

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



“ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y
DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA UNA
MEJOR GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS EN EMPRESA PRODUCTORA DE
EXPLOSIVOS”

IGNACIO SEBASTIÁN HORMAZÁBAL OPITZ
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: ING. RAFAEL MENA YANSSEN

PROFESOR CORREFERENTE: MG.-ING. JAIME ESPINOZA SILVA

PROFESOR CORREFERENTE: DR.-ING. MARIO TOLEDO TORRES

NOVIEMBRE – 2019

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a toda mi familia y en especial a mis padres, por ser quienes me formaron para hoy ser la persona que soy y por apoyarme en cada una de mis etapas y decisiones que he tomado, dentro de las cuales el haber ingresado a esta universidad, a esta carrera y para poder así finalizarla con éxito luego de todos estos años.

A mis compañeros de carrera más cercanos, por haberme acompañado en este largo camino desde el primer día, ya sea en lo académico como en lo personal.

A todas las personas que conocí y con quienes compartí durante estos años, ya sea en la sala de clases como fuera de ella.

Al equipo de promoción, que se transformó en una familia para mí durante los últimos años de universidad.

A mi polola Daniela, quien hizo que estos años tan felices para mí, sean aún más felices, apoyándome también en los malos momentos y motivándome para salir adelante y lograr mis metas.

Finalmente, a Josefina Díaz y Rafael Mena, mi jefa en Enaex y profesor guía respectivamente, quienes me dieron la oportunidad y apoyaron para llevar a cabo este trabajo.

Detrás de todos estos agradecimientos hay muchas personas, y agradezco a todos por haber sido parte de esta etapa. Me llevo los más lindos recuerdos y espero tenerlos a cada uno de ustedes para siempre.

Con dedicatoria a mis padres, quienes siempre se han preocupado y esforzado para ayudarme en todo, pero especialmente, en mi camino a ser feliz.

Resumen Ejecutivo

El agua es un compuesto indispensable para todos los seres vivos, y por ende considerada uno de los compuestos más importantes para la vida. También es importante para otro tipo de sistemas, como en el caso particular de las empresas industriales, donde es utilizada en la mayoría de sus procesos productivos. Este compuesto es cada día más difícil de obtener debido a su mala distribución en la superficie de nuestro planeta, y por eso nace la necesidad de las empresas de preocuparse por el uso y consumo de este recurso con tal de no comprometer los recursos actuales con las necesidades del futuro.

Este trabajo tiene como objetivo principal cuantificar y comprender el uso y consumo de agua en las distintas plantas productivas de explosivos de la empresa Enaex, para así poder detectar riesgos, ineficiencias e incluso malas prácticas, para luego poder proponer soluciones que permitan una mejor gestión y utilización de los recursos hídricos de la compañía.

En primer lugar, se realizó un estudio de los diversos procesos productivos en las plantas para poder así entender los distintos consumos de agua asociados a estos. Luego se realizó un levantamiento de información respecto a la obtención, consumo y disposición del agua, el cual permitió cuantificar el uso y consumo, como también obtener el costo asociado a las distintas entradas de agua de cada planta.

A partir de este levantamiento de información se detectó una serie de hallazgos que dejaron en evidencia una mala gestión del agua, tales como compras a un alto costo, desorden administrativo, bajo control del consumo de agua, poco aprovechamiento de infraestructura interna para la obtención del agua, baja conciencia sobre la importancia del agua y ubicación de plantas en zonas de estrés hídrico. Además, se identificaron los distintos riesgos y oportunidades en materia hídrica que estos tienen sobre la compañía.

Para poder solucionar los hallazgos encontrados, mitigar estos riesgos y aprovechar las oportunidades encontradas, se propuso una serie de soluciones para implementar en cada una de las plantas, las cuales van desde la educación de los trabajadores en materia hídrica, implementación de políticas de control del consumo, hasta la inversión en nuevas tecnologías de obtención y almacenamiento de agua. Se realizó la evaluación económica de la implementación de estas inversiones y su consecuente ahorro, permitiendo obtener la factibilidad económica de estas soluciones.

En el contexto de este trabajo sobre el mejor aprovechamiento del agua, se estudió además una tecnología para poder producir amoníaco (materia prima en la producción de explosivos) a partir del agua, pudiendo llegar a ser esta una forma de producir explosivos de forma mucho más sustentable y ecológica que la utilizada mayormente hoy en día, que es a partir de hidrocarburos que causan un gran impacto sobre el calentamiento global.

Se concluyó que las soluciones más significativas para las plantas son la implementación de infraestructura y políticas de control, como también la utilización de nuevas tecnologías de obtención y acumulación de agua, las cuales tras su evaluación económica indican una recuperación de la inversión en menos de dos años y un ahorro aproximado en obtención de agua de aproximadamente 1MM USD en cinco años.

Abstract

Water is an element common to every living being, and hence is considered one of the most important compounds for life. It is also important for other types of systems, such as industrial companies, where it is used in most of their productive processes. This pure compound is ever more difficult to obtain due to its low distribution on Earth's surface and thus results in companies needing to take care of its use and consumption, so that this type of resource is not limited in the future where new needs arise.

This project's main objective is to measure the use and consumption of water in the different explosive production plants of the Enaex Company and to detect risks, inefficiencies and even bad practices to propose solutions to improve the water management of the company.

First, a study about the different productive processes was performed, to understand the associated water consumptions. Secondly, an information recollection about the obtaining, consumption and disposal of water in these productive plants was made. This study permitted to quantify the consumption and a way to obtain the associated cost of the different water sources of each plant.

After the investigation, it was clear there was a bad water management problem, mostly due to high cost purchases, administrative disorder, poor control of the water consumption, little use of own infrastructure for water obtain, and little awareness about the water importance and plants located on an hydric stress zone. Different risks and opportunities for the company related to the water management were identified because of these findings.

To solve these findings, mitigate the risks and seize the opportunities found, a series of solutions were proposed to be implemented in each of the plants, which range from the education of employees in terms of hydric resources, implementation of control politics of consumption and analysis of water providing and storage technologies. The economic evaluation of the implementation of these investments and its consequent savings were made, obtaining the economic feasibility of these solutions.

As a second body of investigation, it was also studied a new technique to produce ammonia (raw material for the making of explosives) from water and thus stopping the use of hydrocarbons which severely accelerate the global warming process.

It is finally concluded that the solutions with the greatest impact for the productive plants are the implementation of infrastructure and politics for water control and also the implementation of new water collecting and storing technologies. After its economic evaluation, it is noted that the implementations of these changes will payback in less than two years and will produce the approximate savings of 1 million USD in five years.

Glosario

Agua salobre: Es aquella que tiene más sales disueltas que el agua dulce, pero menos que el agua de mar. Técnicamente, se considera agua salobre la que posee entre 0,5 y 30 gramos de sal por litro.

Acuíferos subterráneos: Terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea.

Escorrentía: Flujo de agua o nieve proveniente de las lluvias que fluye sobre la tierra, siendo un componente principal del ciclo del agua.

Explosivo: Sustancia que por alguna causa externa (roce, calor, percusión, etc.) se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve.

Nitrato de amonio: Sal formada por iones nitrato y amonio. Su fórmula es NH_4NO_3 . Se trata de un compuesto incoloro e higroscópico, altamente soluble en agua. El nitrato de amonio es un producto no inflamable, por lo que un fuego a partir de éste es altamente improbable.

ANFO: Del inglés “Ammonium Nitrate - Fuel Oil”, es un explosivo de alta potencia. Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo.

Dinamita: Explosivo muy potente compuesto por nitroglicerina, una sustancia explosiva líquida a temperatura ambiente y muy inestable.

APD: Sigla proveniente de “Alto Poder Detonante”, es una familia de explosivos de alta velocidad de detonación.

Detonación: Explosión rápida y brusca capaz de iniciar la de un explosivo relativamente estable.

Detonador: Dispositivo iniciador usado para explosionar cargas explosivas.

Maxibags: Sacos de gran tamaño utilizados para almacenar y transportar algún producto. En Enaex se utilizan maxibags de 1, 1.2 y 1.3 toneladas para almacenar y transportar el Nitrato de Amonio Prill.

Emulsificante: Sustancia que ayuda en la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difíciles de mezclar.

PETN: Pentaeritritol tetranitrato, es un alto explosivo utilizado como materia prima para fabricar Pentolita y cordón detonante.

Pentolita: Explosivo resultante de la mezcla entre el TNT y la Pentrita en proporción 50/50.

Tronadura: Fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de explosivos depositados en su interior.

TNT: Sigla proveniente de “trinitrotolueno”, es un compuesto orgánico aromático cristalino de color amarillo pálido que funde a 81°C . Es parte de varias mezclas explosivas, por ejemplo el amatol, que se obtiene mezclando TNT con nitrato de amonio.

RIL: Residuo industrial líquido.

Planta de tratamiento de agua por lodos activados: Planta de tratamiento de aguas residuales que funciona a partir de un proceso biológico que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua.

Derechos consuntivos: Es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad.

Sostenibilidad: Concepto que hace referencia a la satisfacción de las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

DJSI: Del inglés “Dow Jones Sustainability Index”, es un conjunto de varios índices de sostenibilidad que integran a las compañías con alto desempeño en diferentes ámbitos como el económico, el social y el ambiental.

Huella de carbono: Indicador que pretende reflejar la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto.

CO2 equivalente: Unidad de medida de la huella de carbono, y describe para una cierta mezcla de gases invernadero la cantidad de CO2 que produciría el mismo potencial de calentamiento global.

Índice

Agradecimientos	1
Resumen Ejecutivo	2
Abstract	3
Glosario.....	4
Índice	6
Índice de Figuras.....	9
Índice de Tablas	11
I. Introducción.....	12
1. Relevancia del Agua y visión Global.....	12
2. Realidad Nacional	13
3. La Empresa (Enaex S.A.).....	14
II. Motivación	15
III. Objetivos	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
IV. Antecedentes de la Empresa	17
1. Descripción de las plantas y sus procesos productivos	17
1.1 Planta Prillex América	17
1.2 Planta Río Loa.....	19
1.3 Planta Punta Teatinos.....	22
V. Información obtenida de los procesos.....	23
1. Planta Prillex América	23
1.1 Obtención de Agua.....	23
1.2 Uso y Consumo de Agua	28
1.3 Disposición de RILes	30
2. Planta Río Loa.....	31
2.1 Obtención de Agua.....	31
2.2 Uso y Consumo de Agua	35
2.3 Disposición de RILes	37

3. Planta Punta Teatinos.....	39
3.1 Obtención de Agua.....	39
3.2 Uso y Consumo de Agua	40
3.3 Disposición de RILes	41
4. Resumen y análisis corporativo de los datos obtenidos	41
4.1 Resumen corporativo	41
4.2 Análisis de los datos obtenidos	42
VI. Detección de hallazgos	46
1. Planta Prillex.....	46
2. Planta Río Loa.....	47
3. Punta Teatinos.....	48
4. Consolidado Plantas.....	49
5. Riesgos.....	51
5.1 Económico	51
5.2 Operacional	51
5.3 Reputacional	51
5.4 Legal y Regulatorio.....	51
6. Oportunidades	52
VII. Propuestas de solución	53
1. Planta Prillex.....	53
2. Planta Río Loa.....	56
3. Planta Punta Teatinos.....	60
5. Valorización económica de las soluciones de inversión	62
VIII. Uso de Hidrógeno en la producción de Amoníaco	63
1. Producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos	64
2. Producción de hidrógeno a partir de agua.....	64
IX. Conclusiones.....	66
Referencias.....	68
Anexos	69
Anexo A: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Prillex	69
Anexo B: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Río Loa	70
Anexo C: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Punta Teatinos	71

Anexo D: Estadísticas de escorrentía y demanda de recursos hídricos en las regiones de Chile.....	72
Anexo E: Dimensiones y especificaciones de estanque semienterrado de 500m ³ según la superintendencia de servicios sanitarios	74
Anexo F: Relación entre el consumo anual de agua industrial y su límite de facturación mínimo según propuesta de solución 2.1.	75
Anexo G: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas	77

Índice de Figuras

Figura 1: Disponibilidad per cápita anual de agua en el mundo en los últimos años (The World Bank, 2014).....	12
Figura 2: Niveles de disponibilidad de agua fresca en los distintos países del mundo [5]	13
Figura 3: Escorrentía anual en las distintas macrozonas de Chile (Dirección General de Aguas, 2016)	14
Figura 4: Diagrama de flujo de producción en Planta Prillex América	18
Figura 5: Diagrama de flujo de producción en el departamento de ácidos y nitraciones de Planta Río Loa.....	20
Figura 6: Diagrama de flujo de producción en el departamento de explosivos de la Planta Río Loa	21
Figura 7: Diagrama de flujo del agua potable y de servicios en Planta Prillex.....	28
Figura 8: Diagrama de flujo de agua de proceso en Planta Prillex	30
Figura 9: Consumos mensuales de agua potable suministrada y condiciones de facturación en Planta Río Loa.....	33
Figura 10: Consumos mensuales de agua cruda suministrada y consumo facturado en Planta Río Loa	34
Figura 11: Consumo y costo de agua corporativo según planta productora	43
Figura 12: Consumo y costo de agua corporativo según su fuente de obtención	44
Figura 13: Consumo y costo de agua corporativo según uso.....	45
Figura 14: Propuesta de ubicación de macromedidores en redes de agua potable y de servicios	53
Figura 15: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas en tamaño pequeño.....	62
Figura 16: Diagrama del Flujo de producción de Nitrato de Amonio en Planta Cachimayo..	65
Figura 17: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Prillex América.....	69
Figura 18: Consumo y costo de agua según uso en Planta Prillex América	69
Figura 19: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Río Loa	70
Figura 20: Consumo y costo de agua según uso en Planta Río Loa	70
Figura 21: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Punta Teatinos	71
Figura 22: Consumo y costo de agua según uso en Planta Punta Teatinos.....	71
Figura 23: Escorrentía anual de las distintas regiones de Chile (Dirección General de Aguas, 2016)	72
Figura 24: Presión hídrica según escorrentía per cápita (Dirección General de Aguas, 2016).....	72
Figura 25: Demanda de agua en las distintas macrozonas de Chile según sector de consumo (Dirección General de Aguas, 2016).....	73
Figura 26: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 4.500 [m3] en Planta Río Loa	75
Figura 27: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 3.500 [m3] en Planta Río Loa	75
Figura 28: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 2.500 [m3] en Planta Río Loa	76

Figura 29: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas en tamaño pequeño..... 77

Índice de Tablas

Tabla 1: Flujos de agua en operación nominal de la planta de osmosis inversa	23
Tabla 2: Detalles y costos anuales de mantención de la planta de osmosis inversa	24
Tabla 3: Consumo eléctrico de las distintas bombas que componen la planta de osmosis inversa.....	25
Tabla 4: Parámetros para el cálculo del costo de desalinización de agua en Planta Prillex....	25
Tabla 5: Resumen del coso de desalinización de agua en Planta Prillex	26
Tabla 6: Resumen de la compra de agua desalada en Planta Prillex	27
Tabla 7: Resumen de la compra de agua desmineralizada en Planta Prillex	27
Tabla 8: Resumen de consumos de agua en Planta Prillex	30
Tabla 9: Costo del agua potable según contrato con "Aguas Antofagasta"	32
Tabla 10: Condiciones de facturación del agua potable según contrato con "Aguas Antofagasta"	32
Tabla 11: Costo del agua cruda según contrato con "Ferrocarriles de Antofagasta"	34
Tabla 12: Condiciones de facturación del agua cruda según el contrato con "Ferrocarriles de Antofagasta"	34
Tabla 13: Consumo de agua potable en los distintos departamentos de Planta Río Loa	36
Tabla 14: Consumo del agua industrial en las distintas unidades de Planta Río Loa	37
Tabla 15: Agua utilizada para la generación de vapor en las distintas unidades de Planta Río Loa	37
Tabla 16: Generación y disposición de RILes en Planta Río Loa.....	39
Tabla 17: Resumen corporativo de los datos obtenidos.....	41
Tabla 18: Consumo y costo de agua corporativo según planta productiva.....	42
Tabla 19: Consumo y costo de agua corporativo según su fuente de obtención.....	43
Tabla 20: Consumo y costo de agua corporativo según uso	44
Tabla 21: Costo y ahorro anual para distintos volúmenes mínimos de facturación.....	57
Tabla 22: Ahorro anual para distintos volúmenes mínimos de facturación y aumento de precio del agua	58
Tabla 23: Indicadores de evaluación de proyectos	62
Tabla 24: Resumen de consumo de agua según fuente y tipo de uso en Planta Prillex	69
Tabla 25: Resumen de consumo y costo de agua según fuente y tipo de consumo en Planta Río Loa	70
Tabla 26: Resumen de consumo y costo de agua según fuente y tipo de uso en Planta Punta Teatinos.....	71
Tabla 27: Dimensiones estanque semienterrado de 500 [m3]	74
Tabla 28: Especificaciones técnicas estanque semienterrado de 500 [m3].....	74

I. Introducción

1. Relevancia del Agua y visión Global

El agua es un recurso indispensable para la vida, ya que todos los seres vivos que poblamos nuestro planeta la necesitamos para subsistir. De hecho, más del 60% de nuestro cuerpo está compuesto por agua. (The USGS Water Science School, n.d.) Sin embargo este recurso ha tomado cada día una importancia aún mayor ya que es usado para distintos sectores productivos y está ligado al consecuente desarrollo de nuestra sociedad. Sectores importantes como por ejemplo el silvoagropecuario que está conformado por las actividades agrícolas, ganaderas y forestales. El sector industrial, donde podemos reconocer a modo de contextualización que el subsector más importante en nuestro país corresponde al sector minero. Finalmente, el sector sanitario, encargado de producir agua potable para el consumo directo e higiene de las personas. (Gobierno de Chile, 2013) Es por esto que no es difícil inferir que se trata de un bien cuya disponibilidad depende del desarrollo y a su vez del crecimiento de la población, por ende este recurso enfrenta una creciente presión demográfica que se puede observar en el siguiente gráfico:

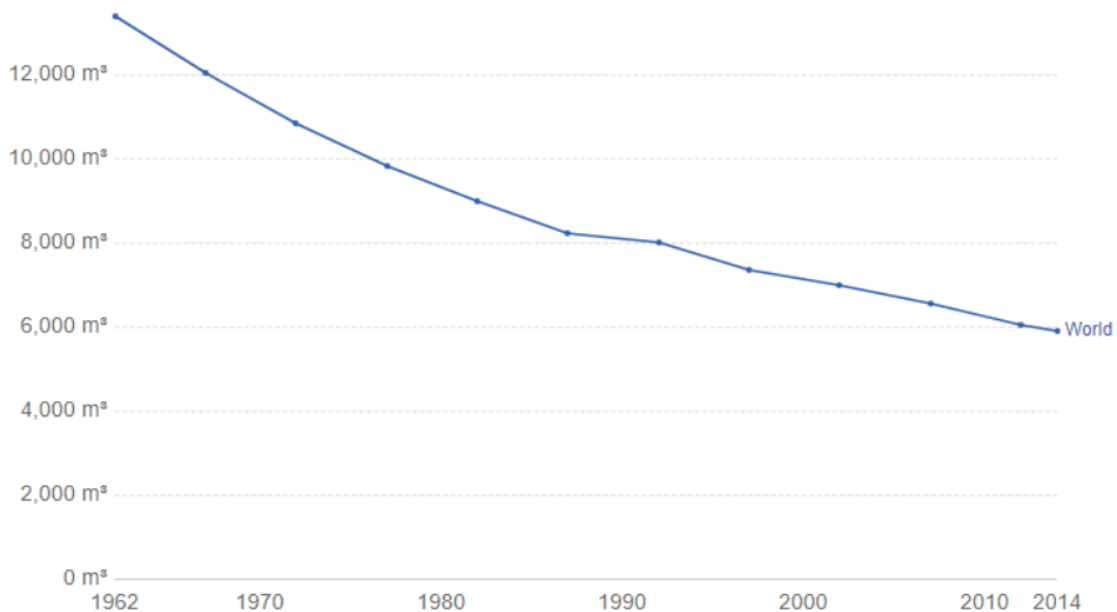


Figura 1: Disponibilidad per cápita anual de agua en el mundo en los últimos años (The World Bank, 2014)

Este gráfico muestra la disponibilidad per cápita anual de agua promedio en el mundo, presente en el cauce de ríos y de forma subterránea producto de las lluvias en unidades de [m³/persona/año], entre los años 1962 y 2014, donde se puede ver la tendencia a la disminución desde un valor de **13.400** [m³/persona/año] en 1962 a **5.900** [m³/ persona/año] en 2014, es decir que se redujo a más de la mitad de su disponibilidad en un periodo de 52 años. (The World Bank, 2014)

El agua se encuentra presente en ríos, lagos y acuíferos subterráneos de todo el mundo con un valor promedio de escorrentía de 5.900 [m³/persona/año], valor muy por encima de los 2.000

[m³/persona/año] considerados internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible. Esto hace creer que a pesar de la constante disminución de la disponibilidad del agua el escenario es bastante bueno, pero lamentablemente el agua no está distribuida de forma uniforme en nuestro planeta ya que esto guarda relación con la cantidad de habitantes y de factores climáticos que dependen a su vez principalmente de la ubicación geográfica de la zona en cuestión, por lo cual existen sectores con exceso de agua, mientras otros lugares permanecen con extrema escasez de este recurso, lo que puede ser observado en la Figura 2. (Dirección General de Aguas, 2016)

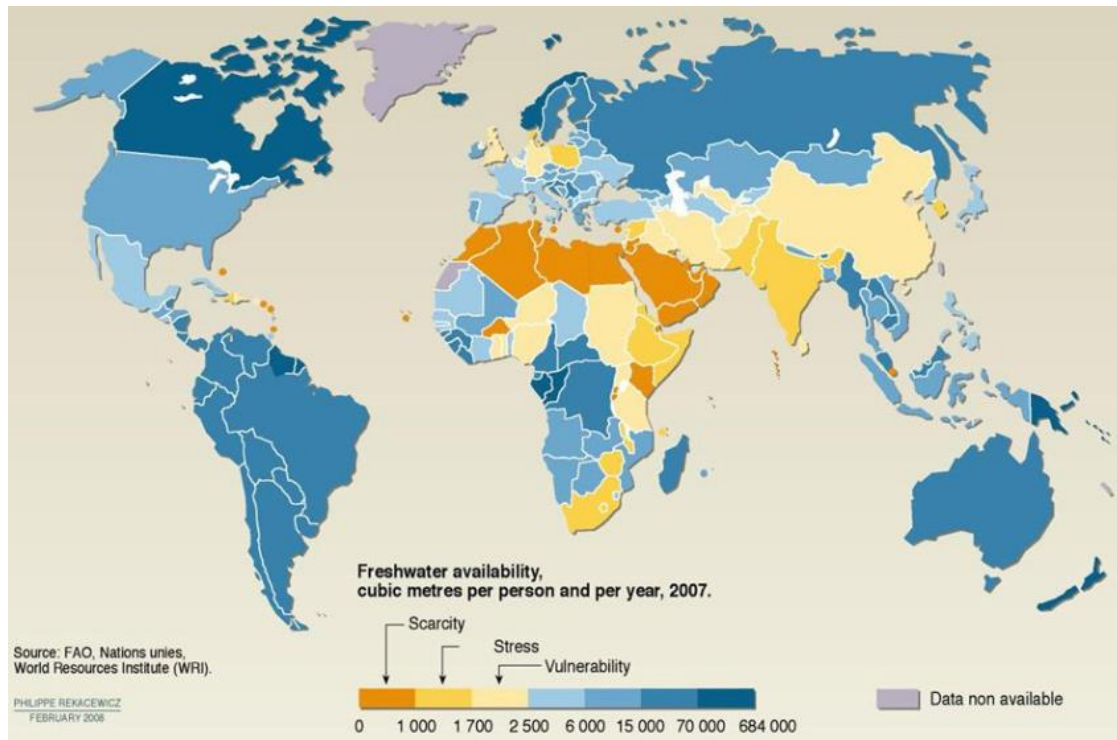


Figura 2: Niveles de disponibilidad de agua fresca en los distintos países del mundo [5]

2. Realidad Nacional

En Chile el promedio de escorrentía ronda los 51.218 [m³/persona/año] (Dirección General de Aguas, 2016), que es más de 8 veces superior al promedio mundial y más de 25 veces superior al umbral para el desarrollo sostenible, siendo de esta manera uno de los países con la mayor disponibilidad per cápita de este recurso, y ubicándose como 5to a nivel mundial de países pertenecientes a la OCDE. (OECD, 2015) Sin embargo, nuestro país es un excelente ejemplo para observar el contraste que hay en la disponibilidad del agua en las distintas zonas según su ubicación geográfica.

Macrozona	Escorrentía	[m³/s]	[%]	Escorrentía per cápita (2015)	[m³/persona/año] ⁽¹⁾
Norte		36,9	0,1		510
Centro		1.116	3,8		3.169
Sur		7.834	26,8		56.799
Austral		20.258	69,3		2.340.227
Total		29.245		Chile ⁽²⁾	51.218

Figura 3: Escorrentía anual en las distintas macrozonas de Chile (Dirección General de Aguas, 2016)

De la Figura 3 se puede observar como la zona Centro del país posee niveles de disponibilidad de agua mucho menores al promedio nacional e incluso mundial, mientras que la zona norte posee niveles de escasez extremos. En la zona Sur se pueden observar niveles mayores de disponibilidad mientras en la zona austral encontramos niveles muy superiores, lo que demuestra la heterogeneidad hídrica de nuestro país. Lamentablemente no existen las tecnologías para desarrollar infraestructuras viables capaces de acumular este recurso en las zonas de superávit hídrico y distribuirla en las zonas de escasez, por lo cual se debe enfocar en mejorar las tecnologías para la mejora de la gestión directamente en las zonas afectadas.

3. La Empresa (Enaex S.A.)

Enaex S.A. es una compañía que produce, comercializa, distribuye y manipula altos explosivos y agentes de voladuras. Dentro de sus producciones más grandes se encuentra la de nitrato de amonio de grado explosivo, alcanzando una producción anual de 850 mil toneladas. La gran parte de sus operaciones se concentran en la zona norte de nuestro país, donde existe una severa escasez de recursos hídricos, por lo cual este trabajo busca contextualizar la situación de estos y calcular la huella hídrica de la compañía, pudiendo así finalmente generar un plan de acción y de mejora en su gestión. (Enaex, 2016)

II. Motivación

Chile se proyecta al futuro como un país con altas probabilidades de sufrir una disminución drástica en la disponibilidad de sus recursos hídricos debido al aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones en regiones críticas, provocando como consecuencia una escasez hídrica aún más severa de la que ya existe en el norte del país. (World Resources Institute, 2015)

Enaex concentra sus operaciones en la región de Antofagasta, donde la escasez hídrica tiene su peor escenario nacional, la cual llega a estar incluso 20 veces por bajo del umbral mínimo para un desarrollo sostenible (Dirección General de Aguas, 2016). Para Enaex la sostenibilidad constituye un pilar estratégico de la gestión de negocios, y es por estas razones que surge la motivación y necesidad de hacer un cálculo de la huella hídrica de la compañía para poder generar un plan de acción y de mejora en la gestión de este recurso, cumpliendo también las responsabilidades y compromisos que la empresa tiene con el cuidado del entorno y las comunidades.

Se espera poder realizar un aporte al cuidado de nuestros recursos hídricos y del medio ambiente en general mediante un plan de mejoras para su gestión, pero que no solo sirva para la disminución del consumo de agua de la empresa, sino que también siendo un agente de cambio y generar un impacto sobre la sociedad en general, sirviendo de ejemplo para que otras empresas comprendan la importancia de este inminente problema y se puedan comprometer de igual forma para poder lograr una mejora en su gestión, y así también aportar en la conservación de nuestra agua.

III. Objetivos

Objetivo General

- Analizar el uso de los recursos hídricos por parte de Enaex y sus riesgos asociados, para luego proponer estrategias que mejoren la gestión de este recurso, integrando diversas tecnologías que sean eficientes y permitan un desarrollo sostenible.

Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de información y cuantificar el uso y consumo de agua en las plantas productoras de nitrato de amonio y de explosivos de Enaex.
- Realizar un análisis estratégico sobre el uso de este recurso en la compañía.
- Analizar el estado del arte de tecnologías para el uso sostenible y eficiente de los recursos hídricos.
- Proponer un plan de acción valorizado para mejorar la gestión de los recursos hídricos en Enaex, analizando la incorporación de diversas tecnologías.
- Realizar un análisis de resultados y sus respectivas conclusiones.

IV. Antecedentes de la Empresa

La Empresa Nacional de Explosivos “Enaex S.A.” es una compañía filial del grupo Sigdo Koppers que cuenta con más de 98 años de experiencia en el mercado de los explosivos. Produce, comercializa, distribuye y manipula altos explosivos y agentes de voladuras.

Dentro de sus producciones más grandes se encuentra la de nitrato de amonio de grado explosivo, el cual es fabricado en su planta “Prillex América”. Esta planta se ubica en la localidad de Mejillones, región de Antofagasta, y es el complejo productivo de nitrato de amonio con mayor capacidad productiva a nivel mundial, con una producción anual de 850 mil toneladas que posicionan a Enaex como el mayor productor de nitrato de amonio en América Latina y tercero más grande a nivel mundial.

Una gran parte de este nitrato de amonio es comercializado y exportado a distintos mercados en más de 40 países de los cinco continentes, mientras que otra gran parte es distribuida dentro del país en las distintas plantas de servicio y productoras de Enaex para producir explosivos y agentes de voladura.

Estos explosivos y agentes de voladura son producidos en las plantas Rio Loa ubicada en la ciudad de Calama y Punta Teatinos ubicada en la ciudad de La Serena. Algunos de los explosivos producidos por Enaex son ANFO, Dinamitas, APD, Emulsiones encartuchadas y a granel. Además, Enaex produce en su planta Rio Loa detonadores y sistemas de iniciación no eléctricos.

En respuesta a las crecientes necesidades del mercado internacional y la capacidad de Enaex de producir en gran escala, la compañía comenzó desde el año 2010 un proceso de internacionalización, que además de exportar sus productos a los mercados internacionales, permitió la apertura de filiales en los distintos países de destino donde se requiera apoyo para un uso eficiente de los productos, logrando prestar servicios integrales de fragmentación de roca en distintos países de Latinoamérica como Argentina, Brasil, Colombia y Perú; siempre manteniendo su liderazgo en este servicio dentro de la minería en Chile donde tiene la mayor parte de la participación dentro de las distintas faenas mineras del país. Además, Enaex adquirió las filiales de Britanite en Brasil, Davey Bickford en Francia y el 70% de Industrias Cachimayo en Perú.

Actualmente Enaex es una organización de alto desempeño con más de 4000 trabajadores, donde la incorporación de medidas en el ahorro energético, la reducción de emisiones y los bonos de carbono demuestran una real preocupación por el cuidado del entorno y las comunidades. Enaex trabaja constantemente en el mejoramiento de todas las actividades ligadas a la sostenibilidad para poder cumplir su responsabilidad y compromiso para desarrollar un negocio sostenible.

1. Descripción de las plantas y sus procesos productivos

A continuación, se describe el funcionamiento y los procesos productivos de las 3 plantas productivas de Enaex.

1.1 Planta Prillex América

La planta Prillex América se encuentra ubicada en el barrio industrial de la ciudad de Mejillones, contigua a Puerto Angamos. Cuenta con una dotación promedio de 300

trabajadores y la actividad productiva de la planta se basa en la producción de Ácido Nítrico, Nitrato de Amonio Solución, Nitrato de Amonio Prill y Matrices. La producción en Prillex se realiza principalmente a través de 3 unidades productivas: PANNA1, PANNA3 y PANNA 4, cada una incluye las Plantas de Ácido Nítrico (PAN), de Nitrato de Amonio húmedo (PNAh) y Nitrato de Amonio seco (PNAs).

Planta Prillex América – Diagrama de Flujo de Producción

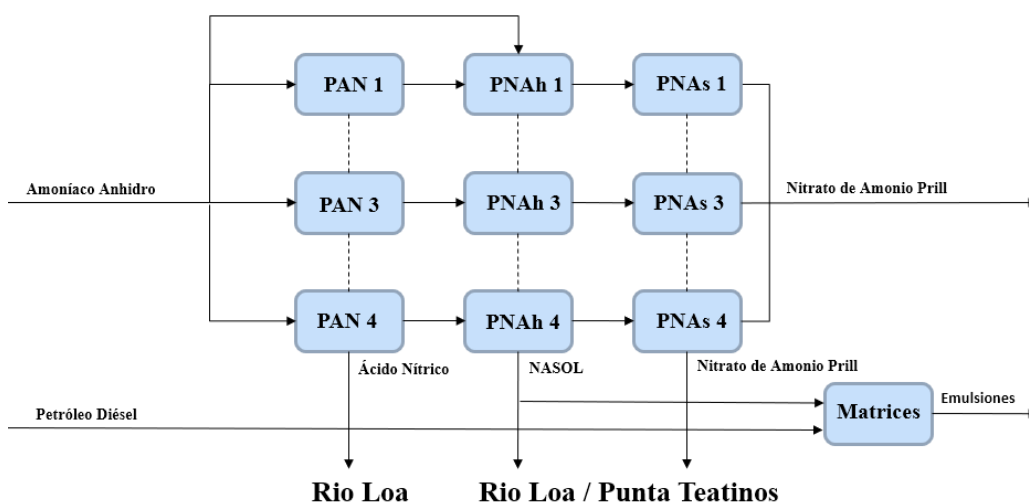


Figura 4: Diagrama de flujo de producción en Planta Prillex América

A continuación, se describen los procesos unitarios que se llevan a cabo en la planta de producción Prillex América:

1.1.1 Ácido Nítrico

Este proceso comienza con la recepción del Amoníaco Anhidro, que es el insumo principal utilizado en el proceso de fabricación del Ácido Nítrico. Este Amoníaco Anhidro es transportado por vía marítima desde distintos países del mundo y es despachado en el terminal marítimo operado por Enaex S.A. donde posteriormente es almacenado en los 3 estanques que cuentan con un sistema de refrigeración criogénica. Estos estanques almacenan hasta 30.000 toneladas de Amoníaco Anhidro a una temperatura aproximada de -30°C a -33°C.

El proceso de fabricación consiste en la oxidación catalítica del Amoníaco en los tres reactores AOR (Ammonia Oxidation Reactor) con los que se cuenta, un proceso de enfriamiento y finalmente la formación de ácido nítrico en las respectivas torres de absorción.

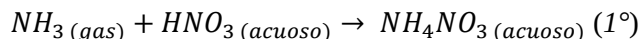
En total se produce hasta 700.000 toneladas de ácido nítrico al año. La PAN 1 cuenta con una capacidad de 100ton/día, mientras que las PAN 3 y 4 cuenta con una capacidad de 925 ton/día cada una aproximadamente.

La PAN 4 cuenta con un sistema de autogeneración de electricidad que funciona a través de un sistema de tren turbocompresor, y que entrega a la planta aproximadamente un 30% de su consumo eléctrico mensual.

El producto que se obtiene en este proceso es Ácido Nítrico 57% - 61% de concentración que va a un estanque de almacenamiento que cuenta con una capacidad de 6.000 toneladas, desde donde se realiza la repartición a la siguiente etapa correspondiente a la planta de nitrato de amonio húmeda.

1.1.2 Nitrato de Amonio Solución

El Nitrato de Amonio Solución (NASOL) es formado a partir de una reacción de neutralización entre el ácido nítrico proveniente del proceso anterior y el amoniaco anhidro en su forma gaseosa.



Este proceso se realiza en las tres líneas productivas, con una producción de 820.000 toneladas al año de Nitrato de Amonio Solución, y que es almacenado en estanques de una capacidad de 1.100 toneladas.

1.1.3 Nitrato de Amonio Prill

Este proceso comienza con la recepción del Nitrato de Amonio Solución obtenido del proceso anterior, el que es sometido a un proceso de cristalización y acondicionamiento que permite obtener el Nitrato de Amonio Prill o Prillex® Granel. Este proceso termina con el empaquetado del producto en Maxibags o también en sacos pequeños de 25 kg. La planta tiene una capacidad de producción de unas 700.000 toneladas al año.

1.1.4 Matrices

Este proceso consiste en la producción de Emulsión Matriz, mediante la reacción de Nitrato de Amonio Solución, petróleo y emulsificante. El petróleo con el emulsificante genera una solución combustible, la que es almacenada y posteriormente llevada a un reactor y mezclada con el nitrato de amonio solución, produciéndose la matriz, la que luego es llevada a un silo para su almacenamiento y posterior despacho. La planta cuenta con una capacidad de producción anual de 250.000 toneladas

1.2 Planta Rio Loa

La planta Rio Loa se encuentra ubicada en la ciudad de Calama, cuenta con una dotación promedio de 300 trabajadores y la actividad productiva de la planta se basa en la producción de Explosivos.

A continuación, se describen los procesos unitarios que se llevan a cabo en la planta de producción Rio Loa:

1.2.1 Ácidos y Nitraciones

En este departamento es donde se concentra el ácido nítrico de baja concentración para luego producir nitraciones que serán utilizadas en el departamento de explosivos para la fabricación de estos.

Departamento de Ácidos y Nitraciones – Diagrama de Flujo

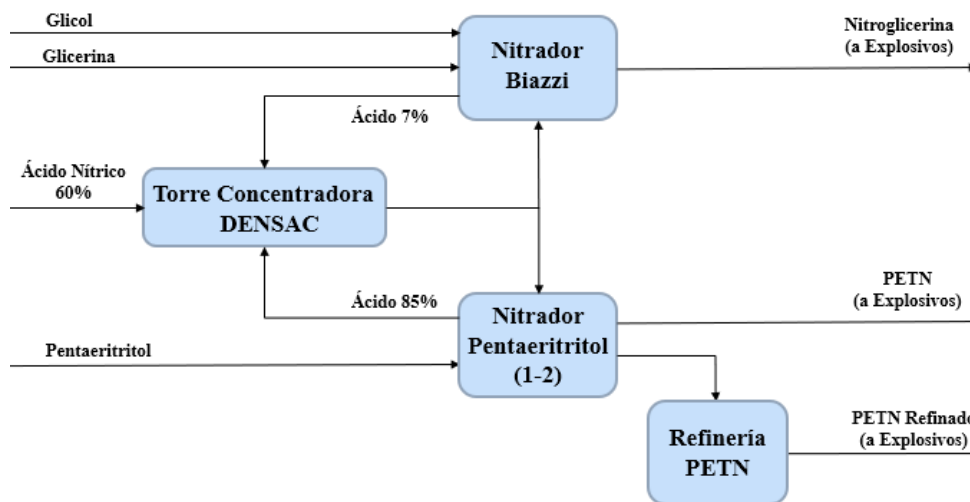


Figura 5: Diagrama de flujo de producción en el departamento de ácidos y nitraciones de Planta Río Loa

La primera etapa de este proceso corresponde a la de ácidos, donde el ácido nítrico de baja densidad proveniente de otros procesos y/o de Planta Prillex, es concentrado en una Torre Concentradora Densac, a través de la utilización de una corriente de ácido sulfúrico hasta alcanzar concentraciones del 99%.

La segunda etapa del proceso corresponde a la de Nitraciones, donde dos tipos distintos de nitradores utilizarán el ácido nítrico concentrado obtenido en el proceso anterior para nitrar ciertos insumos y obtener así compuestos con propiedades explosivas que serán usados posteriormente en la producción de los explosivos.

El Nitrador Biazzi es el encargado de fabricar la Nitroglicerina, que es el componente principal en la elaboración de la Dinamita. Este proceso consiste en la nitración de una solución de compuestos orgánicos denominada Polioli, compuesta por Glicol y Glicerina.

Los Nitradores 1-2 son los encargados de realizar a cabo la nitración del Penta eritritol (PE), dando como resultado PETN Crudo que es utilizado para la fabricación de Pentolita y PETN Refinado.

El PETN Refinado es producido en la Refinería, donde el PETN Crudo es solubilizado en acetona y posteriormente cristalizado. Este PETN Refinado es utilizado principalmente para la fabricación de cordón detonante.

1.2.2 Explosivos

El departamento de explosivos es el encargado de fabricar los productos finales que serán vendidos o utilizados por Enaex Servicios S.A. en los distintos servicios de tronadura en las faenas mineras del país. Se fabrican principalmente dinamitas, Pentolitas, ANFO, y emulsiones, además de algunos insumos necesarios para envasar los distintos productos. Este departamento consiste en 5 líneas de producción que se describen a continuación.

Departamento de Explosivos - Líneas de Producción

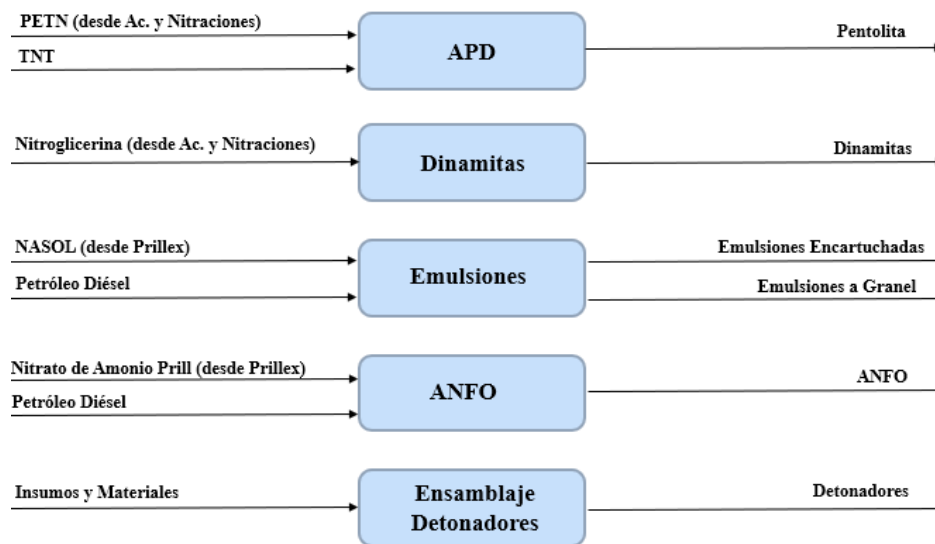


Figura 6: Diagrama de flujo de producción en el departamento de explosivos de la Planta Río Loa

1.2.3 Emulsiones

En Planta Río Loa se realiza la producción de emulsiones encartuchadas y emulsiones a granel. Para ambas el insumo principal es el Nitrato de Amonio Solución proveniente de Planta Prillex, y que actúa como fase oxidante de la emulsión.

Para las emulsiones encartuchadas, se genera una fase oxidante a partir de insumos combinados con el NASOL y una fase combustible. Ambas fases son mezcladas formando una matriz, a la que posteriormente se le agregan aditivos dependiendo de las especificaciones solicitadas por el cliente, para luego pasar a la etapa final de pesaje, embalaje y etiquetado.

Para las emulsiones a granel, la fase oxidante se compone de NASOL, mientras que la fase combustible se compone de petróleo y emulsificante. Ambas fases son mezcladas formando una matriz, la que es almacenada en silos para luego ser transportada a las faenas mineras en camiones matriceros.

1.2.4 APD

El proceso de fabricación comienza con la recepción del PETN Crudo obtenido en la etapa de Ácido y Nitraciones, al que se le añaden aditivos como TNT, tiza y Petro-p, para luego ser mezclados en ollas de agitación. De este proceso se obtiene la Pentolita, que es un explosivo de Alto Poder Detonante (APD).

1.2.5 Dinamitas

Este proceso comienza con la recepción de la nitroglicerina producida previamente, que es el insumo principal para la fabricación de dinamitas. Esta es mezclada en una olla mezcladora con otros insumos, dependiendo de las especificaciones solicitadas por el cliente, para así obtener las dos líneas de productos terminados: TRONEX® y SOFTRON®.

1.2.6 ANFO

Este proceso comienza con la recepción del Nitrato de Amonio Prill proveniente de Planta Prillex, el que es almacenado en silos. Este Nitrato de Amonio es combinado con petróleo diésel para formar ANFO, al que dependiendo de los requerimientos del cliente se le agregan distintos aditivos.

1.2.7 Ensamblaje de detonadores

En este proceso se lleva a cabo el ensamblaje de detonadores no eléctricos a partir de insumos y materiales previamente adquiridos. Se obtiene entonces, detonadores ensamblados listos para ser empaquetados y entregados a los clientes mineros.

1.3 Planta Punta Teatinos

La planta Punta Teatinos se encuentra ubicada en la ciudad de La Serena, cuenta con una dotación promedio de 30 trabajadores y la actividad productiva de la planta se basa en la producción de ANFO y Matrices.

A continuación, se describen los procesos unitarios que se llevan a cabo en la planta de producción Punta Teatinos:

1.3.1 ANFO

Al igual que la producción de ANFO en Planta Rio Loa, el proceso comienza con la recepción del Nitrato de Amonio Prill proveniente de Planta Prillex, el que es almacenado en silos. El Prill es combinado con petróleo diésel para formar el ANFO, al que dependiendo de los requerimientos del cliente se le agregan distintos aditivos.

1.3.2 Matrices

Al igual que las matrices en Planta Prillex y las emulsiones a granel en Planta Rio Loa, el proceso consiste en una reacción de NASOL, petróleo diésel y emulsificante; donde esta mezcla es almacenada en silos para su posterior despacho.

V. Información obtenida de los procesos

Se realizó un levantamiento de información consistente en la recopilación de datos e información del sistema actual de obtención, uso y disposición de agua en las distintas plantas productoras de nitrato de amonio y de explosivos de Enaex, con el objetivo de comprender y cuantificar el consumo de agua en estas plantas, pudiendo así identificar problemas, sus riesgos y oportunidades de mejora.

El alcance espacial de este estudio incluye las 3 plantas productivas de Enaex; Prillex América, Rio Loa y Punta Teatinos. Dentro del alcance se considera el agua utilizada para sus procesos y servicios básicos y de higiene, incluyendo los sistemas de regadío debido al gran consumo que estos tienen. Se excluyen en el alcance los servicios de regadío de caminos al interior de las plantas y de suministro de agua purificada para consumo humano, debido al bajo consumo y las pocas alternativas de reemplazo de estos suministros.

El alcance temporal es el año 2018, es decir, el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de ese año.

1. Planta Prillex América

1.1 Obtención de Agua

La Planta Prillex no cuenta con conexión al suministro de agua de red, sin embargo, se encuentra ubicada en el barrio industrial de Mejillones de forma adyacente al océano pacífico, lo que se transforma en una importante oportunidad para poder obtener este recurso de forma autónoma y de bajo costo. De esta forma, el mar se convierte en la principal fuente de obtención de la planta. El resto de agua que no proviene de esta fuente es comprado a terceros y transportada al lugar mediante camiones aljibe.

1.1.1 Agua de Mar

El agua es extraída mediante un sistema de tuberías de aducción de agua de mar y sus respectivos filtros, evitando el ingreso de agentes externos y acumulándola en unas piscinas de agua de mar ubicadas al interior de la planta. Posteriormente esta agua de mar es sometida a un proceso de desalinización a partir de una planta de osmosis inversa. Esta agua de mar es utilizada para alimentar dos redes de agua en Planta Prillex, en primer lugar, una red de agua potable que alimenta los servicios básicos e higiénicos, y la segunda una red de servicio que alimenta los servicios no básicos como el riego de áreas verdes, la limpieza de equipos y la red de incendio. Durante el año 2018, la cantidad de agua en Planta Prillex proveniente del mar fue de 24.132 [m3], con un promedio mensual de 2.011 [m3].

1.1.2 Planta de osmosis inversa

La Planta Prillex posee una planta de osmosis inversa Applied Membranes INC. S-128D-335-5607, cuyas condiciones de operación más importantes se detallan a continuación:

Tabla 1: Flujos de agua en operación nominal de la planta de osmosis inversa

Operación Nominal	GPM	m3/h
Flujo de alimentación	70	15,9
Flujo de permeado (40%)	28	6,4
Flujo de concentrado (60%)	42	9,5

El Flujo de alimentación corresponde al flujo de agua de mar que ingresa a la planta, el flujo de permeado corresponde al flujo de agua que es desalinizada y puede ser utilizada, y el flujo de concentrado corresponde al flujo de agua que es devuelto al mar con una mayor concentración de sales.

El consumo de agua en Planta Prillex es menor que el flujo de permeado de la planta de osmosis, por lo cual se decidió establecer un set point a 19gpm, equivalente a 4,3 m3/h.

1.1.2.1 Costo de producción

El costo de producción de agua de una planta de osmosis inversa depende básicamente del costo de energía por producción de agua y del costo de mantención:

Costo por mantención

La planta de osmosis inversa se debe someter mensualmente a auditorías operacionales para poder controlar y supervisar su correcta operación, además sufre periódicamente de problemas técnicos que debe ser resueltos para continuar su operación, cuya reparación conlleva costos económicos que podemos observar a continuación:

Tabla 2: Detalles y costos anuales de mantención de la planta de osmosis inversa

Mes	Descripción	Monto
Enero	Reparación Bomba P-16 P-90	\$1.509.920
Enero	Auditoría Operacional Enero	\$520.740
Febrero	Auditoría Operacional Febrero	\$520.740
Marzo	Auditoría Operacional Marzo	\$520.740
Marzo	Reparación de fuga de agua	\$113.241
Abril	Cambio/Reparación de válvula	\$323.113
Abril	Auditoría Operacional Abril	\$520.740
Mayo	Cambio Membranas ensuciamiento	\$4.645.200
Mayo	Auditoría Operacional Mayo	\$520.740
Junio	Reparación fuga de agua	\$257.262
Junio	Auditoría Operacional Junio	\$520.740
Julio	Fabricación 4 sellos grafito (Tornero)	\$25.847
Julio	Auditoría Operacional Julio	\$520.740
Agosto	Auditoría Operacional Agosto	\$520.740
Septiembre	Auditoría Operacional Septiembre	\$520.740
Octubre	Auditoría Operacional Octubre	\$520.740
Octubre	Lámpara U.V.	\$817.848
Noviembre	Auditoría Operacional Noviembre	\$520.740
Diciembre	Auditoría Operacional Diciembre	\$520.740
Total 2018		\$13.941.311

Costo de energía

La planta de osmosis inversa necesita ejercer una presión osmótica sobre el flujo de entrada, para poder cumplir su principio y producir los flujos de permeado y de concentrado. Para producir esta presión osmótica, la planta cuenta con una serie de bombas hidráulicas, cuyo funcionamiento corresponde al mayor y principal consumo energético de la planta.

A partir de la potencia de las bombas y suponiendo una eficiencia de cada uno de los motores eléctricos de estos de 0,85 se puede obtener la potencia eléctrica de cada una de las bombas y de la planta total. Además, como se tiene la tasa de producción de agua de la planta podemos obtener el consumo de energía eléctrica por metro de agua desalinizado.

Tabla 3: Consumo eléctrico de las distintas bombas que componen la planta de osmosis inversa

Bombas	Pot. [HP]	Ef. Motor Eli.	Pot Eli [kW]	Consumo Eléctrico [kWh/m3]
Booster Pump	7,5	0,85	6,6	1,03
Booster Pump	7,5	0,85	6,6	1,03
RO Feed Pump	25	0,85	21,9	3,45
RO Feed Pump	25	0,85	21,9	3,45
CIP Pump	5	0,85	4,4	0,69
Total	70	0,85	61,4	9,65

Finalmente, para obtener el costo anual de desalinización de agua de mar, se debe multiplicar la cantidad de agua desalinizada por su consumo eléctrico unitario y el costo del kWh. En el caso de la planta Prillex América, el costo variable del kWh es de 0,056 USD. Utilizando un valor promedio del USD de 670CLP para el año 2018, un valor promedio de 10kWh/m3 y una producción de 24.132 m3 de agua permeada, se obtiene un costo de \$9.054.326.

A continuación, se puede observar un resumen del costo de desalinización de agua en Planta Prillex:

Tabla 4: Parámetros para el cálculo del costo de desalinización de agua en Planta Prillex

Datos	Cantidad	Unidad
Costo kWh Prillex	0,056	USD/kWh
Consumo Energético	10	kWh/m3
Valor Dólar	670	CLP/USD

Tabla 5: Resumen del costo de desalinización de agua en Planta Prillex

Operación Real	Promedio mensual	Total 2018
Producción Agua [m3]	2.011	24.132
Consumo Energía [kWh]	20.110	241.320
Costo Energía	\$754.527	\$9.054.326
Costo Mantención	\$1.161.776	\$13.941.311
Costo Operación	\$1.916.303	\$22.995.637

El costo que tiene el agua proveniente del mar para Planta Prillex, es el costo de operación de la planta de osmosis inversa, que corresponde a la suma del costo de mantención de esta y de energía eléctrica. Este costo total equivale a \$22.995.637 para el año 2018, donde la producción de agua fue de 24.132 m3, es decir, el precio unitario por m3 de agua proveniente del mar es de aproximadamente \$950.

1.1.3 Agua comprada

Como Planta Prillex no posee conexión a la red de suministro de agua, toda esta que no es obtenida a partir de la desalinización de agua de mar, debe ser comprada a proveedores externos. Estos proveedores son termoeléctricas ubicadas en las cercanías de la planta y el agua es transportada en camiones aljibe de 30m3 de capacidad. Existen dos tipos de aguas que son compradas a estos proveedores, el agua desalada y el agua desmineralizada.

1.1.3.1 Agua Desalada

El agua desalada es utilizada en las mismas redes que el agua de mar desalinizada, es decir, la red de agua potable y la red de agua de servicio. Esta es comprada, debido a que la planta de osmosis inversa presenta detenciones frecuentemente, y los estanques de acumulación de agua de las redes de agua potable y de servicio tienen una capacidad en conjunto de aproximadamente 80m3, que es menor al consumo diario de estas redes, por lo tanto, para detenciones de un día completo o más días, la planta de osmosis inversa no es capaz de abastecer las necesidades de agua de Planta Prillex.

Durante el año 2018, fueron comprados 5.790 m3 de agua desalada, a un valor unitario de 5USD/m3. El transporte de esta agua tiene un valor de \$110.000 por camión y \$215.000 por concepto de movilización de camiones por cada pedido.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de la compra de agua desalada:

Tabla 6: Resumen de la compra de agua desalada en Planta Prillex

Detalle	Promedio mensual	Total 2018
Cantidad de Camiones	16	193
Volumen Comprado	483	5.790
Costo del Agua	\$1.568.125	\$18.817.500
Costo del Transporte	\$2.073.750	\$24.885.000
Costo Agua Desalada	\$3.641.875	\$43.702.500

El costo total del agua desalada es la suma del costo del agua y el costo del transporte, el cual equivale a \$43.702.500 para el año 2018, que para un volumen comprado de 5.790m³, el precio unitario por m³ de agua desalada comprada es de aproximadamente \$7.500.

1.1.3.2 Agua Desmineralizada

El agua desmineralizada es un agua con un menor nivel de sales que el agua desalinizada en la planta de osmosis inversa, por lo que este tipo de agua debe ser comprada. Esta agua es utilizada como agua de proceso en la producción de ácido nítrico.

Durante el año 2018, fueron comprados 720 m³ de agua desmineralizada. A diferencia del agua desalada, el precio del agua desmineralizada varía su precio entre 10USD y 25,5USD según cada uno de los 3 pedidos realizados durante el año. El costo del transporte tiene el mismo valor por camión.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de la compra de agua desmineralizada:

Tabla 7: Resumen de la compra de agua desmineralizada en Planta Prillex

Detalle	Promedio mensual	Total 2018
Cantidad de Camiones	2	24
Volumen Comprado	60	720
Costo del Agua	\$680.875	\$8.170.500
Costo del Transporte	\$345.417	\$4.145.000
Costo Agua Desmineralizada	\$1.026.292	\$12.315.500

El costo total del agua desmineralizada es la suma del costo del agua y el costo del transporte, el cual equivale a \$12.315.500 para el año 2018, que para un volumen comprado de 720m³, el precio unitario por m³ de agua desmineralizada comprada es de aproximadamente \$17.105.

1.2 Uso y Consumo de Agua

En Planta Prillex existen dos tipos de agua que son usadas, en líneas totalmente independientes. El agua desalinizada de la planta de osmosis inversa junto al agua desalada comprada es utilizada para la red de agua potable y de servicios, mientras que el agua desmineralizada es utilizada como agua de proceso en la fabricación de ácido nítrico.

1.2.1 Agua Potable y de Servicios

Estas dos redes utilizan la misma agua, la cual puede ser proveniente del mar y previamente desalinizada, o agua desalada comprada a termoeléctricas y transportadas mediante camiones aljibe. Estas dos aguas tienen características similares y llegan a una línea común, donde luego se separan en dos estanques, el 7775-1 para agua de servicios y el 7775-2 para agua potable. A continuación, se presenta un diagrama de flujo del uso de Agua Potable y de Servicios en Planta Prillex.

Agua Potable y de Servicios en Planta Prillex – Diagrama de Flujo

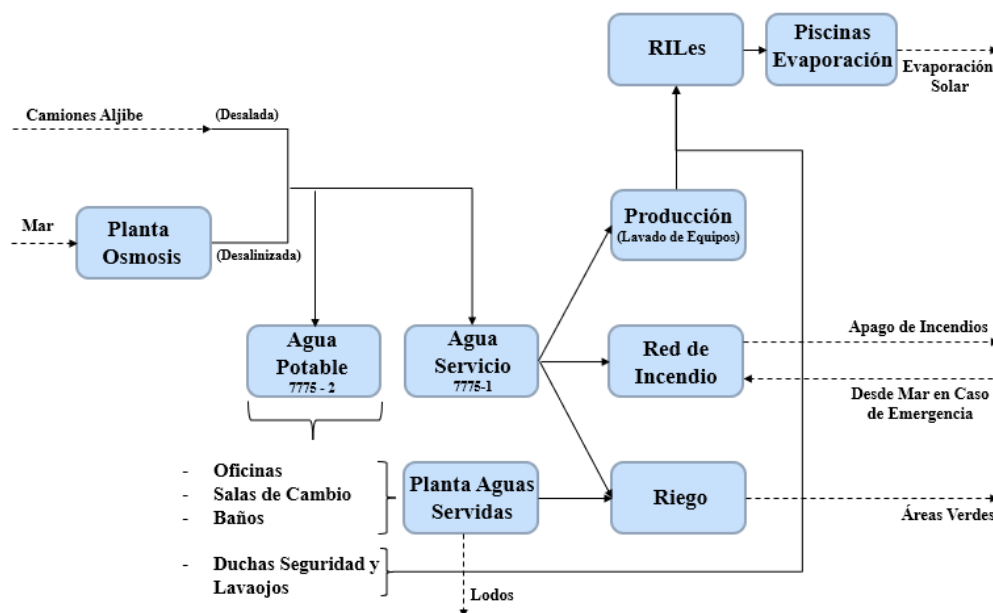


Figura 7: Diagrama de flujo del agua potable y de servicios en Planta Prillex

El agua potable es almacenada en el estanque 7775-2 de aproximadamente 65[m3] de capacidad para ser distribuida en las oficinas, salas de cambios, baños, duchas de seguridad y lavaojos de toda la planta. El agua utilizada en las duchas de seguridad y lavaojos es contaminada con ácido debido al contacto directo que puedan tener los trabajadores con ácido nítrico dentro de la planta, por esa razón, esa agua es considerada un RIL y es tratada como tal, al igual que el agua utilizada en producción para el lavado de equipos. El agua utilizada en las oficinas, salas de cambio y baño es enviada a una planta de tratamiento de agua por lodos activados, la cual es tratada para poder ser usada como agua de riego de áreas verdes. Los residuos de la planta de tratamiento de aguas servidas son eliminados como lodos a una tasa aproximada del 1% del agua tratada. No existe un caudalímetro en la planta que entregue información del volumen de agua tratada, pero se han hecho estimaciones según el tiempo de

llenado de ciertos estanques y se estima que el volumen de agua tratada es de aproximadamente 400 [m³] mensuales, produciéndose una cantidad aproximada mensual de 4 [m³] de lodos.

El agua de servicio es almacenada en el estanque 7775-1 de aproximadamente 20 [m³] de capacidad para ser distribuida en 3 líneas. La primera es la línea de la red de incendios, la cual alimenta dos estanques con aproximadamente 2500 [m³] de capacidad en conjunto. El objetivo de esta red de incendio es poder suministrar agua en caso de incendio a lugares estratégicos de la planta como lo son los estanques de amoníaco y las plantas de producción de ácido nítrico y nitrato de amonio. Estos estanques tienen la capacidad para poder alimentar en caso de emergencia durante aproximadamente 4 horas, por lo que posterior a ese tiempo, esta red puede ser alimentada de forma directa desde el mar. La segunda línea alimentada por la red de servicios es la de regadío, aportando aproximadamente el 70% del agua para regadío de áreas verdes. No existe caudalímetro que mida el volumen de agua para regadío, pero sabiendo que el agua aportada para este fin por la planta de tratamiento de aguas servidas es de aproximadamente 400 [m³] que es equivalente al 30% del total, se puede estimar que el aporte para regadío de áreas verdes por la red de agua de servicios es de aproximadamente 900 [m³] mensuales. La última línea de agua suministrada por la red de servicio es la de agua de producción, la cual es utilizada principalmente para el lavado de equipos en las plantas productoras. Al ser utilizada para lavado de equipo, esta es al igual que el agua para duchas de seguridad y lavajos, tratada como RIL, y enviada por ende al pozo de neutralización y posteriormente a las piscinas de evaporación solar. No existe tampoco medidor o caudalímetro, por lo que la única forma para poder estimar la cantidad de agua utilizada para el lavado de equipos es estimando la diferencia entre la suma de las otras líneas de esta red con el total de agua suministrada, es decir, la suma entre el agua desalinizada y la compra de agua desalada.

1.2.2 Agua de Proceso

El agua utilizada para el proceso productivo en Planta Prillex es agua desmineralizada, que tiene una composición de sales mucho menor a la del agua potable, desalada y desalinizada del mar. Esta característica le otorga una conductividad y dureza muy baja, por lo cual la hace propicia para el uso en los procesos y particularmente en las calderas, pudiendo así lograr un mejor funcionamiento y cuidado de los equipos.

El agua en el proceso productivo funciona bajo un sistema de recirculación, por lo tanto, la misma agua es utilizada una gran cantidad de veces para realizar los distintos procesos, sin embargo, una muy pequeña parte de esta agua es perdida como RILes. Además, como todo circuito real, este circuito de agua tiene pequeñas pérdidas o fugas de agua y vapor a lo largo de este, por lo cual, cada cierto tiempo este circuito debe ser alimentado con agua desmineralizada que es comprada al igual que el agua desalada, pero a un precio mucho mayor. A continuación, se presenta un diagrama de flujo donde se puede observar el ciclo de funcionamiento del agua de proceso.

Agua de Proceso – Diagrama de Flujo

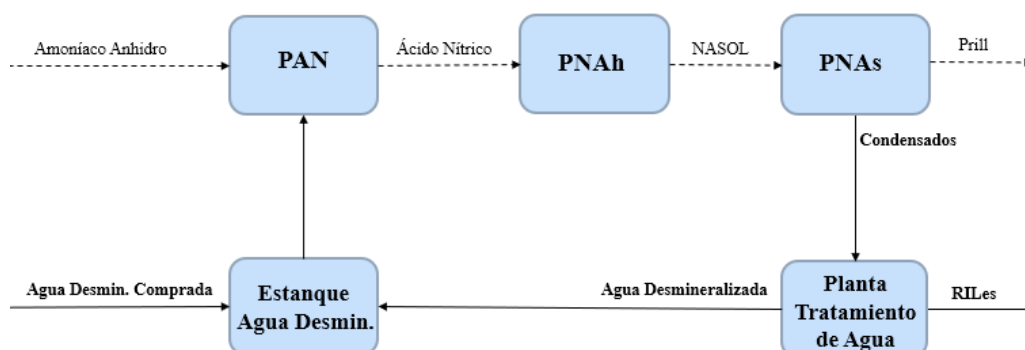


Figura 8: Diagrama de flujo de agua de proceso en Planta Prillex

Esta agua es almacenada en un estanque de acumulación de agua desmineralizada, el cual es alimentado por agua proveniente de una planta de tratamiento de agua, como también de los camiones aljibe que transportan esta agua comprada. Luego el agua es enviada a la planta de ácido nítrico, donde sirve para poder diluir la solución. Luego el agua es devuelta al circuito en la planta de nitrato de amonio seca, donde es obtenida como condensado del proceso y es enviada a una planta de tratamiento de agua para ser tratada y poder ser reintegrada al ciclo. Parte del agua que llega a la planta de tratamiento, es eliminada como RILes debido a los residuos de ácidos que pueda contener. A continuación, se presenta una tabla resumen de los consumos de agua en Planta Prillex:

Tabla 8: Resumen de consumos de agua en Planta Prillex

Línea	Promedio mensual	Total 2018
Agua Potable	388	4.650
Riego Áreas Verdes	895	10.740
Agua de Producción	1.210	14.530
Agua de Procesos	60	720
Total	2.550	30.640

Importante recordar, que aproximadamente el 99% del agua potable es reutilizada y usada como agua de regadío de áreas verdes, llegando a un total de 15.345 [m3] de agua destinada para este fin.

1.3 Disposición de RILes

Los Residuos Industriales Líquidos o RILes de Planta Prillex, son principalmente los residuos provenientes de las duchas de seguridad y lavajeros, planta de tratamiento de agua desmineralizada, lavado de equipos y otros drenajes de las plantas productoras de ácido nítrico

y de nitrato de amonio. Estos RILes son enviados a un pozo de neutralización, cuyo objetivo es mantener un pH entre 7 y 8. Para esto, cuando la solución de RILes en el pozo tiene un pH inferior a 7, se abre una válvula para hacer ingresar amoníaco al 20%. En caso contrario, si la solución tiene un pH superior a 8, se abre una válvula para hacer ingresar ácido al 22%. Si el pH de la solución está entre los parámetros permitidos, es decir entre 7 y 8, se depositan en distintas piscinas de evaporación solar.

El objetivo de las piscinas de evaporación solar es evaporar el agua de estos residuos como vapor de agua limpia, sedimentándose los componentes residuales en el fondo de las piscinas. En Planta Prillex existen 7 piscinas de evaporación solar con una tasa de evaporación aproximada de 5 [m³/día] cada una, logrando una capacidad de evaporación de 35 [m³/día] en total. Los residuos tienen un alto contenido de nitrógeno y han pasado por el proceso de neutralización, por lo cual, son vendidos a clientes externos como fertilizantes.

No existen medidores o caudalímetros que contabilicen el volumen de RILes generados en la planta, por lo tanto, este volumen es aproximado y estimado según datos y cálculos empíricos de valores de producción y funcionamiento de ciertas bombas. Según las estimaciones, durante el año 2018 se produjeron una cantidad aproximada de 8.000 [m³] de RILes con un promedio mensual de 700 [m³], siendo el mes de febrero el que tuvo la mayor producción, alcanzado casi los 1200 [m³] de RILes. Este valor es superior a los aproximadamente 1.000 [m³] de capacidad de evaporación que tienen las piscinas, por lo que en varias ocasiones este sistema se ve sobrepasado, las piscinas son rebalsadas y los RILes deben ser extraídos mediante camiones y almacenados en bines de 1[m³] de capacidad cada uno. Estos hechos conllevan a daños e impactos ambientales, que muchas veces resultan en multas para la empresa.

2. Planta Río Loa

2.1 Obtención de Agua

A diferencia de Planta Prillex, Planta Río Loa está ubicada en la ciudad de Calama lejos del acceso al mar, razón por la cual no tiene la oportunidad de aprovechar al mar como fuente de obtención de agua, sin embargo, esta planta sí tiene conexión al suministro de agua de red, siendo esta su única fuente de obtención de agua. Actualmente Planta Río Loa tiene conexión a dos redes de suministro de agua, una de agua potable y otra de agua cruda.

2.1.1 Red de Agua Potable

El Agua Potable en Planta Río Loa es tratada y suministrada por la empresa sanitaria Aguas Antofagasta, cuyo origen proviene del Río Loa, existiendo un contrato entre ambas partes que establece las condiciones del suministro del agua.

El contrato de suministro de agua establece un volumen mensual de 5.500 [m³] de agua potable y un valor de 0,0482 [UF/m³], donde Enaex se obliga a pagar dicho total con un mínimo del 90% de este volumen, es decir, 4.950 [m³] mensuales. Enaex puede consumir como máximo 10.368 [m³], sin embargo, cuando el consumo sea superior al 120% del volumen contratado, es decir, sobre 6.660 [m³], se deberá pagar una tarifa de sobreconsumo de 0,0737 [UF/m³] para el volumen supere este límite. En la eventualidad de que Enaex quiera consumir un volumen superior al máximo de suministro, se debe hacer aviso a Aguas Antofagasta con 30 días de anticipación para acordar las tarifas respectivas.

A continuación, se presenta un resumen de las condiciones del contrato de suministro de agua potable, la cantidad efectivamente suministrada y su costo:

Tabla 9: Costo del agua potable según contrato con "Aguas Antofagasta"

Costo Agua Potable	UF
Costo m3	0,0482
Costo m3 Sobreconsumo	0,0736

Tabla 10: Condiciones de facturación del agua potable según contrato con "Aguas Antofagasta"

Facturación	Promedio mensual	Total 2018
Mínimo Facturable	4.950	59.400
Límite de Sobreconsumo	6.660	79.920
Máximo Suministrable	10.368	124.416
Agua Facturada	5.972	71.658
Costo Total	\$8.021.732	\$96.260.787

A continuación, se presenta un gráfico con los consumos de agua potable facturados por mes y su comparación con las condiciones y restricciones del suministro.

Suministro de Agua Potable – Año 2018

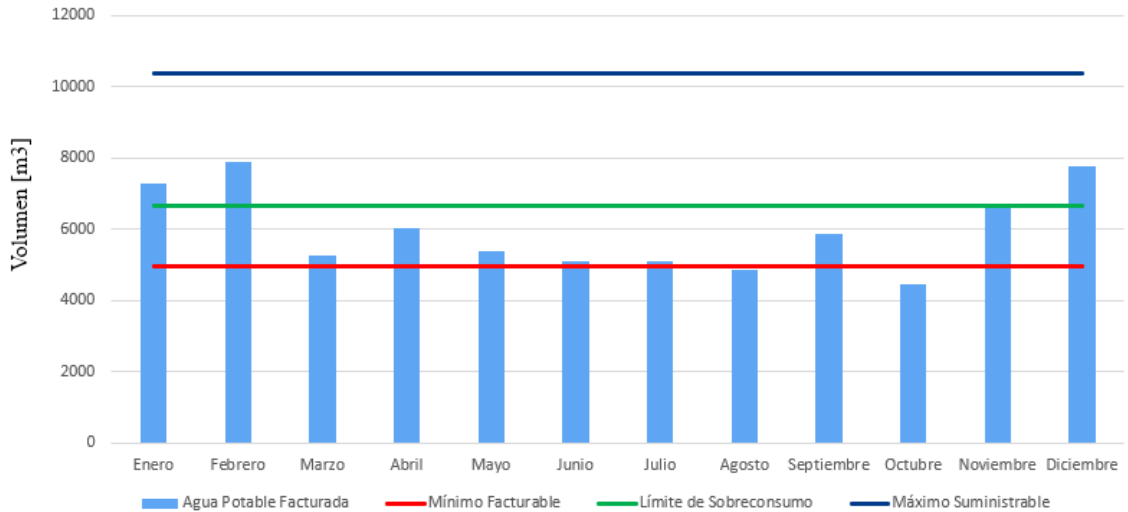


Figura 9: Consumos mensuales de agua potable suministrada y condiciones de facturación en Planta Río Loa

Se puede observar, que durante los meses de enero, febrero y diciembre se ha pagado una tarifa de sobreconsumo, mientras que durante los meses de agosto y octubre se ha pagado el mínimo de facturación a pesar de haber consumido un volumen menor de agua potable. Los consumos se mantienen lejos del máximo permitido de consumo.

2.1.2 Red de Agua Cruda

El Agua Cruda en Planta Río Loa es suministrada por la empresa de ferrocarriles “Ferrocarril de Antofagasta”, cuyo origen proviene del Río Siloli. Existe un contrato entre ambas partes que establece las condiciones del suministro del agua.

Este contrato de suministro de agua cruda para uso industrial, no potable ni apta para el consumo humano, establece un suministro mensual de 5.500[m3], donde Enaex debe cancelar a todo evento un consumo mínimo de 5.000[m3]. El precio por [m3] de agua industrial suministrada es de 0,15 UF. En caso de adquirir un volumen mayor al volumen contratado, este mayor volumen será tratado como sobreconsumo, y en consecuencia, se deberá pagar un valor de 0,165 UF por el volumen de sobreconsumo. No hay estipulado un volumen máximo de suministro.

A continuación, se presenta un resumen de las condiciones del contrato de suministro de agua cruda, la cantidad efectivamente suministrada y su costo:

Tabla 11: Costo del agua cruda según contrato con "Ferrocarriles de Antofagasta"

Costo Agua Potable	UF
Costo m3	0,15
Costo m3 Sobreconsumo	0,165

Tabla 12: Condiciones de facturación del agua cruda según el contrato con "Ferrocarriles de Antofagasta"

Facturación	Promedio mensual	Total 2018
Mínimo Facturable	5.000	60.000
Límite de Sobreconsumo	5.500	66.000
Agua Suministrada	3.325	39.894
Agua Facturada	5.000	60.000
Costo Total	\$21.066.667	\$252.800.000

A continuación, se presenta un gráfico con los consumos suministrados de agua cruda por mes y su comparación con el consumo efectivamente facturado.

Suministro de Agua Cruda – Año 2018

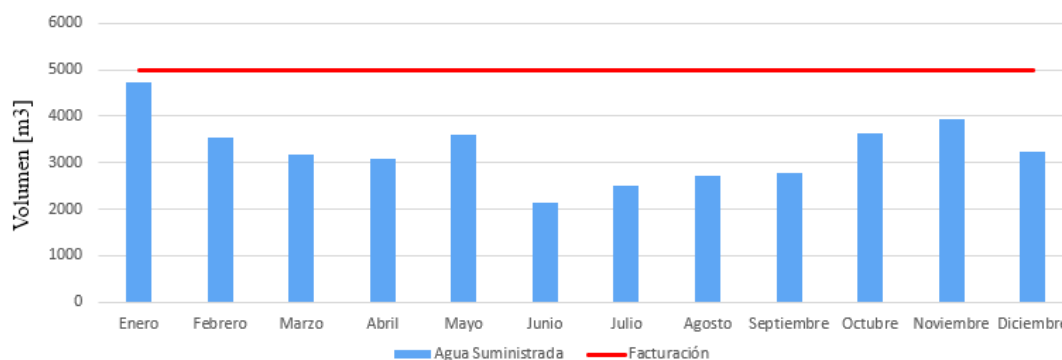


Figura 10: Consumos mensuales de agua cruda suministrada y consumo facturado en Planta Río Loa

Se puede observar que durante ningún mes del año se alcanzó el volumen mínimo de facturación, es decir, durante todos los meses del año se pagó por un volumen de agua cruda mayor al efectivamente utilizado, de hecho, el promedio mensual del suministro de agua cruda es un 67% del volumen mínimo de facturación.

2.2 Uso y Consumo de Agua

En planta Río Loa existen dos líneas de distribución de agua, la línea de agua potable que distribuye agua de este tipo proveniente de la red suministrada por “Aguas Antofagasta”, y la línea de agua industrial que distribuye agua cruda proveniente de la red suministrada por “Ferrocarril de Antofagasta”. Además, existe una red de alcantarillado que lleva las aguas servidas a una planta de tratamiento.

La planta cuenta con una gran cantidad de medidores de agua en distintos puntos, como también, un medidor general en el ingreso de la red a la planta. Estos medidores son utilizados para poder calcular cuánta agua es utilizada en cada dependencia o unidad productiva, pudiendo así asignarle a dicho departamento el costo respectivo del agua consumida. Estos medidores no tienen una gran exactitud, además, muchos de ellos se encuentran mal ubicados, produciendo a veces mediciones erróneas al encontrarse estos instalados en serie. Por esta razón, la información de estos medidores no es tan exacta y es preferible usarlos como una herramienta de prorrateo del consumo a partir del volumen facturado por la empresa distribuidora.

2.2.1 Agua Potable

La línea de agua potable abastece de esta agua a casi todos los servicios de la planta, ya que esta agua es utilizada para distintos fines. En primer lugar, esta agua es utilizada para todos los servicios básicos, como lo son los baños en las distintas oficinas, garitas, galpones, talleres, salas de cambio y casino. Además, esta agua es utilizada para el sistema de regadío de áreas verdes. En producción, esta agua es utilizada para la limpieza de ciertos equipos y camiones, como también para abastecer las duchas de seguridad y lavajojos ubicados en las zonas productivas. Existen además 2 complejos ubicados en las dependencias de Planta Río Loa, que se abastecen de esta línea, el Condominio y el Centro de Capacitación y Recreación Radomiro Tomic.

El Condominio es un complejo habitacional que consta de una casa de huéspedes para el alojamiento de empleados de visita en la planta y de 18 casas de vivienda permanente para trabajadores y empleados de la planta junto a sus familias. El condominio posee una planta de tratamiento de aguas servidas, cuyo objetivo es tratar estas aguas y poder reutilizarla para regadío de las áreas verdes del mismo condominio. Este condominio tuvo un consumo total de 10.841 [m³] durante el año 2018, promediando un consumo mensual de 900 [m³], es decir, aproximadamente un 15% del consumo de agua potable de la planta y un 10% del consumo total de agua de la planta.

El Centro de Capacitación y Recreación Radomiro Tomic (CCRRT), como dice su nombre, es un centro de eventos recreacionales que se encuentra ubicado en terreno dependiente de Planta Río Loa, pero fuera de los límites de la planta y con libre acceso al público. Este complejo cuenta con piscinas, gimnasios, canchas de fútbol, de tenis, multicanchas, salones de eventos, restaurant, etc., y actualmente es operado y administrado por Codelco división Radomiro Tomic y sirve como centro recreacional tanto para sus empleados y trabajadores como el público en general. El agua consumida en el CCRRT es facturada directamente a Enaex y es declarada como parte de sus consumos, cuyo valor durante el año 2018 fue de 10.929 [m³], es decir, aproximadamente un 15% del consumo de agua potable de la planta y un 10% del consumo total de agua de la planta, valor muy similar al consumido por el condominio.

Los consumos de agua de estos dos complejos están consideramos como consumos del área de administración, por lo tanto, considerados costos de administración. Otros consumos de agua considerados dentro de los consumos de administración son los de las casas de cambios, casino, garitas de entrada y la oficina de administración con el respectivo regadío de sus áreas verdes. A continuación, se presenta una tabla de resumen de los consumos de agua potable durante al año pasado, separados por administración, departamento de ácidos y nitraciones, departamento de explosivos y otros, donde en estos últimos se consideran los consumos de los laboratorios químicos y electrónicos, los talleres hidráulicos y metalmecánicos, la casa de fuerza, bodegas, garages, departamento de control de calidad, de medioambiente, de investigación y desarrollo, etc.

Tabla 13: Consumo de agua potable en los distintos departamentos de Planta Río Loa

Departamento	Promedio mensual	Total 2018
Administración	2.657	31.880
Ácidos y Nitraciones	1.806	21.673
Explosivos	690	8.275
Otros	820	9.830
Consumo Total	5.972	71.658

2.2.2 Agua Industrial

A diferencia de la red de agua potable, la red de agua industrial distribuye agua cruda, la cual no es apta para el consumo humano y posee una composición salina mucho menor que la del agua potable. Esta agua tiene un precio mayor que el agua potable, sin embargo, su baja salinidad la hacen ideal para ser utilizada en ciertos procesos productivos, por lo cual, esta red es bastante limitada y abastece solo al área de producción del departamento de ácido y nitraciones, y además, a la casa de fuerza para la generación de vapor.

El agua industrial es utilizada en el departamento de ácidos y nitraciones para el lavado de equipos, como agua de enfriamiento en la torre Densac y agua de lavado de productos en los Nitradores y la Refinería. El lavado de productos consiste en la disolución de los productos ácidos, pudiendo así disminuir su concentración. Además, esta agua es utilizada en las calderas de la casa de fuerza que generan vapor para ser utilizado en procesos productivos del departamento de explosivos y el de ácidos y nitraciones. A continuación, se presenta un cuadro resumen con los principales consumos de agua industrial dentro de Planta Río Loa.

Tabla 14: Consumo del agua industrial en las distintas unidades de Planta Río Loa

Unidad	Promedio mensual	Total 2018
Generación de Vapor	1.278	15.338
Densac	899	10.788
Nitradores 1 y 2	580	6.965
Nitrador Biazzi	135	1.623
Refinería PETN	295	3.535
Casa de Fuerza	131	1.573
Consumo Total	3.325	39.894

Donde se tiene además el siguiente detalle del consumo de agua para generación de vapor según su consumo en las siguientes unidades:

Tabla 15: Agua utilizada para la generación de vapor en las distintas unidades de Planta Río Loa

Departamento	Promedio mensual	Total 2018
Densac	705	8.455
Refinería	104	1.252
Nitradores 1 y 2	6	66
Emulsiones Encartuchadas	216	2.595
Emulsiones a Granel	74	883
APD y Pentolitas	110	1.316
Dinamitas	65	775
Consumo Total	1.278	15.338

2.3 Disposición de RILes

Los RILes en Planta Río Loa consisten básicamente en todos los residuos líquidos generados por el lavado de equipos e instalaciones, el proceso de lavado de productos y el humedecimiento de piso. El humedecimiento de piso se realiza debido a que gran parte de los explosivos y sus componentes son extremadamente sensibles a los golpes y la fricción, por lo que toda la superficie de trabajo debe mantenerse húmeda, especialmente los pisos. Los RILes,

al igual que en Planta Prillex, tienen como disposición final las distintas piscinas de evaporación solar que hay en la planta, sin embargo, dependiendo su caracterización pasarán por distintos procesos de tratamiento.

Los RILes provenientes de los Nitradores 1 y 2 son de carácter ácido, correspondientes principalmente a aguas de lavado de producto y limpieza de suelos y equipos, mientras que los RILes provenientes de la Refinería son de carácter alcalino, correspondientes al agua de piso y el condesado de agua de proceso con acetona. Estos dos efluentes son enviados a la Planta Neutralizadora de Aguas Ácidas (NAP), donde los efluentes provenientes de la Refinería neutralizan en parte los RILes ácidos provenientes de los Nitradores, sin embargo, esto no es suficiente para lograr la neutralización completa y debe ser añadida una solución de soda cáustica preparada con Hidróxido de Sodio al 50%. Los residuos que han sido completamente neutralizados son enviados a un Reservoir, para ser utilizados como agua salada en algunos procesos; el resto, que no es completamente neutralizado, es enviado a las piscinas de evaporación solar.

El Nitrador Biazzi es el encargado de producir la nitroglicerina necesaria para la elaboración de dinamita, la cual debe ser transportada desde esta unidad hasta la Casa Neutralizadora para continuar con su elaboración, para esto, a la nitroglicerina se le introduce agua a una presión de 20 psi para poder ser transportada a través de un tendido de tuberías aéreas de 200 metros de largo hasta la siguiente unidad. Si bien, se generan distintos tipos de residuos en la producción de nitroglicerina, el que tiene mayor relevancia corresponde al agua residual que se origina producto del transporte de la nitroglicerina. Este residuo es susceptible a explosiones y posee un alto grado de peligrosidad, por lo cual precisa de un tratamiento de Hidrólisis Alcalina Termal (HAT) para descomponer la nitroglicerina, eliminando la reactividad del líquido. Una parte del RIL tratado en esta Planta de Hidrólisis Alcalina Termal es recirculado al Nitrador Biazzi para ser utilizado nuevamente para el transporte de la nitroglicerina, mientras que la otra parte es enviada a las piscinas de evaporación solar.

La Planta Densac produce en su proceso de concentración de ácido, un destilado el cual contiene alrededor de un 1,5% de ácido sulfúrico. Parte de este ácido es enviado a la torre de absorción donde se obtiene ácido débil que es recirculado al proceso, mientras que el sobrante de destilado es enviado a las piscinas de evaporación.

Los RILes producidos por el departamento de explosivos son básicamente producidos en la unidad de producción de emulsiones y en la casa APD 2, lugar donde se fabrica la Pentolita. Los RILes más importantes producidos en estas dos unidades son producto del lavado de equipos, humectación del suelo, el vapor condensado originado en la preparación de la mezcla de TNT y PETN en la elaboración de la Pentolita y el agua residual de la limpieza de camiones matriceros provenientes de las Plantas de Servicio, los cuales son lavados en la unidad de producción de emulsiones. Todos estos RILes son enviados a las piscinas de evaporación solar.

Planta Río Loa cuenta con cinco piscinas de evaporación solar, dos de uso exclusivo del departamento de explosivos mientras que las tres restantes son de uso del departamento de ácidos y nitraciones. Los RILes que son dispuestos en las piscinas son evaporados, disminuyendo su volumen y convirtiéndose en Residuos Industriales Sólidos. Estos RILes, a diferencia de Planta Prillex donde son vendidos a terceros como fertilizantes, son considerados como basura explosiva y detonados según la ley N°17.798 sobre control de armas y explosivos.

Al igual que en Planta Prillex, la generación y disposición de RILes no es monitoreada ni medida bajo ningún instrumento de medición de caudal, por lo cual, la cantidad de RILes producidos por cada unidad son solo aproximados según cálculos empíricos relacionados directamente con la producción. A continuación, se presenta un cuadro resumen con la información más importante respecto a la generación y disposición de RILes en Planta Río Loa:

Tabla 16: Generación y disposición de RILes en Planta Río Loa

Depto.	Casa Productiva	Generación Aprox. de RILes [m3/Año]	Caracterización	Tratamiento	Disposición
Ácidos y Nitraciones	Nitrador 1	6.000	Aguas ácidas, con trazas de acetona y PETN	Neutralización con Hidróxido de Sodio	Reservoi o Piscinas de Evaporación
	Nitrador 2	5.500			
	Refinería	2.500			
	Nitrador Biazzi	1.200	Aguas ácidas con trazas de NG	Hidrólisis Alcalina Termal	Recirculación y Piscinas de Evaporación
	DENSAC	7.200	Aguas ácidas	-	Recirculación y Piscina de Evaporación
Explosivos	APD 2	700	Aguas con trazas de Emulsión y Pentolita	-	Piscinas de Evaporación
	Emulsiones	180			

3. Planta Punta Teatinos

3.1 Obtención de Agua

Planta Punta Teatinos se encuentra ubicada al norte de la ciudad de La Serena, fuera del sector urbano donde no existe conexión al suministro de agua potable de red y a una distancia aproximada de 1km del mar. Esta distancia del mar hace difícil la opción de obtener agua de esa fuente en forma directa, sin embargo, es posible de obtener agua a partir de napas subterráneas. Planta Punta Teatinos cuenta con derechos consuntivos de aprovechamiento de aguas subterráneas, razón por la cual, gran parte del agua es obtenida a partir de esta fuente. Otra gran parte del agua es obtenida a partir de la compra de agua potable a un proveedor externo.

3.1.1 Agua de Napas Subterráneas

Planta Punta Teatinos cuenta con derechos consuntivos de aprovechamiento de aguas subterráneas equivalente a tres litros por segundo, lo que es bastante y suficiente para alimentar todo el consumo de esta, sin embargo, hasta hace poco se contaba solo con un pozo de poca

profundidad, cuya capacidad era bastante inferior a la demanda. Por esa razón, durante los meses de julio y agosto de 2018 se construyó un pozo profundo para la extracción de una mayor cantidad de agua mediante una bomba de extracción, cuyo objetivo es suministrar de agua tanto de proceso como de servicios a la planta. Sin embargo, se detectó que el agua de este pozo profundo contenía una mayor cantidad de sales que la anterior, lo que es explicado por el fenómeno de intrusión de agua de mar, que consiste en el movimiento del agua de mar hacia los acuíferos costeros de agua dulce. Por esta razón, el agua extraída del pozo profundo es utilizada únicamente como agua industrial. Durante el año 2018 fueron extraídos 3.300 m³ de agua subterránea, promediando un valor mensual de 275 m³.

El costo de extracción de agua depende básicamente del costo de energía para la alimentación de la bomba de extracción, como también del costo de mantenimiento de esta. Este es un sistema mucho más simple y sencillo que el de desalinización mediante osmosis inversa, por lo que necesita de un consumo y mantenimiento mucho menor, el que podemos estimar en no más de la mitad del sistema de desalinización. Se estima un costo de \$500 por m³ de agua subterránea extraída, obteniendo un costo total de \$1.650.000 durante el año 2018.

3.1.2 Agua Comprada

Otra fuente de agua corresponde a la compra de agua potable a un proveedor externo, la cual es transportada mediante camiones aljibe hasta la planta. Esta es utilizada principalmente para servicios, sin embargo, una parte es utilizada igualmente como agua de producción. Durante el año 2018, la compra de agua potable fue de 5.836 m³ con un costo de \$36.475.000 con transporte incluido, promediando un consumo de 486m³ y un costo de \$3.039.583 mensuales, lo que representa un costo unitario de \$6.250 por m³ de agua comprada.

3.2 Uso y Consumo de Agua

En Planta Punta Teatinos existen dos tipos de aguas, las cuales provienen de las dos fuentes anteriormente mencionadas, el agua industrial utilizada proveniente de las napas subterráneas y el agua potable que es comprada a un proveedor externo.

3.2.1. Agua Industrial

El agua industrial es extraída de un pozo profundo desde las napas subterráneas mediante una bomba de extracción. Actualmente, esta agua debido a su alta salinidad es solamente utilizada en producción, ya sea como agua de limpieza de equipos y camiones, o como agua para la generación de vapor en calderas. Esta agua utilizada en las calderas debe ser previamente desalinizada, lo que se realiza mediante una pequeña planta de osmosis inversa que es solamente utilizada para este propósito. El rechazo de esta planta de osmosis inversa corresponde a una salmuera que es utilizada para el regadío de caminos dentro de la planta.

3.2.2 Agua Potable

El agua potable llega a la planta en camiones aljibe, la cual es utilizada principalmente para el uso de servicios básicos en el casino, las casas de cambio y oficinas. Punta Teatinos no cuenta con planta de tratamiento de aguas servidas, por lo que tiene un sistema de fosas sépticas que son limpiadas por una empresa externa. Adicionalmente, parte de esta agua potable es utilizada en producción, principalmente para disolver el nitrato de amonio solución proveniente de Prillex.

Se estima que el 70% del total del agua es utilizada para procesos productivos, mientras que el 30% restante es utilizada para servicios básicos.

3.3 Disposición de RILes

Los RILes producidos en Planta Punta Teatinos corresponden básicamente a los residuos producidos en el proceso de limpieza de equipos, principalmente por la limpieza de la planta de emulsiones. Estos RILes son enviados a una piscina de evaporación solar. No existe un medidor o caudalímetro que mida la cantidad exacta de RILes producidos y/o enviados a la piscina de evaporación solar, por lo que solamente se estima según cálculos empíricos. Durante el año 2018 se declaró la producción de solamente 80 m³ de RILes.

4. Resumen y análisis corporativo de los datos obtenidos

4.1 Resumen corporativo

A continuación, se presenta una tabla resumen de resultados con las distintas fuentes, usos y costos de agua en las tres plantas productivas en estudio, además del total del conjunto para cada uno de los ítems. Los valores de volumen de agua se presentan en metros cúbicos, mientras que los valores de costo de agua se presentan en pesos chilenos.

Tabla 17: Resumen corporativo de los datos obtenidos

	Detalle	Prillex	Río Loa	Punta Teatinos	Total
Fuente	Agua desde Mar	24.000	0	0	24.000
	Agua desde Napas	0	0	3.250	3.250
	Agua desde Red	0	112.000	0	112.000
	Agua desde Proveedores	6.500	0	5.750	12.250
Uso	Agua para Producción	15.250	55.000	6.500	76.750
	Agua para Servicios	15.250	57.000	2.500	74.750
Costo	Costo de Compra	\$29.500.000	\$350.000.000	\$36.000.000	\$443.000.000
	Costo de Transporte	\$27.500.000	\$0		
	Costo de Operación	\$23.000.000	\$0	\$2.000.000	\$25.000.000
	Costo por metro cúbico	\$2.500	\$3.000	\$4.000	-
Total	Consumo Total	30.500	112.000	9.000	151.500
	Costo Total	\$80.000.000	\$350.000.000	\$38.000.000	\$468.000.000

En la Tabla 17 se pueden observar y comparar los datos obtenidos durante el estudio, de donde se desprende que Planta Río Loa posee el mayor consumo y costo de agua, seguida por Planta Prillex y finalizando por Planta Punta Teatinos, que tiene valores de consumo y costos bastante inferiores a las demás plantas. Sin embargo, se puede observar que Planta Punta Teatinos tiene el mayor costo específico de agua de las tres plantas, es decir, que el costo promedio del metro cúbico de agua en esta planta es de \$4.000, mientras que el valor específico en Planta Río Loa es de \$3.000, es decir, un 25% inferior y en planta Prillex el valor del metro cúbico de agua

promedio es de aproximadamente \$2.500 pesos, que equivale a casi la mitad del precio en Planta Punta Teatinos.

Este estudio busca comprender la situación actual del uso y consumo de agua en las plantas productivas de Enaex, con el objetivo de poder mejorar la gestión de este recurso y lograr una reducción tanto en los consumos como en los costos asociados al agua, por lo tanto, a continuación se realizará un análisis de los resultados obtenidos a nivel corporativo.

4.2 Análisis de los datos obtenidos

A partir del resumen corporativo de los datos obtenidos, se puede realizar un análisis del consumo y costo del agua a nivel corporativo, ya sea según la planta productora, la fuente de obtención y el tipo de uso. Se presenta una tabla resumen para cada caso, seguido de un gráfico de anillos donde en el interior se encuentran ubicados los valores del consumo, mientras que en el exterior se ubican los datos de sus costos respectivamente. Este análisis es muy importante ya que permite relacionar los costos y consumos que tienen los distintos ítems entre sí, como también su relación individualmente.

4.2.1 Plantas productivas

A continuación, se presenta un análisis entre el consumo y el costo de agua según las distintas plantas productivas en estudio.

Tabla 18: Consumo y costo de agua corporativo según planta productiva

Planta	Consumo	Costo
Río Loa	112.000	\$350.000.000
Prillex	30.500	\$80.000.000
Punta Teatinos	9.000	\$38.000.000
Total	151.500	\$468.000.000

Consumo y costo de agua según planta productora

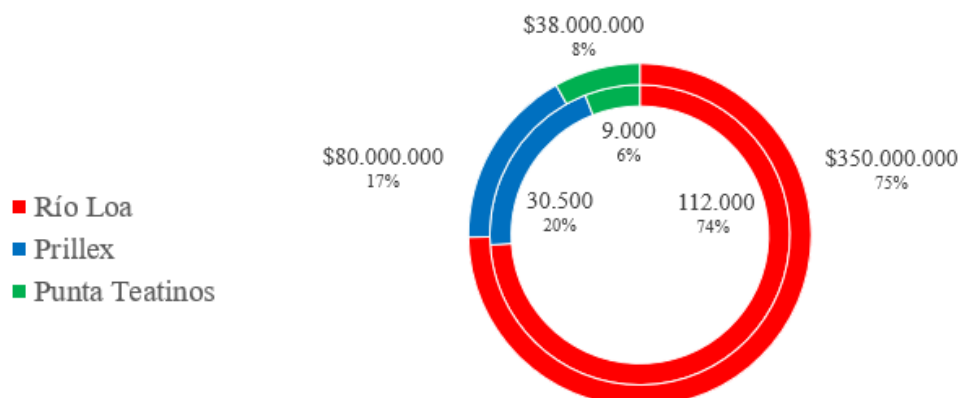


Figura 11: Consumo y costo de agua corporativo según planta productora

Se puede observar de este análisis, que el mayor consumo de agua corporativo corresponde al consumo por parte de Planta Río Loa, consumo equivalente a casi el 75% del consumo total de la compañía, seguido por Planta Prillex con un consumo aproximado del 20%, mientras que Planta Punta Teatinos representa aproximadamente un 6% del consumo corporativo. También se observa, que la relación entre el consumo y costo del agua en cada planta es bastante similar.

4.2.2 Fuentes de obtención

A continuación, se presenta un análisis entre el consumo y el costo de agua a nivel corporativo según las distintas fuentes de obtención de agua.

Tabla 19: Consumo y costo de agua corporativo según su fuente de obtención

Fuente	Consumo	Costo
Agua de Red	112.000	\$350.000.000
Agua de Mar	24.000	\$23.000.000
Proveedores externos	12.250	\$93.500.000
Agua desde Napas	3.250	\$1.500.000
Total	151.500	\$468.000.000

Consumo y costo de agua según fuente

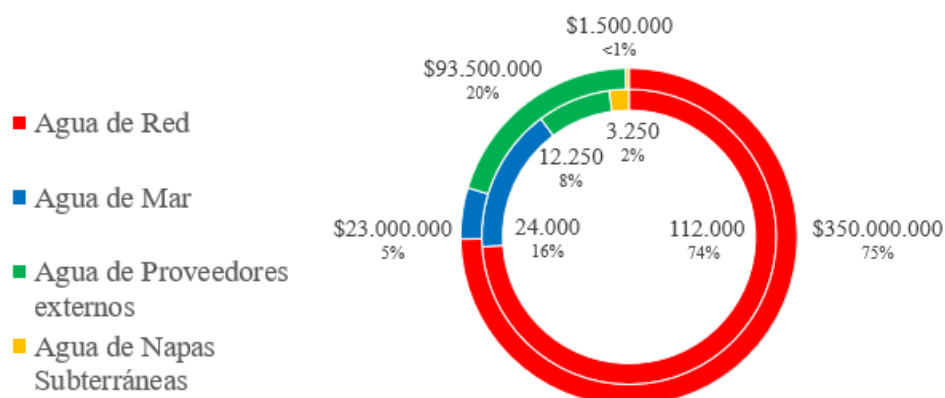


Figura 12: Consumo y costo de agua corporativo según su fuente de obtención

Se puede observar de este análisis, que la mayor fuente de agua a nivel corporativo es la suministro a través de la red, esto debido a que representa el 100% del suministro de agua en Planta Río Loa, la cual a su vez, es la planta con mayor nivel de consumo. La segunda mayor fuente corresponde al agua proveniente del mar, representada en gran parte por el alto uso de esta fuente por Planta Prillex. El agua comprada a proveedores externos, tanto en Planta Prillex como en Planta Punta Teatinos representa un poco menos del 10% del consumo total, mientras que el agua extraída a partir de napas subterráneas en Planta Punta Teatinos representa apenas un 2%.

Importante destacar, que el agua comprada a proveedores externos representa un nivel de costo mucho mayor que su respectivo nivel de consumo, mientras que las fuentes de obtención propias como lo son el mar y las napas subterráneas tienen un nivel de costo mucho menor que el nivel de consumo en comparación con las otras alternativas. Esto quiere decir, que se debe fortalecer el uso de fuentes propias de obtención de agua, y tratar de dispensar de la compra a proveedores externos, ya que representan un mayor costo y una peor autonomía.

4.2.3 Tipo de uso

A continuación, se presenta un análisis entre el consumo y el costo de agua a nivel corporativo según el uso del agua, ya sea para servicios o para producción.

Tabla 20: Consumo y costo de agua corporativo según uso

Tipo de Uso	Consumo	Costo
Servicios	75.000	\$124.000.000
Producción	76.500	\$344.000.000
Total	151.500	\$468.000.000

Consumo y costo de agua según uso

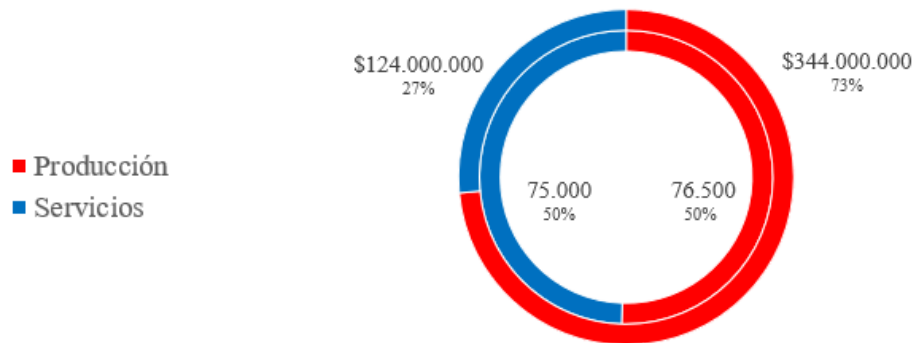


Figura 13: Consumo y costo de agua corporativo según uso

Se puede observar de este análisis, que si bien los consumos de agua según uso para servicios o para procesos es equitativo, es decir, del 50% cada uno, el costo del agua para producción es bastante mayor, lo que se puede explicar por mayor costo del agua cruda en Planta Río Loa, del agua desmineralizada en Planta Prillex y del agua comprada en Planta Punta Teatinos.

VI. Detección de hallazgos

Luego de haber realizado el levantamiento de información y posterior análisis de los resultados respecto al uso, consumo y compras de agua en las diversas plantas productoras, se procede a detectar los problemas y falencias que existen actualmente en la gestión de los recursos hídricos en cada una de estas plantas, los que provocan consumos y costos innecesarios.

1. Planta Prillex

1.1 No existe control del consumo y uso de agua en la planta:

A diferencia de planta Río Loa donde existen medidores de agua en las distintas oficinas y unidades productoras, en Planta Prillex no existe un registro exacto ni un seguimiento aproximado del consumo de cada una de las unidades, como tampoco de los descartes de agua de la planta. Actualmente, el único control que se tiene en materia hídrica en planta Prillex es el volumen de agua desalinizada por la planta de osmosis y la generación de RILes que llegan a las piscinas de evaporación solar. El control del agua en la planta de osmosis es realizado por un caudalímetro que registra el volumen de agua desalinizada, sin embargo, la generación de RILes no tiene medición, realizándose un control bajo supuestos y cálculos empíricos basados en la producción de productos, lo que no permite llevar un control real. Tampoco existe un control del costo de operación de la planta de osmosis, lo que permitiría obtener el costo real del agua de mar desalinizada.

Este problema de control no permite realizar un seguimiento del uso y consumo del agua, por lo que no existe la forma de poder detectar problemas de ineficiencia en alguna de las unidades, como tampoco detectar pérdidas o fugas de agua significativas, es decir, no existe posibilidad de detectar problemas ni estudiar posibles mejoras en el aprovechamiento del agua.

1.2 Dependencia de la disponibilidad de la planta de osmosis:

Actualmente, el mar es la principal fuente de abastecimiento de agua para la planta, la cual debe ser tratada en una planta de osmosis inversa para su uso, proceso de bajo costo con relación a las otras alternativas existentes, ya que cuando no es posible obtener agua del mar, se debe comprar agua a un precio mucho mayor.

El problema detectado surge debido a la poca autonomía de agua que tiene la planta, ya que los estanques de acumulación de agua desalada, ya sea el estanque de agua de servicios como de agua potable, no alcanzan a abastecer la demanda diaria de la planta, lo que significa que en caso de una detención de la planta de osmosis inversa, deba ser necesario abastecer la planta de una fuente de agua hasta 8 veces más costosa que la utilizada bajo una operación normal. Esta baja autonomía de agua significa una gran dependencia de la disponibilidad de la planta de osmosis, ya que la gran cantidad de fallas y detenciones de esta, hacen que se incurra en altos costos de adquisición de agua desalada.

1.3 Desorden administrativo:

Durante el proceso de levantamiento de información, se debió recolectar toda la información existente, ya sea con los departamentos productivos como los administrativos. Se dejó en evidencia la inexistencia de un canal común de comunicación efectivo entre producción y administración, ya que en gran parte de información que manejan no concuerda entre sí.

Dentro del poco control que existe en materia hídrica, mucha de esta información es contradictoria entre los departamentos, como por ejemplo, los registros de compras y de transporte de agua comprada, los cuales no concuerdan entre las planillas que maneja producción y los registros en el software SAP, utilizado para la planificación y administración de los recursos de la compañía. Otro ejemplo, es el registro de detenciones y costos asociados al mantenimiento de la planta de osmosis inversa, los cuales no concuerdan entre los distintos registros existentes y con las compras de agua respectivas a esos periodos de detención.

Se dejó en evidencia además, la baja conciencia sobre los recursos hídricos, ya que se detectaron ciertas negligencias en esta materia, donde la más grave es la solicitud de compra de agua, sin haber emitido su respectiva orden de compra. Esto produjo que no existiese registro de ingreso y consumo de esa agua, correspondiente a 3.000 m³ de agua desalada por un valor de 30.000 USD, y no pudiendo además realizar el pago respectivo, el que lleva más de un año impago al proveedor. Además, no hay registros del transporte del agua a la planta respectiva a esa compra.

2. Planta Río Loa

2.1 Contrato de agua por un elevado costo:

El contrato del suministro de agua potable por parte de Aguas Antofagasta establece un precio del metro cúbico de 0,0482UF, mientras que el contrato del suministro de agua cruda por parte de Ferrocarriles de Antofagasta establece un precio del metro cúbico de 0,15UF, es decir, más de tres veces el valor del metro cúbico de agua potable. Además, el contrato de agua cruda establece un mínimo de facturación de 5000 m³, no siendo superado durante ningún mes del año 2018 y promediando un uso mensual de 3325 m³. Esto significa, que durante todos los meses del año, se pagó un valor correspondiente a un consumo mayor al efectivamente realizado, de hecho, durante todo el año se consumió menos de un 70% del valor cancelado.

Si bien el agua cruda es distinta del agua potable, podemos darnos cuenta de que el costo de esta es mucho mayor. Además, se factura un valor correspondiente a un consumo mucho mayor al efectivamente utilizado, lo que implica que este contrato es económicamente negativo para la compañía.

2.2 Consumo de agua CCR R. Tomic:

El Centro de Capacitación y Recreación Radomiro Tomic se encuentra ubicado fuera de los límites de la planta, siendo operado y administrado por Codelco. Actualmente tiene un nivel de consumo muy alto, equivalente a más del 10% el consumo total de Planta Río Loa. Por esta razón, se cree que no existe control del consumo de agua en este complejo, ni se toman medidas para un mejor aprovechamiento de esta.

Este alto consumo es facturado directamente a Enaex, quien debe correr con estos gastos y los considera como parte de sus costos de administración. Además, este consumo es incluido dentro de las declaraciones de sostenibilidad e impacto ambiental, siendo que no es un complejo administrado por Enaex.

2.3 Agua proveniente de ríos controversiales:

El agua utilizada en Planta Río Loa ya sea para servicios como para producción, proviene de las redes suministradas por Aguas Antofagasta y Ferrocarriles de Antofagasta, agua que a su vez proviene de los ríos Loa y Siloli para cada red respectivamente. Estos dos ríos, presentan

ciertas irregularidades por distintas razones que amenazan el normal funcionamiento de la planta.

El Río Loa tiene su origen a más de 4.000 metros sobre el nivel del mar en la cordillera de los Andes de la región de Antofagasta, el que luego de atravesar por 440 kilómetros el desierto de Atacama desemboca en el océano pacífico. Este río acentúa su caudal durante los meses de verano producto de las precipitaciones en la zona altiplánica, las cuales se relacionan con el fenómeno del invierno altiplánico y que durante los últimos años se ha vuelto más intenso e irregular. Las fuertes lluvias provocan la crecida del río debido al aumento de su caudal, provocando a su vez el arrastre de sedimentos como lodo, barro y rocas e incluso comprometiendo la infraestructura utilizada como captaciones de agua. Esto complica la obtención y el tratamiento del agua, comprometiendo no solo la calidad de esta, sino que también su suministro, el cual se ha visto imposibilitado hasta por varios días en la localidad de Calama. Todo esto provoca que el principal suministro de agua en Planta Río Loa se vea alterado en su calidad, e incluso cortado en su totalidad, afectando directamente a la planta en distintas ocasiones con consecuencias negativas para esta.

Por otro lado, el río Siloli como es llamado en Chile, o río Silala como es llamado en Bolivia, es un curso de agua originado en Bolivia, a unos tres kilómetros de la frontera con Chile, que escurre hacia nuestro país, siendo parte de la cuenca del río Loa y desembocando finalmente en este. Este río es el centro de una disputa entre los gobiernos de Bolivia y Chile respecto a su denominación, naturaleza, curso y uso, habiendo actualmente una demanda ante la corte internacional de justicia que busca esclarecer la disputa sobre este río. El resultado de esta demanda es de mucha importancia para nuestro país, ya que un resultado desfavorable puede traer consecuencias negativas para quienes usen parte de esta agua, como es el caso de Planta Río Loa.

3. Punta Teatinos

3.1 Poco aprovechamiento del pozo profundo:

El agua proveniente de napas subterráneas en Planta Punta Teatinos tiene un costo muy bajo, sin embargo, solo el 35% del total del agua consumida en la planta es obtenida a partir de esta fuente, mientras que el resto del agua es comprada a un valor más de 10 veces mayor. El bajo porcentaje de utilización del pozo profundo y el alto costo del agua comprada son la principal razón del alto costo específico del agua en Planta Punta Teatinos, cuyo valor promedio del metro cúbico supera los \$4.000, valor superior en un 30% al de Planta Río Loa y en un 60% en Planta Prillex.

La planta tiene derechos consuntivos de agua suficientes para extraer agua y abastecer a la planta en su totalidad, y el pozo profundo también tiene la capacidad de suministrar esa cantidad de agua, sin embargo, luego de su construcción quedo en evidencia una alta salinidad del agua del pozo profundo que impide su uso para otros fines, teniendo que comprar agua para esos fines a un precio mayor. El agua del pozo profundo representa una gran oportunidad para la planta debido a su bajo costo, por lo que se debe buscar una solución para poder aumentar su uso.

3.2 Alto consumo específico de agua por producción:

Punta Teatinos es una planta relativamente nueva y pequeña, de hecho, su funcionamiento se basa solamente en la producción de ANFO y emulsiones a granel, además de ser un punto estratégico de almacenamiento y distribución de explosivos a las faenas mineras de la región. Esta planta tiene bajos niveles de producción en comparación con las otras plantas productivas, teniendo apenas un 10% de trabajadores que cada una de otras dos, sin embargo, el consumo de agua para producción es mayor al 40% del agua utilizada para estos fines en Planta Prillex.

3.3 Bajo nivel de descartes declarados:

Actualmente no existe un sistema de control o seguimiento de los recursos hídricos en Planta Punta Teatinos, por lo que el único documento que presenta los datos oficiales respecto a los usos, consumos y descartes de agua en la planta es la planilla de los indicadores anuales de desempeño ambiental, en la cual, cada una de las plantas debe declarar los consumos, usos y descartes tanto de agua como de energía y residuos mensuales durante el año. Estos usos, consumos y descartes, salvo del agua potable comprada a proveedores, son declarados según estimaciones empíricas realizadas, las cuales pueden presentar resultados muy distintos a los valores reales.

En esta planilla de indicadores de desempeño ambiental, se declaran dos tipos de descartes de agua en esta planta durante el año 2018, que son 77 m³ de residuos industriales líquidos y 45 m³ de aguas servidas, sumando un total de 122 m³ de descartes durante todo el año. El consumo de agua en la planta durante el mismo año 2018 es de aproximadamente 9.000 m³, es decir, que los descartes declarados corresponden a menos del 2% del agua consumida, lo que significa que este valor es muy lejano al real, ya que incluso considerando que existen pérdidas de agua en el sistema, no debiera existir tanta diferencia entre ambos valores.

4. Consolidado Plantas

4.1 Compras de agua a un alto costo:

En las tres plantas productoras analizadas, existe al menos una fuente de agua que tiene un costo muy por sobre el costo de alguna otra fuente, por lo cual, se debiese estudiar la posibilidad de disminuir el consumo de esa fuente costosa, o mejor aún, prescindir de ella para disminuir considerablemente los costos asociados al uso y consumo de agua en cada una de las plantas productoras.

4.2 Inexistencia de medición de la generación de RILes:

Actualmente no existe un sistema de medición de la generación de RILes en ninguna de las tres plantas, cuyo control se basa en estimaciones empíricas a partir de los datos de producción. Al no existir un sistema de medición, el control es muy inexacto y presenta valores muy distintos a los reales, los cuales no permiten identificar fugas o fallas en el sistema, como tampoco problemas de ineficiencia. Además, el mal control de los RILes es la principal razón de los rebases en las piscinas de evaporación solar, los que constituyen un problema medioambiental que termina en sanciones y multas para la empresa.

4.3 No existe conciencia sobre el uso y consumo de agua:

Salvo por la preocupación del área de sostenibilidad de la compañía, en la cual nació la idea de realizar este estudio, no existe una preocupación o conciencia sobre el uso y consumo de agua

en las distintas plantas productoras, la cual es considerada simplemente como un insumo de bajo costo.

El costo del agua en relación a otros insumos utilizados para la producción de nitrato de amonio y explosivos en las plantas es bajo, por lo que no existe un control o seguimiento del uso, consumo y compras de agua que permitan identificar, el de igual manera, alto costo que el agua tiene para la compañía, como además, de las malas prácticas en su uso, los problemas de ineficiencia y los riesgos que este consumo y sus prácticas tienen para la compañía, como también, las oportunidades de mejora que existe en relación al uso de este recurso.

Actualmente no existen políticas de educación de los empleados al respecto del uso de agua responsable, como tampoco protocolos de medición y control que permitan realizar un seguimiento del comportamiento y las tendencias del uso de agua en las distintas plantas productoras, permitiendo analizar los consumos para determinar los problemas y plantear soluciones y mejoras al sistema actual.

4.4 Plantas ubicadas en zona de estrés hídrico:

Según la investigación aplicada “Situación actual de los recursos hídricos y estado del arte de tecnologías para un uso sostenible del agua”, Chile es uno de los países con mayor disponibilidad per cápita de agua, cuyo promedio de escorrentía ronda los 50.000 [m³/persona/año], lo que es 8 veces superior al promedio mundial y más de 25 veces superior al umbral para el desarrollo sostenible. Este valor permite considerar a nuestro país como un país privilegiado en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos, sin embargo, durante los últimos 50 años la disponibilidad de este recurso se ha disminuido a la mitad, lo que indica una existente tendencia a la disminución en la disponibilidad y posible situación de escasez en el futuro. Sin embargo, el problema más grave que tiene nuestro país actualmente respecto a la disponibilidad de los recursos hídricos es la heterogeneidad de la distribución del agua en el territorio nacional, ya que como se puede observar en la Figura 23 del Anexo D, existe una gran diferencia en la escorrentía entre las distintas zonas y regiones de nuestro país, donde en la zona sur y austral de nuestro país se concentra más del 95% del agua, mientras en la zona centro y norte apenas el 5% restante.

Las plantas Prillex y Río Loa, que son las dos plantas más grandes y que presentan los mayores consumos de agua para la compañía, se encuentran ubicadas en la segunda región de nuestro país, en la cual, como se puede observar en la misma Figura 23 del Anexo D, presenta los menores niveles de escorrentía y escorrentía per cápita a nivel nacional, con valores inferiores a 1 [m³/s] y 50 [m³/persona/año] respectivamente. Además, como se puede observar en la Figura 25 del Anexo D, esta región presenta una demanda de agua equivalente a 12,5 [m³/s] lo que es más de 12 veces superior a la disponibilidad de este recurso en forma de escurrimiento superficial. Mientras tanto, Planta Punta Teatinos se encuentra ubicada en la cuarta región de nuestro país, donde si bien el escenario es un poco más favorable, la demanda de agua supera a la disponibilidad en forma de escorrentía por casi 1,5 veces.

Como se puede observar en la Figura 24 del Anexo D, Planta Punta Teatinos se encuentra ubicada en una región con una presión hídrica media, mientras tanto, Planta Prillex y Planta Río Loa se encuentran ubicadas en una región con una presión hídrica severa.

5. Riesgos

5.1 Económico

Aumento de los costos de administración y producción

El costo del agua de servicios es considerado parte de los costos de administración, a su vez, el costo del agua de producción es considerado parte de los costos de producción. Actualmente estos costos no son parte significativa del total, sin embargo, una progresiva situación de escasez en la zona norte de nuestro país puede significar un aumento del costo del agua y consecuentemente, que el agua tenga una relevancia cada vez mayor en los costos de administración y producción, pudiendo elevarlos y teniendo consecuencias comerciales negativas. No solo el aumento en el precio del agua tiene consecuencias sobre los costos, sino que también la interrupción de los servicios o cortes de suministro pueden implicar consecuencias negativas sobre la producción y la administración, teniendo que optar por opciones de mayor costo, pero mayor seguridad.

5.2 Operacional

Problemas de disponibilidad y accesibilidad

Más del 80% del agua consumida en las plantas productivas proviene de fuentes externas a Enaex, es decir, que es comprada a terceros, por lo tanto, Enaex depende de las decisiones que los proveedores puedan determinar en cuanto a la disponibilidad y sus restricciones de consumo, afectando directamente a la autonomía y el normal funcionamiento de las operaciones de la compañía.

5.3 Reputacional

Daño a la imagen de la compañía

La preocupación por el medio ambiente, específicamente por el agua, es cada día mayor y los inversionistas y clientes tendrán más en cuenta en sus decisiones el cómo las empresas gestionan el agua y exigirán más información al respecto. Indicadores medioambientales son muy importante para la imagen y les dan competitividad a las empresas, como por ejemplo, el DJSI, donde Enaex aún no cuenta con información en materia hídrica.

5.4 Legal y Regulatorio

Legislación más estricta

Esta mayor preocupación por el medioambiente trae consigo también un crecimiento en materia de normativa y marcos regulatorios, convirtiéndose en una legislación más estricta y con mayores multas y sanciones por el mal uso de este recurso, como por ejemplo, por incidentes de contaminación del agua. Caso particular en Enaex son las recurrentes multas recibidas por los rebalses de las piscinas de evaporación solar.

6. Oportunidades

6.1 Ser una empresa líder y referente en sostenibilidad

Actualmente Enaex se encuentra bien catalogada en materia medioambiental, perteneciendo al DJSI por cuarto año consecutivo. Sin embargo, aún no presenta declaraciones de gestión hídrica, por lo cual, este trabajo puede traer como resultado un mejoramiento en sus indicadores medioambientales al poder agregar esta información en la encuesta del DJSI. Además, esta información puede ser agregada junto a sus mejoras de gestión hídrica en la memoria anual de la compañía, permitiendo aumentar su reputación medioambiental y logrando posicionarse como una empresa líder y referente en sostenibilidad a nivel nacional e internacional.

6.2 Autonomía hídrica de Plantas Prillex y Punta Teatinos

Plantas Prillex y Punta Teatinos tienen una fuente propia de abastecimiento de agua, sin embargo, esta no es utilizada de forma óptima, y se debe comprar agua a terceros a un mayor precio para suplir las necesidades que las fuentes propias no permiten abastecer. Poniendo en práctica algunas soluciones y estrategias, estas dos plantas podrían ser capaces de suplir las necesidades de las plantas en su totalidad, abasteciéndolas en un 100% y a un muy menor costo.

6.3 Potenciales proyectos medioambientales de alto beneficio económico

Gran parte de los hallazgos negativos pueden ser solucionados mediante pequeños planes de inversión, los cuales deben ser estudiados según su factibilidad técnica y económica. Los ejes principales son la obtención, la acumulación, la recirculación y la recuperación de agua.

6.4 Obtención de agua de muy bajo costo a partir de energía solar

Las plantas de Enaex se encuentran en la zona norte del país, donde la radiación solar y su disponibilidad es muy alta. El bajo costo de la obtención de agua a partir de las fuentes autónomas de Enaex corresponde básicamente al costo de mantención de los equipos involucrados y al costo de operación de estos, el que a su vez corresponde al costo de energía eléctrica utilizada para el funcionamiento de los equipos. Esta energía eléctrica que es suministrada por la red puede ser reemplazada por energía solar a partir de la implementación de un sistema fotovoltaico, el que posterior a su inversión inicial permitiría reducir el costo de la energía eléctrica a cero, haciendo la obtención de agua mucho más económica y sostenible.

VII. Propuestas de solución

1. Planta Prillex

1.1 Implementación de caudalímetros para el control del uso de agua en la planta:

El problema de la inexistencia de control del agua en la red de agua potable y de servicios se puede solucionar mediante la instalación de macromedidores de agua, que permitan medir, monitorear y guardar la información respectiva al uso y consumo de agua en cada una de las siguientes líneas propuestas.

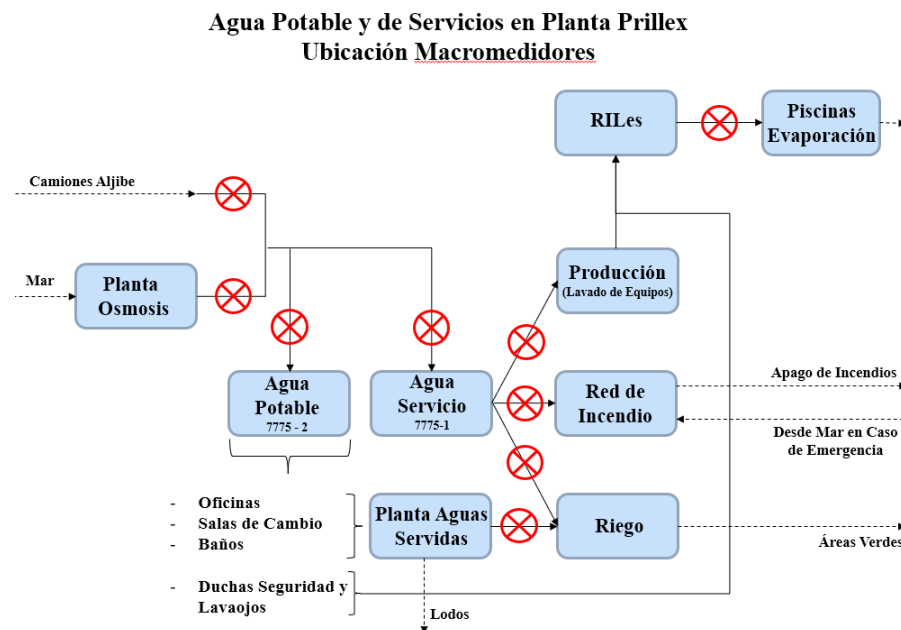


Figura 14: Propuesta de ubicación de macromedidores en redes de agua potable y de servicios

Se propone incluir 9 macromedidores en las líneas de agua de camiones aljibe, agua de la planta de osmosis, agua al estanque de agua potable, agua al estanque de agua de servicio, agua saliente de la planta de aguas servidas, agua de riego proveniente del agua de servicio, agua a la red de incendio, agua hacia la línea de producción y agua de los RILES a las piscinas de evaporación.

Estos medidores permitirán detectar el comportamiento del agua en esta red y así poder identificar ineficiencias en ciertos sistemas y fugas en ciertas líneas de la red. Para elegir el tipo de medidor a utilizar, se estudiaron los 3 principales tipos de medidores utilizados en la industria; los electromagnéticos, los ultrasónicos y los mecánicos.

Los medidores electromagnéticos son medidores que no tienen partes móviles, por lo que son ideales para aplicaciones de aguas residuales o cualquier líquido sucio que sea conductor; esto último debido a que funcionan bajo la ley de Faraday, que establece que el voltaje inducido en cualquier conductor mientras se mueve en ángulos rectos a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de ese conductor. Al no tener piezas móviles son ideales también

para aplicaciones en las que se requiere una baja caída de presión y bajo mantenimiento. Este tipo de medidores son muy precisos y tienen una pantalla digital y memoria para almacenar datos. Los medidores electromagnéticos pueden tener problemas de funcionamiento en esta red, ya que tienen problemas para medir en aguas puras u osmotizadas con baja conductividad. El precio de referencia de estos medidores es de aproximadamente \$1.500.000

Los medidores ultrasónicos son medidores que son instalados mediante abrazaderas en la parte exterior de las tuberías, sin tener contacto con el mismo líquido. Estos funcionan mediante un emisor de señales ultrasónicas y un receptor, el cual recibe estas señales detectando una diferencia en la frecuencia de estas según la velocidad del fluido. Las principales ventajas de estos tipos de medidores son que no son invasivos, por lo que no requieren intervenir los ductos o paralizar la producción para su instalación; se pueden implementar en diámetros nominales muy pequeños; no experimentan pérdida de carga; y pueden ser utilizados en todo tipo de líquidos. El precio de referencia de estos medidores es de aproximadamente \$2.000.000

Los medidores mecánicos son medidores compuestos por una turbina en su interior, a través de la cual fluye el fluido que la hace girar, determinando la velocidad del flujo e indirectamente el caudal que es registrado mecánicamente como el volumen total de agua que atraviesa el medidor. Este tipo de medidores provocan pequeñas pérdidas de carga en la tubería y pueden presentar problemas ante la presencia de sólidos en suspensión, sin embargo es la alternativa más económica y tienen una exactitud razonable. El precio de referencia de estos medidores es de aproximadamente \$200.000

Debido a la baja conductividad del agua a medir, no se recomienda para esta aplicación la utilización de medidores electromagnéticos. Además, debido al bajo costo asociado a la intervención de estas líneas, no se recomienda la instalación de medidores ultrasónicos debido a su alto costo. Se recomienda la instalación de medidores mecánicos debidos a su precisión razonable y su bajo costo. Un medidor electromagnético solo podría recomendarse para la línea de RILes.

Se realizó una cotización para este tipo de medidores, donde se obtuvo un valor unitario en planta de aproximadamente \$170.000, lo que suma un total de \$1.530.000 para los 9 macromedidores propuestos según la Figura 14. En caso de utilizar un medidor electromagnético para la línea de RILes, el valor ascendería aproximadamente a \$3.000.000.

1.2 Aumentar la capacidad de autonomía a partir del agua de mar:

Para solucionar el problema de la costosa compra de agua desalada, consecuente de la baja autonomía de la planta para abastecerse de agua de mar, se propone construir un estanque de acumulación de agua de mar con una capacidad de 500 [m³]. Este estanque funcionaría como backup en caso de detención de la planta de osmosis inversa, añadiendo poco más de 6 días de autonomía a la planta, alcanzando en total cerca de 7 días de autonomía. Esto permitiría a Planta Prillex funcionar por hasta 7 días sin la necesidad de la operación de la planta de osmosis inversa en caso de una detención de esta, utilizando agua previamente desalinizada por la misma planta de osmosis.

La construcción del estanque representa un costo de inversión inicial y una recuperación de esta a lo largo del tiempo a medida que se va reemplazando el costo de agua desalada comprada por el costo de desalinización de esa misma agua. Para estudiar la factibilidad económica de

esta propuesta de forma sencilla, se debe obtener el costo de inversión y el tiempo de recuperación de esta según el ahorro anual producido por el reemplazo en la fuente de obtención del agua.

1.2.1 Inversión

Para obtener el costo de inversión de esta propuesta se debe estudiar el posible estanque en cuestión, donde las dimensiones y características para un estanque de este tipo se obtienen de la base de datos de estanques de agua de la superintendencia de servicios sanitarios. Se encuentran los planos con información respectiva a un estanque semienterrado de 500m³, el cual cumple con las necesidades de nuestro proyecto. Los planos del estanque tipo se encuentran en la página “<http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-12170.html>”, y sus dimensiones y especificaciones se adjuntan en el ANEXO E.

Los costos más importantes de la inversión corresponden en primer lugar a la excavación, cuyo costo depende del volumen de excavado y las condiciones del terreno. Para un estanque semienterrado de estas características se considerará un volumen de excavado de 600m³, donde el valor del metro cúbico excavado para un terreno promedio incluyendo la maquinaria, mano de obra, herramientas y el transporte del material excedente alcanza los 15.000 \$/m³, totalizando un valor de \$9.000.000 para este ítem.

Otro costo a considerar en la construcción del estanque es la impermeabilización de este, cuyo valor aproximado es de 6.000 \$/m², que para los 450 m² a impermeabilizar totalizan un valor de \$3.000.000.

El costo más importante de la inversión es la construcción del estanque, cuyo costo depende principalmente del volumen de concreto utilizado, el tipo de hormigón, el estucado, el emplantillado, y elementos adicionales como la escotilla, la escala de bajada, las barbacanas de desagüe etc. El costo del estanque instalado se puede aproximar según su parámetro más importante que es el volumen de concreto utilizado, cuyo valor es de aproximadamente 800.000 \$/m³, totalizando un valor de \$75.000.000.

El costo total de la construcción del estanque alcanza los \$87.000.000, valor al que por términos de estudio se le añadirá un factor de seguridad del 20% por posibles diferencias entre las condiciones de la propuesta y reales, obteniendo un valor más conservador de aproximadamente \$105.000.000.

1.2.2 Recuperación de la inversión y ahorro futuro

Se espera que con la nueva autonomía de 7 días seguidos usando agua de mar acumulada, no sea necesaria la compra de agua desalada, por lo que se evitaría el gasto de los aproximadamente \$44.000.000 que se gastan anualmente en este tipo de agua. Sin embargo, esta agua deberá ser producida por la planta de osmosis, aumentando el costo de operación y asumiendo un aumento de fallas, de mantenimiento también. El costo del metro cúbico de agua producida a partir de la planta de osmosis es de aproximadamente \$1.000, por lo que un aumento en la producción de 6.000 metros cúbicos implicaría un aumento aproximado de \$6.000.000, lo que restado a los \$44.000.000 que se dejarían de gastar en la compra de agua desalada, dan como resultado un ahorro anual de aproximadamente \$38.000.000.

Se puede concluir de esta propuesta, que a partir de la puesta en funcionamiento del estanque de backup, se recuperará la inversión al cabo de 3 años de operación, produciendo a partir del tercer año, una disminución de aproximadamente \$40.000.000 en costo de agua, además, de entregarle una mayor independencia a Planta Prillex, evitando la compra de agua desalada a terceros.

1.3 Implementación de un sistema integrado y coordinado de la gestión del agua:

Para evitar confusiones y discrepancias en la información existente respecto al consumo de agua, se debe diseñar un sistema integrado y coordinado de la gestión de este recurso, así los distintos departamentos tendrán sus propias responsabilidades en la declaración de información, teniendo además en todo momento acceso a la información que aporten los otros departamentos.

El sistema propuesto, utiliza una plataforma cooperativa, donde cada departamento va subiendo la información según sus responsabilidades. La información necesaria para tener un correcto control es la siguiente.

1.3.1 Compras

En este ítem se deben adjuntar todos los documentos que hagan referencia a las compras del agua, como también del transporte de esta. Estos documentos corresponden a los respaldos de las solicitudes tanto de compra de agua como de transporte, junto a sus correspondientes órdenes de compra, las guías de despacho emitidas por el proveedor, las actas de acuso de recibo del agua en la planta, las facturas tanto del agua como del transporte y sus respectivas órdenes de pago. El objetivo de este ítem es tener un registro exacto de la cantidad de agua solicitada, transportada, recibida y efectivamente facturada, pudiendo detectar problemas en la cadena de suministros e incluso administrativos y/o contables.

1.3.2 Consumos y descartes

En este ítem se debe adjuntar toda la información respectiva al movimiento del agua dentro de la planta, es decir, el detalle del agua que ingresa, su consumo y los descartes. Considerando que se puso en práctica la propuesta de solución 1.1., en este ítem se debe adjuntar toda la información recolectada por los distintos medidores existentes, pudiendo obtener los ingresos a partir de las compras y el medidor de la planta de osmosis inversa, los consumos a partir de los medidores ubicados en las distintas líneas y unidades que cuentan con estos equipos y el volumen de descartes a partir de los caudalímetros destinados para este fin. El objetivo de este ítem es poder monitorear el uso de agua en la planta, pudiendo obtener tendencias y detectar anomalías, ineficiencias e incluso malas prácticas.

2. Planta Río Loa

2.1 Renegociación del contrato de suministro de agua industrial:

Uno de los hallazgos más importantes en Planta Río Loa, es la existencia de un contrato por el suministro de agua industrial que conlleva un gran costo para la planta debido a condiciones que no son favorables para esta. Por esta razón, se propone realizar una renegociación de este contrato bajo condiciones más justas para la compañía, pudiendo significar un gran ahorro a corto plazo.

El alto costo de este suministro se debe en primer lugar al alto costo unitario del agua que corresponde a 0,15 UF/m³ y 0,165 UF/m³ en el caso del sobreconsumo, sin embargo, la condición más desfavorable del contrato que conlleva al alto costo para la planta es el volumen mínimo de facturación, ya que se factura mensualmente un consumo de 5.000 m³ aun cuando en promedio se usa apenas un 65% de ese volumen. Por esta razón, se propone renegociar el volumen mínimo de facturación, analizando los distintos casos posibles, incluso aumentando el precio unitario del metro cúbico de agua.

En el Anexo F, se adjuntan tres gráficos comparativos entre los consumos mensuales de agua industrial durante el año 2018 y el volumen mínimo de facturación según 3 posibles propuestas, con tal de poder observar de qué manera se relaciona el valor del volumen mínimo de facturación con el valor del volumen efectivamente consumido.

Para analizar las posibles propuestas de renegociación, se analizarán los valores de facturación para el año 2018 según distintos valores de volumen mínimo de facturación y su consecuente ahorro comparando la facturación actual. Se considerará el costo de sobreconsumo a partir del volumen mínimo de facturación con tal de disminuir las posibles variables de análisis, además de obtener un valor más conservador, además se considerará un posible aumento del precio del metro cúbico de agua y de sobreconsumo para analizar una mayor cantidad de alternativas.

A continuación, se presenta una tabla con los valores de facturación y su consecuente ahorro para volúmenes mínimos de facturación desde el valor actual de 5.000 [m³] hasta 2.000 [m³].

Tabla 21: Costo y ahorro anual para distintos volúmenes mínimos de facturación

Volumen mínimo de facturación	Costo anual	Ahorro
5.000 [m ³]	\$245.250.000	\$0
4.500 [m ³]	\$221.741.153	\$23.508.848
4.000 [m ³]	\$199.464.278	\$45.785.723
3.500 [m ³]	\$180.502.673	\$64.747.328
3.000 [m ³]	\$169.370.468	\$75.879.533
2.500 [m ³]	\$165.195.495	\$80.054.505
2.000 [m ³]	\$166.060.819	\$79.189.181

Se puede observar, que a menor volumen mínimo de facturación, existe un mayor ahorro en comparación al límite actual, siendo el límite de 2.500 el que ofrece el mayor ahorro, ya que de esa manera se asegura pagar por el volumen efectivamente consumido y al menor costo. Sin embargo, en la renegociación se debe llegar a un acuerdo entre ambas partes, por lo que a continuación se presentan las mismas alternativas anteriores, pero aumentando el precio hasta

un 25%. De esta forma, poder entender las distintas posibilidades que permitan un ahorro para la planta y en qué medida.

Tabla 22: Ahorro anual para distintos volúmenes mínimos de facturación y aumento de precio del agua

Mínimo facturación /Precio	0%	5%	10%	15%	20%	25%
4.500 [m3]	\$23.508.848	\$12.421.790	\$1.334.732	(\$9.752.325)	(\$20.839.383)	(\$31.926.441)
4.000 [m3]	\$45.785.723	\$35.811.519	\$25.839.295	\$15.861.135	\$5.892.867	(\$4.080.347)
3.500 [m3]	\$64.747.328	\$55.721.632	\$46.701.260	\$37.664.915	\$28.655.193	\$19.632.159
3.000 [m3]	\$75.879.533	\$67.404.276	\$58.942.486	\$50.440.295	\$42.005.439	\$33.536.916
2.500 [m3]	\$80.054.505	\$71.794.730	\$63.534.956	\$55.275.181	\$47.015.406	\$38.755.631
2.000 [m3]	\$79.189.181	\$70.886.140	\$62.583.099	\$54.280.058	\$45.977.018	\$37.673.976

Se puede observar que una gran cantidad de alternativas conllevan ahorro para la planta, donde la más favorable logra un ahorro de \$80.000.000, es decir, de más del 30% del costo actual de este suministro. Por esta razón, no es difícil pensar que se pueda llegar a un acuerdo entre las partes que signifiquen un ahorro para la planta de al menos el 20% del costo actual del suministro.

2.2 Evaluación de la dispensabilidad del uso de agua cruda e implementación de alternativas:

El alto costo del agua en planta Río Loa se debe al alto costo del suministro de agua cruda para uso industrial, agua con menor nivel de sales que el agua potable utilizada para los procesos industriales. Para reducir los costos se propone evaluar la posibilidad de dispensar de la compra de agua cruda y reemplazar este suministro por dos alternativas.

2.2.1 Decloración del agua potable:

La primera opción es aumentar el suministro de agua potable comprada y eliminar el cloro añadido en el proceso de potabilización, que es uno de los principales agentes que impiden su uso en ciertos procesos industriales. Durante el año 2018 el mayor consumo de agua potable mensual corresponde a 8.000 m3, mientras que el mayor consumo de agua cruda mensual corresponde a 4.500 m3, sumando un total de 12.500 m3. El límite de suministro de agua potable por parte de Aguas Antofagasta es de aproximadamente 10.500 m3 mensuales, por lo que en primer lugar se debiera negociar el aumento de este límite como mínimo en unos 2.000 m3 mensuales e idealmente en unos 3.000 m3 mensuales para poder garantizar el suministro total de agua para la planta. En segundo lugar, se deberá invertir en una planta de osmosis inversa con filtros de carbón activado que puedan eliminar el cloro del agua potable para permitir su uso industrial. Dependiendo las condiciones del contrato negociado con Aguas Antofagasta se podrá determinar el ahorro generado por esta solución una vez recuperada la inversión, pero asumiendo un costo de agua según el costo de sobre consumo actual y estimando conservadoramente un recargo de \$500 por metro cúbico de agua por el proceso de decloración, se reduce el costo unitario promedio del metro cúbico de agua industrial de \$6.300

a \$2.500, es decir, en más de un 50% correspondiente a un ahorro aproximado de \$12.750.000 mensuales y \$150.000.000 anuales.

2.2.2 Extracción de agua a partir del Río Loa:

Actualmente Planta Río Loa colinda directamente con el Río Loa y tiene derechos consuntivos de extracción de agua equivalentes a 6 Litros por segundo, es decir, más de 500 m³ diarios que corresponden a 4 veces el consumo promedio mensual de agua cruda y a 3 veces el consumo máximo mensual de agua cruda durante el año 2018, por lo que en cuanto a capacidad es una opción totalmente factible. Para esto, se deberá invertir en la infraestructura necesaria, que corresponde a las bombas de extracción de agua, filtros para poder eliminar material particulado no deseado, tuberías para su distribución dentro de la planta y una planta de osmosis inversa para poder eliminar las sales disueltas y así poder obtener agua baja en sales que sea propicia para el uso industrial. Considerando que el costo del agua de esta alternativa sería conservadoramente hablando de unos \$1.000 por metro cúbico, el ahorro sobre el ahorro de la solución 2.2.1 es de aproximadamente \$7.000.000 anuales, sin embargo esta solución implica depender de una fuente propia, por lo que se recomendaría instalar un estanque de acumulación de agua que permita almacenar agua de producción por al menos 5 días de operación, es decir, de 500 [m³]. El costo de este estanque es aproximado al recomendado en planta Prillex, cuyo costo es de aproximadamente \$105.000.000, por lo que para el ahorro de \$7.000.000, la inversión se recuperaría en más de 10 años. Por esta razón, se recomienda implementar la solución 2.2.1 antes que la 2.2.2.

Para cualquiera de las dos opciones anteriores, se estima un costo máximo de \$50.000.000 de inversión para la planta de osmosis inversa con al menos 7m³/h de capacidad, las bombas de impulsión y las obras civiles, valor que será utilizado para evaluar económicamente la solución 2.2.1.

2.3 Evaluación del uso de agua en CCR R. Tomic y delegación de responsabilidad hídrica:

El suministro de agua potable del Centro de Capacitación y Recreación Radomiro Tomic es parte del suministro interno de Planta Río Loa y por ende facturado y declarado como parte de esta, aun cuando este complejo se ubica fuera de la planta y es operado por un tercero. Los hallazgos indican que existe un alto consumo de agua en este complejo y además, que dicho consumo no corresponde ser facturado y considerado dentro de los consumos de la planta, por lo cual se proponen dos posibles soluciones a este problema, siendo la primera una solución parcial y la segunda una solución completa.

En primer lugar, como el complejo no es operado por Enaex, es difícil poder realizar cambios al interior de este, por lo cual la propuesta considera realizar una solicitud por parte de Enaex a la administración del complejo para poder monitorear y controlar los consumos internos del complejo, pudiendo comprender así las razones del alto consumo o encontrando problemas de ineficiencia y/o malas prácticas al interior del complejo. De esta manera se podrá justificar o no el consumo, pudiendo conversar justificadamente con la administración del complejo y pudiendo llegar a un acuerdo entre las partes que pueda beneficiar a Planta Río Loa.

En segundo lugar, esta propuesta considera la liberación total de la responsabilidad hídrica de Enaex sobre el complejo. Esto significaría realizar una conexión del suministro de agua potable de forma externa según una solicitud de factibilidad a Aguas Antofagasta, con tal de incorporar

al complejo a la red como un nuevo cliente de la empresa de servicios sanitarios, cuya facturación se haría directamente a la administración del complejo.

2.4 Estudio sobre los riesgos del uso de agua a partir de los ríos Loa y Siloli:

Estos dos ríos son la principal fuente de abastecimiento de agua para la planta, sin embargo, estos representan un riesgo sobre suministro normal de agua a esta. Por esta razón, se propone realizar los siguientes estudios que permitan reconocer el riesgo real para la planta, permitiendo tomar medidas de mitigación.

2.4.1 Río Siloli:

Este río está sometido a una disputa política sobre su soberanía, por lo cual, un fallo a favor de Bolivia en el tribunal internacional de justicia puede tener consecuencias negativas para el actual suministro de agua industrial de la planta. Se propone realizar un seguimiento al estado de la demanda internacional, cuyo objetivo es conocer en todo momento la probabilidad de un fallo a favor de Bolivia que implique consecuencias negativas para la compañía, además de conocer las consecuencias exactas y estudiar posibles medidas de mitigación, como por ejemplo, la búsqueda otra fuente de agua industrial.

2.4.2 Río Loa:

El normal comportamiento de este río se ve considerablemente alterado por factores climáticos, lo que repercute en problemas de la calidad, intermitencia e incluso cortes prolongados del suministro de agua potable a la compañía. Se propone realizar un análisis sobre las tendencias en los últimos años de los problemas del suministro, como también comenzar a realizar un seguimiento de estos, pudiendo así realizar una estimación a futuro de las posibles consecuencias que este problema pueda tener sobre la planta. A partir de este análisis, se pueden estudiar distintas medidas de mitigación, como por ejemplo, la adquisición o construcción de un estanque de acumulación.

3. Planta Punta Teatinos

3.1 Aumento del aprovechamiento del pozo profundo:

La salinidad del agua de pozo profundo es la principal razón por la cual se debe comprar agua potable a proveedores externos, incluso cuando el pozo tiene la capacidad suficiente para abastecer a la planta en su totalidad e incluso se tengan los derechos de agua necesarios para tal caso. Esta agua de pozo es de tipo salobre, por lo cual se recomienda la instalación de una planta de osmosis inversa para agua salobre que pueda desalinizarla y así poder ser usada para todo tipo de uso industrial, y de ser necesario potabilizarla para ser utilizada para todo tipo de uso de servicios. Actualmente, el 35% del total de agua consumida en la planta es obtenida a partir del pozo profundo, con un valor de captación aproximado de \$500 por m³ de agua. El otro 65% del agua es comprada a un valor de \$6.250 por m³ de agua, la cual podrá ser obtenida a partir del pozo profundo una vez instalada la planta de osmosis inversa, cuyo costo de obtención dependerá del costo de extracción más el costo de desalinización estimado en \$1.000 por m³ de agua. Esto significará un ahorro de \$5.250 por m³ de agua una vez recuperada la inversión, lo que significa un ahorro mensual aproximado de \$2.500.000 y anual de \$30.000.000.

3.1.1 Inversión

Se realizó una cotización por la implementación de un sistema de tratamiento del agua de pozo profundo y potabilización que contempla un pretratamiento con filtros de profundidad, carbón activado, equipo de ablandadores y un equipo de osmosis inversa con capacidad de permeado de 1 m³/h, permitiendo una producción anual de más de 8.000m³ de agua desmineralizada. El costo de todo este sistema instalado en planta es de aproximadamente \$9.000.000. Se realizó además una cotización por las obras civiles y construcción de una caseta para poder ubicar este sistema, cuyo valor es de aproximadamente \$2.000.000, alcanzando un costo de inversión final de \$11.000.000 para poder implementar el sistema de osmosis inversa que permita dispensar de la compra de agua potable a proveedores.

3.2 Implementación de caudalímetros para el control del uso de agua en la planta:

La estimación del consumo de agua para producción en Punta Teatinos es muy elevada para el tamaño y nivel productivo de la planta, lo que sumado al muy bajo nivel de descartes declarados indican que las estimaciones realizadas se encuentran muy lejos del valor verdadero. Al igual que para planta Prillex, se propone instalar caudalímetros mecánicos para poder medir de manera exacta el consumo de agua en la planta. Se propone instalar 5 de estos macromedidores, ubicados en el pozo profundo, en el ingreso de agua potable, en la línea de producción, en la línea de agua de servicios y en la línea de RILes; alcanzado un costo aproximado de \$1.000.000 para poder controlar y monitorear el uso y consumo de agua en la planta. Esto permitirá conocer los valores reales de consumo e identificar posibles pérdidas e ineficiencias en las distintas líneas y/o sistemas de la planta.

3.3 Estudio del consumo de agua por producción:

Además de la solución propuesta anteriormente para controlar los consumos y usos de agua en la planta, se propone estudiar el consumo de agua en los procesos productivos de la planta, ya que la incongruente relación entre su consumo de agua y la generación de RILes indican una falta de conocimiento de sus procesos productivos y consecuente uso del agua.

5. Valorización económica de las soluciones de inversión

Se realizó una serie de soluciones y recomendaciones a las distintas problemáticas de la compañía en materia hídrica, donde muchas de estas conllevan inversiones para poder mejorar la gestión del agua en la compañía, donde muchas de estas tienen como resultado positivo para la empresa una reducción en el costo de este recurso. A continuación, se presenta un análisis económico, reflejado en un flujo de caja para poder analizar la factibilidad económica de estas soluciones y poder conocer además, que tan atractivas pueden ser en el ámbito económico.

Para esta evaluación económica se consideró una tasa de descuento de un 8% y un horizonte de evaluación de 5 años, donde en el año cero se realizan las inversiones y durante los cinco años siguientes se recupera la inversión a través del ahorro generado por las distintas iniciativas.

Flujo de Caja	Valor Presente	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (Ahorros estimados)	870.410.788	0	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000
Estanque Prillex	151.722.981	0	38.000.000	38.000.000	38.000.000	38.000.000	38.000.000
Planta de osmosis Río Loa	598.906.506	0	150.000.000	150.000.000	150.000.000	150.000.000	150.000.000
Planta de osmosis Punta Teatinos	119.781.301	0	30.000.000	30.000.000	30.000.000	30.000.000	30.000.000
Egresos (Inversiones)	(168.530.000)	(168.530.000)	0	0	0	0	0
Estanque Prillex	(105.000.000)	(105.000.000)	0	0	0	0	0
Planta de osmosis Río Loa	(50.000.000)	(50.000.000)	0	0	0	0	0
Planta de osmosis Punta Teatinos	(11.000.000)	(11.000.000)	0	0	0	0	0
Medidores Planta Prillex	(1.530.000)	(1.530.000)	0	0	0	0	0
Medidores Punta Teatinos	(1.000.000)	(1.000.000)	0	0	0	0	0
Utilidad	701.880.788	(168.530.000)	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000
Utilidad Bruta Acumulada		(168.530.000)	49.470.000	267.470.000	485.470.000	703.470.000	921.470.000

Figura 15: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas en tamaño pequeño

Se puede observar del flujo de caja, que la implementación de estas soluciones es económicamente muy atractiva, ya que para un horizonte de evaluación de 5 años produce un VAN de \$700.000.000, que es aproximadamente 1MMUSD y la inversión es recuperada al primer año. Además, genera una TIR de 127% que es 15 veces superior a la tasa de descuento utilizada para la evaluación. A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales indicadores de evaluación económica de proyectos.

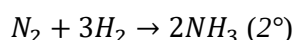
Tabla 23: Indicadores de evaluación de proyectos

Indicador	Valor
VAN	\$700.000.000
TIR	127%
Payback	1

VIII. Uso de Hidrógeno en la producción de Amoníaco

El amoníaco anhidro (NH_3) es actualmente el segundo mayor compuesto químico sintético producido a nivel mundial, por detrás del ácido sulfúrico. Este compuesto es utilizado para la producción de nitritos y nitratos como lo son el ácido nítrico y el nitrato de amonio, este último principalmente utilizado como fertilizante pero también de mucha relevancia en la elaboración de explosivos. (Armijo & Philibert, 2019)

La importancia que tiene el amoníaco para la industria agrícola y alimenticia, pero sobre todo la tensión previa a la primera guerra mundial durante los inicios del siglo XX, fueron la principal motivación de los químicos alemanes Fritz Haber y Carl Bosch para la búsqueda de un método que permitiera sintetizar el amoníaco a partir del hidrógeno y el nitrógeno molecular del aire, utilizándolo como un compuesto artificial en reemplazo del salitre para la elaboración de fertilizantes y explosivos. Para la fabricación del amoníaco se requiere una fuente de nitrógeno (N) y otra de hidrógeno (H), cuya reacción de síntesis a partir del proceso de Haber-Bosch se presenta a continuación.



El nitrógeno es obtenido del aire a partir de la destilación de aire líquido o de un proceso oxidativo donde el aire es quemado y el nitrógeno residual es recuperado. El hidrógeno es obtenido principalmente a partir de gas natural, como lo es el metano (CH_4), pero puede ser obtenido también a partir de otros hidrocarburos como el carbón y el petróleo. El hidrógeno obtenido para la producción del amoníaco a partir de los hidrocarburos provoca anualmente una emisión de 420 millones de toneladas de CO_2 equivalente, lo que representa a más del 1% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global. Además, esta producción representa aproximadamente al 2% de la demanda de energía primaria a nivel global. (Armijo & Philibert, 2019)

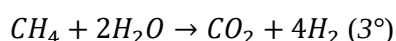
Actualmente se compran y consumen más 300.000 toneladas anuales de amoníaco anhidro en Planta Prillex para ser utilizados en la producción de ácido nítrico y de nitrato de amonio. El amoníaco utilizado actualmente en Planta Prillex es producido en el extranjero a partir de hidrocarburos, lo cual lo hace un proceso altamente contaminante, de hecho, 650.000 toneladas de CO_2 equivalente son emitidas al ambiente durante el proceso de elaboración del amoníaco utilizado en la planta, lo que corresponde a más del 60% de la huella de carbono corporativa de Enaex.

Nuevas tecnologías permiten obtener el hidrógeno a partir del agua mediante un proceso de electrólisis, lo que lo hace un proceso mucho más limpio para el medio ambiente, siendo la elaboración de amoníaco a partir del agua una gran oportunidad para la descarbonización. Además, Chile tiene un tremendo potencial para la generación de energías renovables, lo que permitiría producir un amoníaco limpio que pueda ser utilizado dentro del país como fertilizantes en la industria agrícola, como explosivos en la industria minera, o también para poder ser exportado como una fuente de almacenamiento de energía renovable, ya que el costo del transporte y el almacenamiento del amoníaco es mucho menor que el del hidrógeno o la misma energía eléctrica. (Armijo & Philibert, 2019)

A continuación, se presentan las dos formas de obtención de hidrógeno para la producción de amoníaco, el proceso a partir de hidrocarburos y el proceso a partir de agua.

1. Producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos

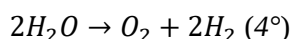
El proceso de producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos es el más común en la industria, cuya química es similar independiente del hidrocarburo utilizado, ya sea mediante gas natural u otro combustible fósil. Dentro de los hidrocarburos, el más usado en la industria para la elaboración del amoníaco es el gas natural o metano, como por ejemplo para la elaboración del amoníaco utilizado en Planta Prillex. El método de obtención del hidrógeno a partir de hidrocarburos se realiza a partir de un proceso de reformado con vapor, cuya reacción química para el metano se presenta a continuación. (Eggleston, Buendia, Miwa, Todd, & Kiyoto, 2006)



Como se mencionó anteriormente y se puede observar en la reacción, este proceso además de producir hidrogeno produce CO₂, siendo un proceso que contribuye de forma directa y en gran medida al calentamiento global.

2. Producción de hidrógeno a partir de agua

La producción de hidrógeno a partir de agua se realiza bajo el principio de la electrólisis, es decir, mediante la aplicación de una corriente eléctrica sobre un cuerpo de agua, separando las moléculas de H₂O en H₂ y O₂. Este proceso es mucho más limpio que el anterior, al no producir emisiones de CO₂. Este proceso se realiza en un equipo electrolizador, donde los dos insumos necesarios son el agua y la energía eléctrica necesaria para poder realizar el proceso de electrólisis, cuya reacción química se presenta a continuación.



Esta tecnología tiene un tremendo potencial y es una gran apuesta debido a la posibilidad de utilizar energías renovables para la alimentación del electrolizador, y así poder producir un hidrógeno limpio y a su vez un amoníaco 100% verde. Este amoníaco verde, puede ser utilizado en la producción de químicos, como es el caso del nitrato de amonio, cuya elaboración no produciría emisiones de CO₂ en toda su cadena productiva. Por otro lado, el amoníaco es el principal compuesto portador de hidrógeno, el cual además evita las principales dificultades y costos de almacenamiento y transporte del H₂ gaseoso, pudiendo transformarse en un tremendo facilitador para el almacenamiento, transporte y uso de energías renovables gracias a la característica de este compuesto de poder ser combustionado con aire para proporcionar energía. Actualmente, se está investigando la forma de combustionar óptima y eficientemente el amoníaco en turbinas de gas o co-combustión con gas o carbón en plantas de vapor existentes, donde los dos principales desafíos son sobrellevar la baja inflamabilidad y asegurar las emisiones de NO_x bajo estándares aceptables.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo de la producción de nitrato de amonio en la planta de Cachimayo ubicada en la localidad de Cuzco en Perú, la cual es propiedad de Enaex desde mayo de 2018.

Proceso de producción de Nitrato de Amonio en Planta Cachimayo Diagrama de Flujo

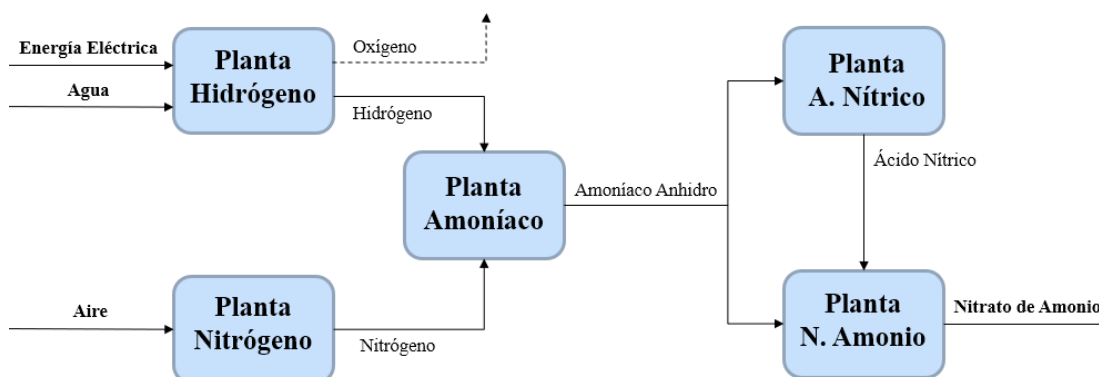


Figura 16: Diagrama del Flujo de producción de Nitrato de Amonio en Planta Cachimayo

En Planta Cachimayo, se produce nitrato de amonio al igual que en Planta Prillex, salvo por la particularidad de que en esta planta el amoníaco utilizado para la producción del nitrato de amonio no es importado y producido a partir de hidrocarburos, sino que, producido en la misma planta a partir electricidad y agua, siendo un nitrato de amonio mucho más limpio.

El amoníaco anhidro es producido en la planta de amoníaco, en donde se sintetiza este compuesto a partir del hidrógeno y el nitrógeno según el proceso de Haber-Bosch. El nitrógeno es producido en la planta de nitrógeno, la cual consiste básicamente en una unidad de separación de aire. El hidrógeno es producido en la planta de hidrógeno, la que consiste en un electrolizador y es aquí donde el agua es sometida a un proceso de electrólisis a partir del suministro de energía eléctrica.

Por otro lado, el oxígeno resultante de la electrólisis es capturado y almacenado en tanques, el cual es aprovechado para ser utilizado en otros procesos industriales. Debido a las características químicas de los procesos productivos de Enaex, el oxígeno no cumple un rol importante en estos, por lo cual, este oxígeno es vendido a otras industrias.

IX. Conclusiones

Una vez finalizado este trabajo, se puede concluir que las plantas productivas de Enaex en estudio tienen grandes problemas de gestión en materia hídrica, ya que no existe un control riguroso de la obtención, el consumo ni de su disposición final.

Cada planta tiene sus propios problemas que fueron identificados con tal de proponer mejoras, y se descubrió que existen grandes oportunidades para poder mejorar la gestión del agua en estas plantas, pudiendo obtener beneficios económicos en el corto y largo plazo.

En el caso de Planta Prillex, se determinó que es una planta con un muy bajo control del agua y con mucho potencial para la obtención de este recurso a partir del mar, donde actualmente cerca del 80% del agua es obtenida a partir de esta fuente, lo que representa sin embargo apenas un 30% del costo. Esto se debe a que la planta de osmosis inversa que desaliniza el agua proveniente del mar sufre reiteradas fallas que impiden su normal funcionamiento, y al no existir estanques de acumulación se deba comprar agua a proveedores con un costo casi 8 veces mayor. Se propone la instalación de macromedidores en distintos puntos de las líneas para poder controlar mejor el consumo y poder descubrir ciertas pérdidas o fugas de agua, como también la construcción de un estanque de acumulación de 500[m3], inversión que es recuperada en menos de 3 años y generando un ahorro de casi \$40.000.000 anuales.

En el caso de Planta Río Loa, se determinó que es una planta que tiene un muy alto consumo de agua, y parte de esta es comprada a un muy alto costo debido a un contrato existente bajo condiciones muy desfavorables para la planta. Se recomienda a corto plazo la renegociación de este contrato, pudiendo generar ahorros de hasta \$80.000.000 anuales en el caso más favorable. Por otro lado, esta agua de alto costo es totalmente dispensable, pudiendo ser reemplazadas en el mediano plazo por otras alternativas, recomendándose en primera opción la implementación de una planta de osmosis para poder obtener agua de condiciones similares a partir del agua potable, donde la inversión es recuperada en menos de un año generando ahorros para la planta de hasta \$150.000.000 anuales.

Planta Punta Teatinos es la planta que tiene el menor consumo de agua de las tres y tiene la capacidad de obtener agua a partir de un pozo profundo con un costo mucho menor a cualquier otra fuente de obtención, sin embargo este pozo profundo no es completamente aprovechado y por ende gran parte del agua es comprada a proveedores externos con un costo mucho mayor al de las otras dos plantas. Esta planta tiene un potencial muy grande de obtención de agua a partir de su pozo profundo, por lo que se recomienda la instalación de una planta de osmosis inversa que pueda desalinizar y potabilizar el agua proveniente de este para poder obtener toda su agua de esta fuente, inversión que es recuperada en menos de un año y generando ahorros de hasta \$30.000.000 anuales.

Se propuso una serie de soluciones para estas tres plantas, donde la implementación de infraestructura y políticas de control cumplen un gran rol, ya que la base de cualquier plan para la mejora en la gestión comienza con conocer el estado real de la obtención, el consumo y la disposición del agua en las plantas. Las inversiones corresponden a una gran oportunidad para generar ahorros económicos, donde la evaluación económica de estas da a conocer el impacto

positivo que estas tienen, pudiendo ahorrar hasta 1MM USD en obtención de agua en tan solo 5 años.

En el contexto del uso sostenible del agua en la compañía, existen otras formas de utilización del agua que pueden hacer que ciertos procesos sean más eficientes y sostenibles con el medio ambiente, como lo es para Enaex la producción de amoníaco a partir de hidrógeno, materia prima para la producción de nitrato de amonio y posteriormente explosivos. El hidrógeno es obtenido del agua a partir de un proceso de electrólisis, donde además se obtiene oxígeno que puede ser capturado, almacenado y vendido para su utilización en procesos productivos de otras industrias. Potencial comprador para este oxígeno es la industria minera, específicamente en los procesos de fundición, donde el oxígeno proveniente de otros procesos industriales cumple un rol fundamental para el enriquecimiento del aire, cuyo objetivo es el aumento de la eficiencia en los procesos de fundición.

Se concluye finalmente, que mediante la producción de amoníaco a partir de hidrógeno obtenido del agua Enaex podría dejar de emitir 650.000 toneladas anuales de CO2 equivalente de las cerca de 1.000.000 que se emiten en la actualidad, reduciendo su huella de carbono corporativa en más de un 60%.

Referencias

- Armijo, J., & Philibert, C. (2019). *Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy. Case study of Chile and Argentina*. (May). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36547.66081>
- Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua*. Retrieved from <http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Todd, N., & Kiyoto, T. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1–110. Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_3_Ch3_Chemical_Industry.pdf
- Enaex. (2016). Enaex. Retrieved October 2, 2018, from <https://www.enaex.com/>
- Gobierno de Chile. (2013). *Estrategia nacional de recursos hídricos*. 40. Retrieved from http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
- OECD. (2015). Environment at a glance 2015 - OECD Indicators. In *OECD Publishing*.
- The USGS Water Science School. (n.d.). Water properties: The water in you. Retrieved October 2, 2018, from <https://water.usgs.gov/edu/propertyyou.html>
- The World Bank. (2014). Renewable internal freshwater resources per capita. Retrieved October 2, 2018, from <https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.intr.pc?end=2014&start=1962&type=shaded&view=chart>
- World Resources Institute. (2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. Retrieved October 2, 2018, from <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040>

Anexos

Anexo A: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Prillex

Consumo y costo de agua según fuente – Planta Prillex América

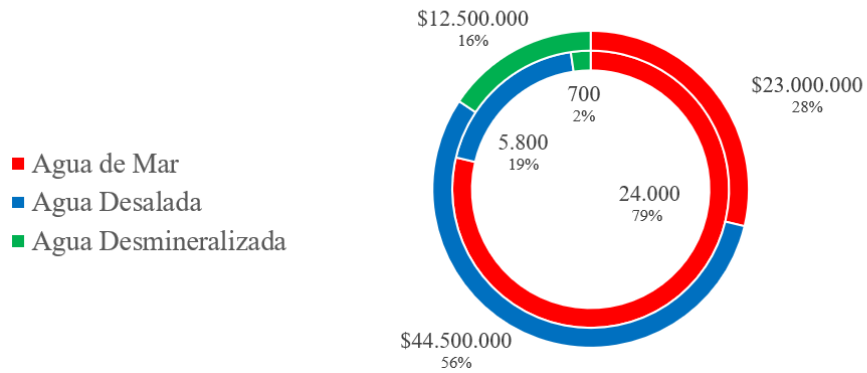


Figura 17: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Prillex América

Consumo y costo de agua según uso – Planta Prillex América

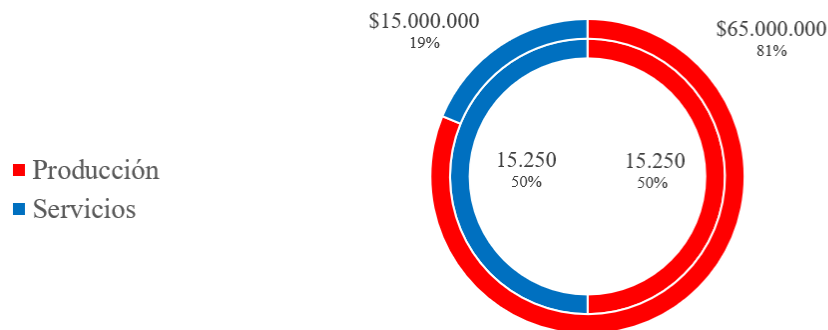


Figura 18: Consumo y costo de agua según uso en Planta Prillex América

Tabla 24: Resumen de consumo de agua según fuente y tipo de uso en Planta Prillex

Detalle		Consumo	Costo	\$/m3
Fuente	Agua desde Mar	24.000	\$23.000.000	\$1.000
	Agua Desalada	5.800	\$44.500.000	\$8.000
	Agua Desmineralizada	700	\$12.500.000	\$18.000
Uso	Agua para Producción	15.250	\$65.000.000	\$4.000
	Agua para Servicios	15.250	\$15.000.000	\$1.000
Total	Costo Total	30.000	\$80.000.000	\$2.500

Anexo B: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Río Loa

Consumo y costo de agua según fuente – Planta Río Loa

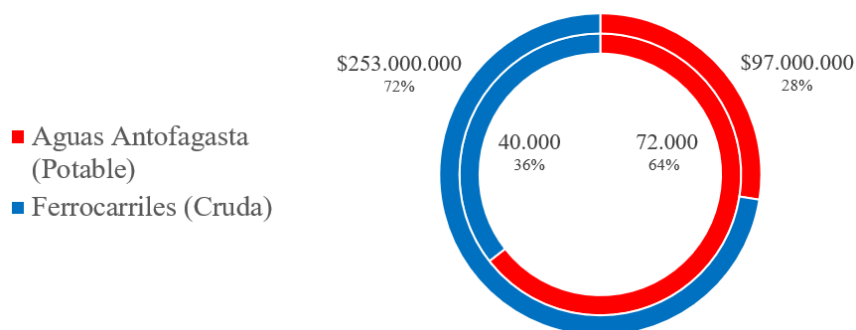


Figura 19: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Río Loa

Consumo y costo de agua según uso – Planta Río Loa

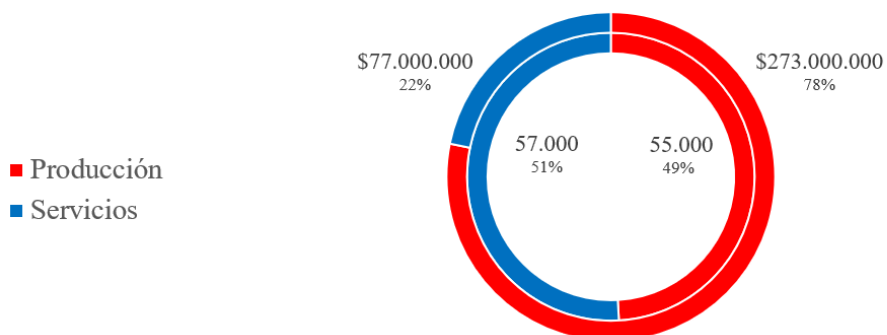


Figura 20: Consumo y costo de agua según uso en Planta Río Loa

Tabla 25: Resumen de consumo y costo de agua según fuente y tipo de consumo en Planta Río Loa

Detalle		Consumo	Costo	\$/m3
Fuente	Aguas Antofagasta (Potable)	72.000	\$97.000.000	\$1.350
	Ferrocarriles (Cruda)	40.000	\$253.000.000	\$6.300
Uso	Agua para Producción	55.000	\$273.000.000	\$5.000
	Agua para Servicios	57.000	\$77.000.000	\$1.350
Total	Costo Total	112.000	\$350.000.000	\$3.000

Anexo C: Análisis del consumo y costo del agua en Planta Punta Teatinos

Consumo y costo de agua según fuente – Planta Punta Teatinos

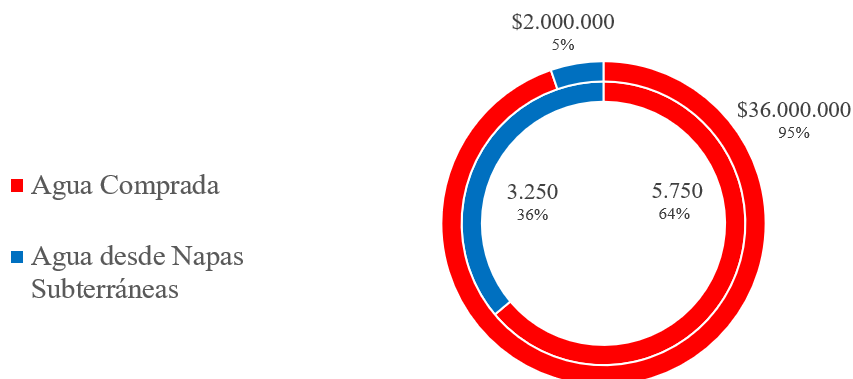


Figura 21: Consumo y costo de agua según fuente en Planta Punta Teatinos

Consumo y costo de agua según uso – Planta Punta Teatinos

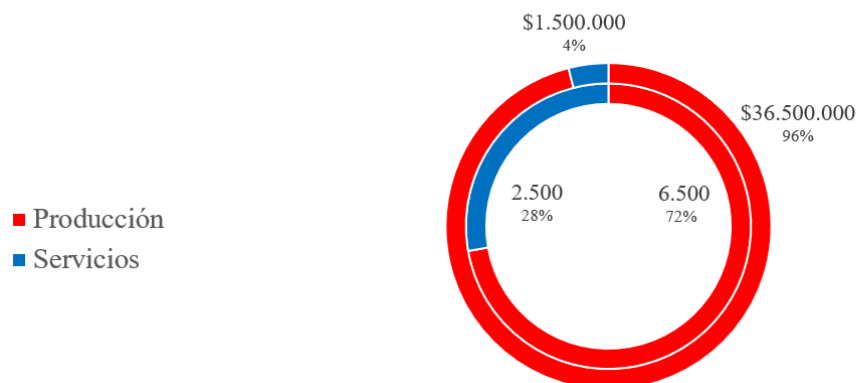


Figura 22: Consumo y costo de agua según uso en Planta Punta Teatinos

Tabla 26: Resumen de consumo y costo de agua según fuente y tipo de uso en Planta Punta Teatinos

	Detalle	Consumo	Costo	\$/m3
Fuente	Agua Comprada	5.750	\$36.000.000	\$6.250
	Agua Desde Napas	3.250	\$2.000.000	\$600
Uso	Agua para Producción	6.500	\$36.500.000	\$5.500
	Agua para Servicios	2.500	\$1.500.000	\$600
Total	Costo Total	9.000	\$36.000.000	\$4.000

Anexo D: Estadísticas de escorrentía y demanda de recursos hídricos en las regiones de Chile

Macrozona	Región	Escorrentía	[m³/s]	[%]	Escorrentía per cápita (2015) [m³/persona/año] ⁽¹⁾
Norte	XV		5,5	0,019	725
	I		6,4	0,022	599
	II		0,9	0,003	47
	III		1,9	0,006	190
	IV		22,2	0,08	908
Centro	V		41	0,14	703
	RM		103	0,35	444
	VI		205	0,70	7.037
	VII		767	2,62	23.191
Sur	VIII		1.638	5,60	24.432
	IX		1.041	3,56	33.167
	XIV		1.046	3,58	81.563
	X		4.109	14,05	154.058
Austral	XI		10.134	34,65	2.950.168
	XII		10.124	34,62	1.938.956
Total			29.245		Chile ⁽²⁾ 51.218

(1): Corresponde a la escorrentía total en la región dividida por la población de la región
(2): Corresponde a la escorrentía total nacional dividida por la población total de Chile

Figura 23: Escorrentía anual de las distintas regiones de Chile (Dirección General de Aguas, 2016)

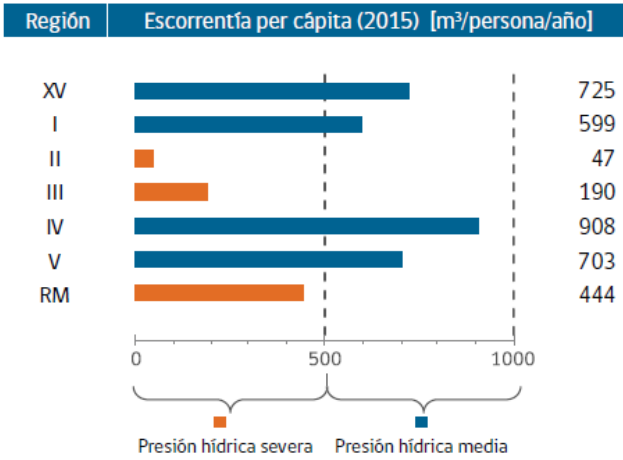


Figura 24: Presión hídrica según escorrentía per cápita (Dirección General de Aguas, 2016)

Macrozona	Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total [m³/s]
Norte	XV	3,71	0,96	0,25	0,00	4,92
	I	5,21	0,69	1,43	1,54	8,87
	II	3,31	1,68	1,29	6,26	12,54
	III	12,03	0,87	0,52	1,90	15,32
	IV	27,19	1,89	0,25	0,71	30,04
Centro	V	42,44	5,82	4,81	1,26	54,33
	RM	82,36	27,41	10,42	0,90	121,09
	VI	97,96	2,41	1,23	1,88	103,48
	VII	166,49	2,53	3,77	0,00	172,79
Sur	VIII	69,44	5,16	9,54	1,21	85,35
	IX	11,51	2,34	0,26	0,00	14,11
	XIV	2,21	1,02	1,63	0,00	4,86
	X	1,10	1,39	2,46	1,50	6,45
Austral	XI	0,64	0,29	0,08	2,60	3,61
	XII	1,12	0,38	5,91	0,23	7,64
		526,72	54,84	43,85	19,99	645,40

Figura 25: Demanda de agua en las distintas macrozonas de Chile según sector de consumo
(Dirección General de Aguas, 2016)

Anexo E: Dimensiones y especificaciones de estanque semienterrado de 500m3 según la superintendencia de servicios sanitarios

Dimensiones

Tabla 27: Dimensiones estanque semienterrado de 500 [m3]

Dimensión	Unidad [m]
Altura	5,5
Diámetro	13,5
Espesor medio	0,15

Especificaciones

Tabla 28: Especificaciones técnicas estanque semienterrado de 500 [m3]

Designación	Cantidad
Concreto de 340 Kg. cem/m3 (Radier, fundaciones, pilares, paredes, vigas y losas)	80 m3
Concreto de 170 Kg. cem/m3 (Emplantillado)	13 m3
Fierro redondo en barras	4500 Kg.
Estuco alisado	450 m2
Capa aisladora (constituida por ripio de 2 a 3 cm)	30 m3

Anexo F: Relación entre el consumo anual de agua industrial y su límite de facturación mínimo según propuesta de solución 2.1.

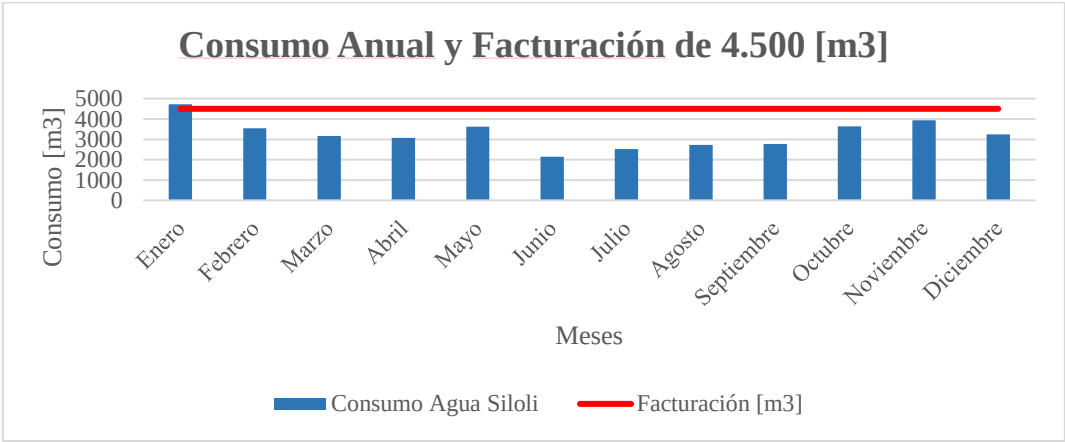


Figura 26: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 4.500 [m3] en Planta Río Loa

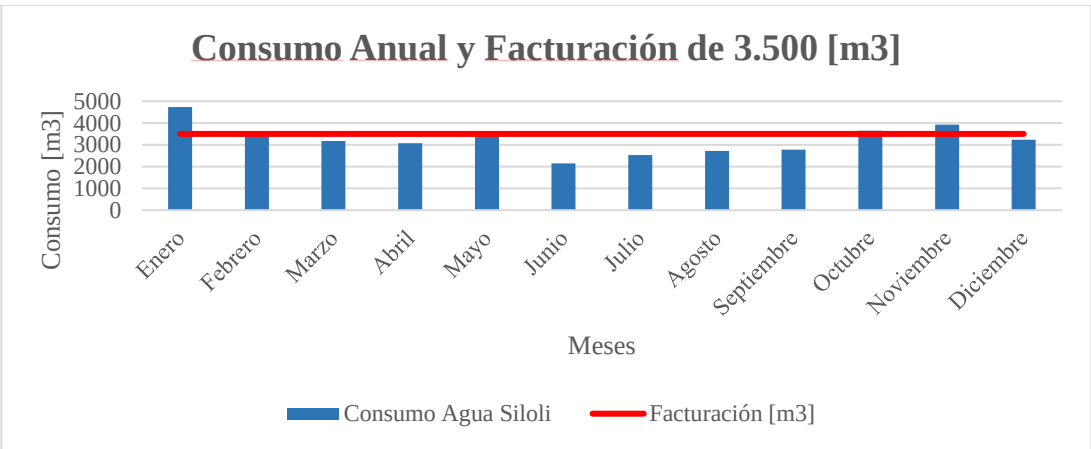


Figura 27: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 3.500 [m3] en Planta Río Loa

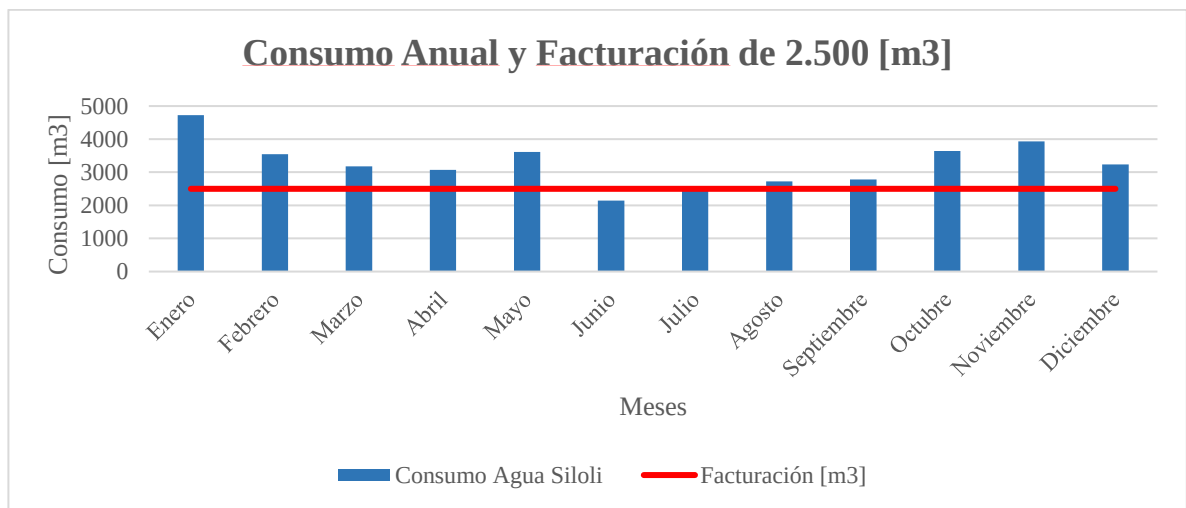


Figura 28: Consumo anual de agua cruda y nivel de facturación en 2.500 [m3] en Planta Río Loa

Anexo G: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas

Flujo de Caja	Valor Presente	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos (Ahorros estimados)	870.410.788	0	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000
Estanque Prillex	151.722.981	0	38.000.000	38.000.000	38.000.000	38.000.000	38.000.000
Planta de osmosis Río Loa	598.906.506	0	150.000.000	150.000.000	150.000.000	150.000.000	150.000.000
Planta de osmosis Punta Teatinos	119.781.301	0	30.000.000	30.000.000	30.000.000	30.000.000	30.000.000
Egresos (Inversiones)	(168.530.000)	(168.530.000)	0	0	0	0	0
Estanque Prillex	(105.000.000)	(105.000.000)	0	0	0	0	0
Planta de osmosis Río Loa	(50.000.000)	(50.000.000)	0	0	0	0	0
Planta de osmosis Punta Teatinos	(11.000.000)	(11.000.000)	0	0	0	0	0
Medidores Planta Prillex	(1.530.000)	(1.530.000)	0	0	0	0	0
Medidores Punta Teatinos	(1.000.000)	(1.000.000)	0	0	0	0	0
Utilidad	701.880.788	(168.530.000)	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000	218.000.000
Utilidad Bruta Acumulada		(168.530.000)	49.470.000	267.470.000	485.470.000	703.470.000	921.470.000

Figura 29: Flujo de Caja representativo de las inversiones y ahorros estimados de las distintas soluciones propuestas en tamaño pequeño