correctivas administrativas, ya que en ocasiones los operarios olvidaban recuperar el agua o bien, la orden de fabricación llegaba a ellos sin la marca de recuperación de agua de lavado. Finalmente se logró un flujo de trabajo efectivo que logró una recuperación del 21% del agua de desecho.

La implementación de los *KPIs* en la *Run to Standard* permitió que los operarios se empoderaran de la operación respecto a la recuperación de agua, y tomaran consciencia de las acciones que se estaban implementando, empujando el cumplimiento de metas desde las bases.

## Capítulo 11. Recomendaciones

Un próximo paso asociado a sustentabilidad es implementar el proceso estándar de manera análoga en búsqueda de la optimización energética.

Como próximo paso se recomienda implementar el estándar de Sustentabilidad en el área de producción farmacéutica, replicando el proceso y tomando en consideración la legislación y normativa pertinente a la fabricación de productos farmacéuticos de consumo humano, lo cual puede otorgar restricciones a las acciones correctivas.

Además, se propone ejecutar el proyecto de la implementación de *piping* para la recirculación de rechazo de osmosis y al adosamiento a las líneas de lavado de estanques, junto al el estudio económico de la independización de las líneas de calefacción y enfriamiento para usar agua de rechazo como servicio de enfriamiento y tener un mayor aprovechamiento energético al evitar el mezclado de líneas.

Otro aspecto interesante para realizar es el estudio del uso y disposición de *spray-jets* en mezcladores para optimizar la cantidad de agua de lavado.

## Anexos

### Anexo n°1: Ejemplos de Causa Raíz de la Pérdida

- Uso excesivo del recurso: Emplear un lavado de estanque de dos minutos en lugar de uno, logrando iguales resultados.
- Deficiencias en equipos: Un mayor uso de agua para enfriamiento debido a problemas de transferencia de calor en un intercambiador de calor (incrustaciones, fugas, etc). O bien, aumento en la purga de una torre de enfriamiento debido a la alta concentración de sales, lo cual podría ser ocasionado por un mal funcionamiento del ablandador (desgaste de la resina, poco tiempo de regeneración, etc).
- Operacional: Un exceso en el rechazo de la osmosis podría deberse a un exceso de presión en la alimentación.

Anexo n°2: Ficha Técnica del Filtro de Carbón Activado

**UltraCarb Granular Activated Carbon Filter:  
2" Valve Size Models for 21", 24", 30", 36" Tank Sizes**



Specification SPEC-551

Dissolved organics, chlorine, and odors in your incoming water streams can lead to fouling of membrane systems, objectionable taste in water supplies, and other potential issues impacting your facility's water system operation which can lead to increases in operational costs. Reduce this impact by selecting from Nalco's proven UltraTreat® Pretreatment product line. Choose the UltraCarb Granular Activated Carbon (GAC) Filter which include:

- Individual, multiport, control valve mounted on a FRP pressure vessel
- Heavy duty, lead free brass, multiport control valve utilizing self-cleaning, hydraulically balanced pistons provide years of trouble-free service
- Low maintenance, corrosion resistant FRP pressure vessel with NSF approved polyethylene liners
- Pressure vessel design allows proper freeboard space above the filter media bed for adequate expansion of the media during backwashing
- Backwash cycle initiated by a timer allows setting for single and multiple days of the week
- No raw water bypass. Prohibits untreated water to service during regeneration



Figure 1 — UltraCarb Granular Activated Carbon Filter

- Simplex system arranged in parallel provides higher flow rates and provide continuous, 24-hour filtered water to service
- Assembly & start-up service available in certain geographical areas

LI-Series Activated Carbon Filters							
Nalco Part Number	Media Volume per Tank <sup>1</sup> (ft <sup>3</sup> )	Tank Size D x H (in)	Valve Size (in)	Water Quality - Flowrates			Backwash Flowrate <sup>5</sup> (gpm)
				Organic Removal <sup>2</sup> (gpm)	Chlorine Removal <sup>3</sup> (gpm)	Peak <sup>4</sup> (gpm)	
011-CLSFFHC.88	7	21 x 62	2	6.0	12.0	24.0	25
011-CLSFFIC.88	10	24 x 72	2	7.8	15.7	31.4	30
011-CLSFFJC.88	15	30 x 72	2	12.0	24.0	48.0	50
011-CLSFFKC.88	20	36 x 72	2	17.7	35.3	70.7	70

Anexo n°3: Especificaciones del Ablandador ubicado en el área Farmacéutica  
**Specifications**

Model	Maximum Service Flow (gpm)	Tank Size Diameter (inches)	Minimum Backwash Rate (gpm)	DI-tech UXC Resin Media		
				Bed Depth (Inches)	Weight (lbs)	Volume (cu. ft.)
UXC- 0948	6	9 x 48	4.5	13	85.5	1.0
UXC- 1054	8	10 x 54	5.6	14	114.0	1.5
UXC- 1252	9.6	12 x 52	8.0	16	171.0	2.0
UXC- 1354	10.3	13 x 54	9.0	17	222.0	2.5
UXC- 1465	13.1	14 x 65	10.9	18	285.0	3.5
UXC- 1665	17.1	16 x 65	14.3	20	339.0	4.5

## FACILITY REPORT FOR PLANTA SANTIAGO

Lampa, Santiago Metropolitan, Chile

Industry classification: Soap and Other Detergent Manufacturing

### Facility Data

Incoming Water Price (USD per m <sup>3</sup> )	\$0.00	Total Facility Output per Year	21,982
Incoming Risk Adjusted Price (USD per m <sup>3</sup> )	\$3.09	Facility Outputs (units of measure)	Ton
Outgoing Water Price (USD per m <sup>3</sup> )	\$105.90	Projected Facility Output (Growth) Over 3 years	1.00%
Outgoing Risk Adjusted Price (USD per m <sup>3</sup> )	\$109.15	Revenue (USD)	\$31,870,944

### Total Risk Premium

The Total Risk Premium is a monetary estimate of the full value of water to the facility. It is the sum of the incoming risk premium (based on quantity and quality) and the outgoing risk premium (based on quality risk).



Risk source: Incoming vs. Outgoing water  
 Risk Factor: Quantity vs. Quality water

Incoming  
Outgoing

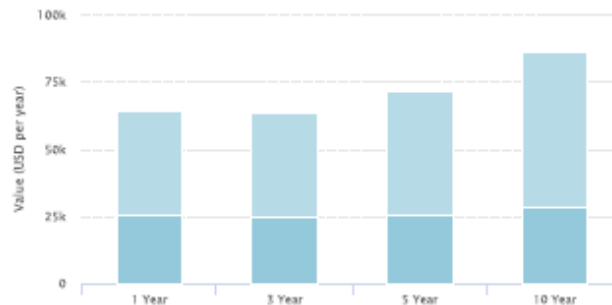
Quantity  
Quality

### Incoming Risk

Incoming Risk Likelihood Score:

**HIGH**

Incoming water risk premium places a monetary value on the local environmental, human-health and domestic supply impacts of water depletion and the future costs of incoming water treatment.



USD per year	1 year	3 year	5 year	10 year
Quality Risk	38,928	38,977	45,965	58,209
Quantity Risk	25,392	24,630	25,756	28,453
Water Bill	0	0	0	0
Combined	64,319	63,607	71,722	86,663

Risk Adjusted Unit Pricing (USD per m <sup>3</sup> )	1 year	3 year	5 year	10 year
Quality Risk Premium	1.87	2.01	2.37	3.00
Quantity Risk Premium	1.22	1.27	1.33	1.47
Water Bill Unit Price	0.00	0.00	0.00	0.00
Combined Risk Adjusted Price	3.09	3.28	3.70	4.47

Date: 21/5/2019

Water Risk Monetizer Planta Santiago Report: Page 1 of 2

# FACILITY REPORT FOR PLANTA SANTIAGO

Lampa, Santiago Metropolitan, Chile

Industry classification: Soap and Other Detergent Manufacturing

## Outgoing Risk

Outgoing Risk Likelihood Score:

**HIGH**

Outgoing water risk premium places a monetary value on the local environmental and human-health impacts of water pollution and the future costs of water treatment.



USD per year	1 year	3 year	5 year	10 year
Quality Risk	25,454	28,942	33,464	41,628
Water Bill	829,832	722,498	852,038	1,078,998
Combined	855,286	751,440	885,502	1,120,626

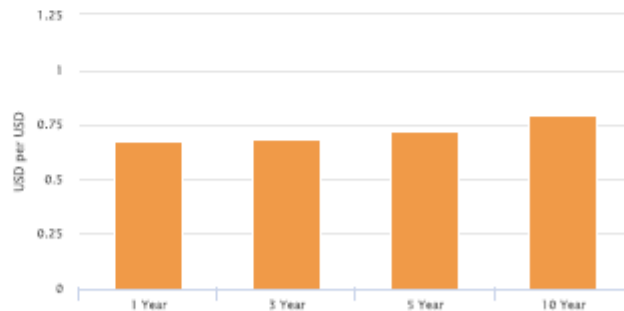
Risk Adjusted Unit Pricing (USD per m <sup>3</sup> )	1 year	3 year	5 year	10 year
Quality Risk Premium	3.25	4.35	5.02	6.25
Water Bill Unit Price	105.90	108.47	127.92	162.00
Combined Risk Adjusted Price	109.15	95.90	113.00	143.01

## Revenue Risk

Revenue Risk Likelihood Score:

**HIGH**

Revenue at risk compares the estimated amount of water a business requires to generate revenue (m<sup>3</sup> per USD of revenue) to the business' share of water available in the water basin if water were allocated among water users based on economic activity (contribution to basin-level GDP). If more water is required than the basin share of water allocated, then a proportion of the business' revenue is potentially at risk.



USD per year	1 year	3 year	5 year	10 year
Revenue At Risk (USD per USD)	0.67	0.68	0.72	0.79

Date: 21/5/2019

Water Risk Monetizer Planta Santiago Report: Page 2 of 2

## Anexo n°5: Especificaciones de agua potable Nalco (R-99), según NCh-409

Tabla 9. Tabla 1 de Elementos esenciales, según la NCh-409 (Instituto Nacional de Normalización - INN, 2006).

Tabla 1 - Elementos esenciales

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo mg/L
Cobre	<i>Cu</i>	2,0
Cromo total	<i>Cr</i>	0,05
Fluoruro	<i>F<sup>-</sup></i>	1,5
Hierro	<i>Fe</i>	0,3
Manganeso	<i>Mn</i>	0,1
Magnesio	<i>Mg</i>	125,0
Selenio	<i>Se</i>	0,01
Zinc	<i>Zn</i>	3,0

Tabla 2 - Elementos o sustancias no esenciales

Elemento o sustancia	Expresado como elementos o sustancias totales	Límite máximo mg/L
Arsénico	<i>As</i>	0,01 <sup>1)</sup>
Cadmio	<i>Cd</i>	0,01
Cianuro	<i>CN<sup>-</sup></i>	0,05
Mercurio	<i>Hg</i>	0,001
Nitrato	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	50
Nitrito	<i>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></i>	3
Razón nitrato + nitrito	<sup>2)</sup>	1
Plomo	<i>Pb</i>	0,05

Tabla 3 - Sustancias orgánicas

Sustancia	Límite máximo µg/L
Tetracloroetano	40
Benceno	10
Tolueno	700
Xilenos	500

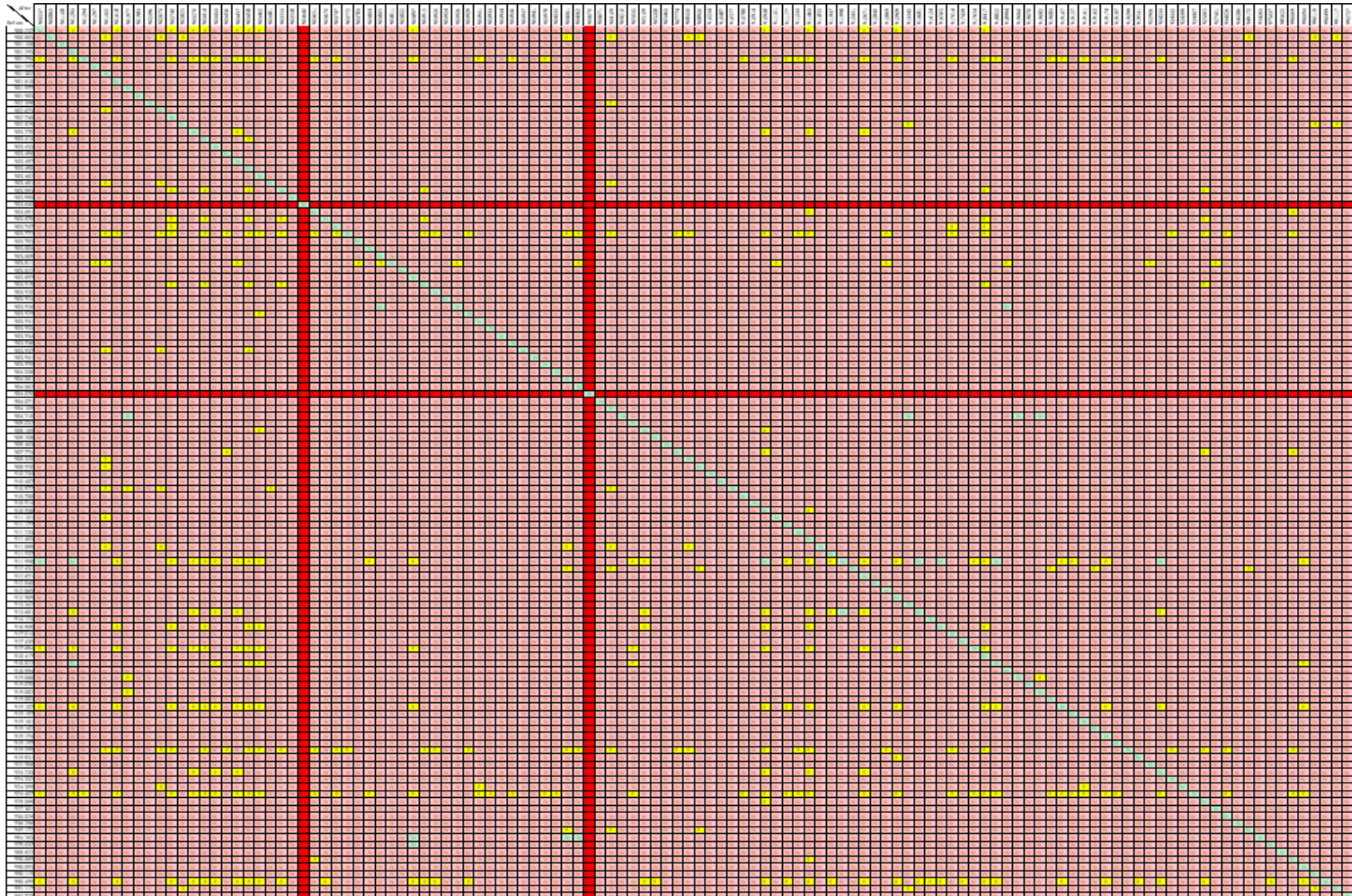
Tabla 4 - Plaguicidas

Plaguicida	Límite máximo µg/L
DDT + DDD + DDE	2
2,4 - D	30
Lindano	2
Metoxicloro	20
Pentaclorofenol	9

Tabla 5 - Productos secundarios de la desinfección

Producto	Límite máximo mg/L
Monocloroamina	3
Dibromoclorometano	0,1
Bromodiclorometano	0,06
Tribromometano	0,1
Triclorometano	0,2
Trihalometanos	1 <sup>*)</sup>

Anexo n°6: Matriz de Lavado para mezcladores T-10X y T-40X



## Referencias

- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. (28 de Marzo de 2019). *www.dga.cl*. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de <http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>
- Ecolab S.A. (25 de Marzo de 2017). *Water Risk Monetizer*. Recuperado el 2019, de <https://www.waterriskmonetizer.com/>
- Ecolab S.A. (2017). *Water Risk Monetizer*. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <https://www.waterriskmonetizer.com/>
- Ecolab S.A. (25 de Marzo de 2019). *www.ecolab.com*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <https://www.ecolab.com/about/our-history/ecolab-timeline>
- Ecolab S.A. (2018). *TPM Pillar Playbook: Safety, Health & Environment*.
- Ecolab S.A. (25 de Marzo de 2019). *www.ecolab.com*. Recuperado el 25 de Marzo de 2019, de <https://www.ecolab.com/about/our-businesses>
- Instituto Nacional de Normalización - INN. (2006). *NCh409: Agua Potable*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.
- Jiménez, S., & Wainer, J. (2017). *Realidad del Agua en Chile, ¿Escasez o falta de infraestructura?* Santiago: Libertad y Desarrollo.
- Mercantil. (Marzo de 2019). *www.mercantil.com*. Obtenido de <https://www.mercantil.com/empresa/ecolab-sa/nunoa/300004753/esp/>
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2003). *Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas*. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Reporte Sostenible. (28 de Marzo de 2019). *www.reportesostenible.cl*. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de <http://www.reportesostenible.cl/Huella-hidrica-de-cada-chileno-es-de-3200l-itros-de-agua-diaria-entre-lo-que-bebe-y-la-produccion-de-su-alimento>