



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERIO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

PROYECTO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL OBSERVATORIO ALMA

Tesina de Grado presentada por

FRANCISCO JAVIER CISTERNA BORDONE

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Dr. ZOCIMO CAMPOS JAQUE

Mayo 2023

TITULO DE TESINA: **“PROYECTO DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA EL
OBSERVATORIO ALMA”**

AUTOR: **FRANCISCO JAVIER CISTERNA BORDONE**

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Francisco J. Cisterna Bordone.

Fecha: 28.06.2023

Índice

Resumen Ejecutivo.....	7
Indice de Tablas.	8
1. Introducción.	9
Problema de Investigación y su Potencial.....	10
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos:.....	12
1.1. ¿Por qué reutilizar el agua?	13
1.2. El Cambio Global (2019).....	16
1.3. Re utilización del Agua en el Espacio.....	18
2. Marco Teórico.....	20
3. Metodología de la Investigación (2010).	21
3.1. Glosario para la Reutilización de (2013).	21
3.2. Aplicaciones de uso de agua Reutilizada.....	22
3.3. El recurso Hídrico en Chile.....	24
3.4. Disponibilidad de agua en regiones.....	25
3.5. Modelo de reutilización de aguas bajo el concepto de Economía Circular.....	26
3.6. Marco Normativo Respecto al Uso del Agua.....	27
3.6.1. Agua potable en Chile según NCh 409/1. Of2005.....	27
3.7. Características de la fuente de aguas servidas (PTAS ALMA).	30
4. Diseño de la Planta Purificadora de Agua.	32
4.1. Selección de la Tecnología de Producción de Agua Potable (Chaorui Xue) (Ünal) (Han Gu a). .	32
4.1.1 Proceso de Separación por Membranas.....	32

a.	Microfiltración (MF).....	33
b.	Ultrafiltración (UF).....	33
c.	Nanofiltración (NF).....	33
d.	Ósmosis Reversa (OR)	33
e.	Diafiltración (DF)	33
4.2.	Explicación de un Circuito cerrado de ósmosis inversa (RO) para Mitigación de Contaminación por minerales en sistema de Tratamiento de Aguas Residuales y Reutilización de agua potable.	34
4.3.	Modelo de Planta a Utilizar para Purificado del Agua en el Observatorio ALMA.	35
a.	Oxidación Avanzada:	35
b.	Remoción de sólidos a través de Ultrafiltración (UF)	35
c.	Sistema de Osmosis Reversa con alto rechazo de Boro (RO).	35
4.4.	Diseño de la Planta.....	36
1.	Estanque de acumulación inicial.....	37
2.	Bomba Inicial de proceso	37
3.	Filtro auto limpiante de 100 µm.....	37
4.	Skid de dosificación cloro libre.....	37
5.	Contenedor IBC de Cloro Libre.....	37
6.	Estaciones de análisis químico	37
7.	Filtro de carbón activado.....	38
8.	Filtros de remoción de manganeso Greensand	38
9.	Unidad de Ultrafiltración.....	38
10.	Estanque de agua ultrafiltrada	38
11.	Lámpara de desinfección UV.....	38
12.	Osmosis Inversa Remoción de Boro	38

13. Estanque Agua producto	38
5. Análisis Económico y Financiero.....	39
5.1. Costos actuales de compra de agua potable.....	39
5.2. El costo total de agua potable puesta en ALMA.....	40
5.3. Evaluación de la alternativa Técnica para Re Utilizar Agua Industrial.....	41
5.4. Beneficios económicos.	43
6. Proyecto de Eliminación de Plástico basado en la Elaboración de una Intervención basada en las ciencias del Comportamiento.....	45
6.1. Desafío.	45
6.2. El Comportamiento.....	45
6.2.1. El comportamiento actual respecto a la problemática va en relación a como se es que el agua potable se consume en dos formas:	45
a. Consumo de Agua Embotellada en formato de 500cc, esta agua se utiliza para consumo directo a las personas.	45
b. Consumo de agua potable a granel.	48
6.2.2. Sujetos a intervenir en términos de comportamiento y sociodemográficos.	48
6.3. KPI de control	49
6.4. Desafíos éticos y partes interesadas.....	49
6.5. Investigación de posibles estudios o casos reales en bajar el consumo de agua embotellada.....	49
6.6. Diseño de Intervenciones para el Objetivo del Proyecto.	50
6.6.1. Intervención 1:	50
6.6.2. Intervención 2:	52
6.6.3. Intervención 3:	53
6.7. Selección de las Intervenciones.	54

7.	Conclusiones.....	55
8.	Bibliography	56

Resumen Ejecutivo.

La escasez de agua se ha convertido en un desafío crítico tanto en Chile como en el mundo debido a los problemas medioambientales y el calentamiento global. Ante esta situación, es imprescindible buscar nuevas tecnologías que permitan aprovechar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles, adoptando enfoques basados en la economía circular. En el marco de esta problemática, esta tesis de MBA se propuso indagar sobre la disponibilidad y los costos aproximados de las tecnologías de aprovechamiento de agua, con especial énfasis en las plantas de ósmosis inversa para reutilizar el agua cuya afluente es una planta de tratamiento de aguas servidas del Observatorio ALMA.

A través de esta investigación, se pudo constatar que existen tecnologías de ósmosis inversa que han demostrado ser efectivas en la optimización del uso del agua. Un ejemplo destacado en este ámbito es Israel, país pionero en la implementación de tecnologías exitosas y sostenibles para el tratamiento y la reutilización del agua. Estas tecnologías han permitido a Israel superar los desafíos de la escasez de agua y se han convertido en un referente a nivel mundial.

En cuanto a los costos, se encontró que la implementación de plantas de re uso de aguas residuales puede variar considerablemente según el tamaño y la capacidad de producción deseada. No obstante, los avances tecnológicos y la optimización de los procesos han contribuido a una disminución de los costos asociados en los últimos años, lo que hace que esta opción sea cada vez más viable económicamente. Para la realidad de este estudio se proyectó una planta que puede procesar 65m3/día de agua residual para producir 53 m3/día de agua potable que cumpla con todos los estándares exigidos por la OMS y la NCh 409 a un costo 363.200 USD.

Los resultados sugieren que hay evidencia que esta tecnología no está implementada en Chile, pero si disponible y con resultados exitosos en otros países, todo esto debido a que aún la normativa legal vigente no permite potabilizar agua cuando el 100% del efluente es agua residual proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas, aunque los análisis químicos realizados al agua resultante de la planta cumplen con la NCh 409. La implementación de plantas de ósmosis inversa, inspirada en el ejemplo de Israel, representa una solución prometedora para hacer frente a la creciente demanda de agua. No obstante, es fundamental considerar las particularidades y necesidades locales al evaluar la viabilidad de estas tecnologías en cada contexto específico.

En resumen, la aplicación de tecnologías de aprovechamiento de agua, en el marco de la economía circular, puede contribuir significativamente a mitigar los efectos de la escasez de agua y el calentamiento global. La inversión en estas tecnologías representa una oportunidad tanto para promover la

sustentabilidad ambiental como la del Observatorio Alma, que asegure la disponibilidad del recurso en el mediano y largo plazo.

Índice de Tablas.

Table 1: Disponibilidad de Agua por Regiones de Chile	25
Table 2: Requisitos de calidad de agua potable de acuerdo a nomar NCh409/1	47
Table 3: Directrices de calidad del agua de acuerdo a OMS	28
Table 4: Tipos de Agua según Dureza	28
Table 5: Caracterización del Agua disponible para el acondicionamiento para llenado de botellas	
Directrices de Calidad del agua de acuerdo a OMS	29
Table 6: Caracterización de agua tratada desde PTAS	30
Table 7: Estadística de consumo de agua potable últimos 6 años	39
Table 8: Valor promedio de m³ instalado en ALMA de 22.2 USD	40
Table 9: Evaluación del Proyecto, Ingeniería Básica	41
Table 10: Evaluación costos Operacionales a 3 años	42
Table 11: Valores transporte real de agua industrial desde PTAS más proyección 6 años, ahorros y Payback del proyecto	42
Table 12: Caracterización Agua Potable disponible para el acondicionamiento para llenado de botellas	
.....	47
Table 13: Inversión planta de agua potable	51
Table 14: Esfuerzo- Impacto de las Intervenciones	54

1. Introducción.

En un mundo cada vez más consciente de la escasez de los recursos naturales, la reutilización del agua se está convirtiendo en una estrategia crucial para garantizar la sostenibilidad de nuestros sistemas de agua. La creciente demanda de agua potable y la presión sobre los recursos hídricos debido a factores como el crecimiento demográfico, el cambio climático y la urbanización, ponen de relieve la importancia de buscar formas innovadoras de maximizar el uso de nuestros recursos hídricos. En este contexto, la reutilización del agua, particularmente del agua potable, emerge como una solución prometedora para satisfacer la demanda creciente sin poner en peligro la salud del ecosistema o la seguridad hídrica.

El mundo enfrenta un reto sin precedentes en la gestión sostenible de los recursos hídricos. Los sistemas hídricos de todo el mundo están experimentando una presión cada vez mayor debido al crecimiento poblacional, la urbanización, la industrialización y el cambio climático. Estos factores han llevado a un aumento de la demanda de agua y a un agotamiento de los suministros de agua dulce. En este contexto, se hace necesario explorar soluciones innovadoras y sostenibles para gestionar eficientemente nuestros recursos hídricos. Una de estas soluciones es la reutilización del agua, y en particular, la reutilización del agua potable.

La reutilización del agua implica la recolección, el tratamiento y la distribución de agua que de otro modo se perdería, para su uso en aplicaciones que no requieren agua de calidad potable. La reutilización del agua potable, por otro lado, implica procesos más rigurosos de purificación y tratamiento para asegurar que el agua reciclada cumple con los estándares de calidad para el consumo humano.

Varios estudios y experiencias a nivel mundial han demostrado que la reutilización del agua potable es una estrategia viable y efectiva para la gestión del agua. Singapur, por ejemplo, ha sido líder en la implementación de sistemas de reutilización de agua potable a través de su programa NEWater. En Israel, un líder mundial en tecnologías de agua, más del 85% de las aguas residuales se reciclan para su uso en la agricultura. Estos y otros casos similares sirven como evidencia empírica de la efectividad de la reutilización del agua.

Esta tesina examina la evidencia empírica de la reutilización del agua potable en diversos contextos globales. A través de un análisis riguroso de estudios de caso y datos de campo, exploraremos cómo la reutilización del agua potable puede ser adaptada y optimizada para satisfacer las necesidades específicas al Observatorio ALMA. A través de este estudio, buscamos proporcionar recomendaciones prácticas y sugerencias para la implementación de estrategias de reutilización de agua eficaces y sostenibles, contribuyendo así al conocimiento existente en esta área crítica de la gestión del agua.

Problema de Investigación y su Potencial.

El Observatorio Alma tiene su centro de operaciones (OSF) emplazado a 45km de San Pedro de Atacama aproximadamente a 30° latitud sur, directamente en el Desierto más árido del mundo. Este desierto está cercado por dos cadenas de montañas: la cordillera de los Andes por el este y la cordillera de Domeyko por el oeste; cubriendo un área de 181.300 km cuadrados. Con más de 20 millones de años, este territorio se compone de cuencas de sal, arena y flujos de lava, siendo su sector más seco el situado al sur del río Loa, al oeste de la cordillera Domeyko y cercano a la comuna de San Pedro de Atacama y al pueblo de Toconao.

Para lograr las operaciones del Observatorio se requiere en promedio por 140 personas (Data obtenida por sistema ALMA travel de Julio 2021 a Septiembre 2022) compuesto entre área científica, ingeniería, mantenimiento, hotelería y servicios varios; quienes pernoctan en sitio por turnos rotativos cada persona consume en promedio 340 lt de agua potable por día (Según SERNAC una persona en promedio en Chile consume 199 lt al día para suplir sus necesidades básicas <https://www.sernac.cl/portal/607/w3-article-1576.html>). El agua potable que Alma consumo no se bebe, se podría pero el uso que se le da va directamente en duchas, inodoros, lavamanos, lavaplatos y otros servicios de no consumo humano como lavado de camionetas. El agua para beber se compra en formato embotellado y además esta se usa para cocinar los alimentos.

Justificación.

Toda el agua potable que el Observatorio consume es comprada a dos distribuidores locales, el punto más cercano, a 66 km, se encuentra la plata de distribución administrado por Capra (Comité de agua potable rural de San Pedro de Atacama) con un contrato anual y el segundo punto de compra es administrado por la Empresa Aguas Antofagasta SA (ubicada en Calama, a 160 km del OSF).

El Observatorio ALMA dispone de dos estanques de almacenamiento para el recurso hídrico con una capacidad total de 450 m3 y se tiene sub contratado el servicio de transporte y distribución con la Empresa Resiter.

Mensualmente Alma gasta:

- 15mill clp aproximadamente como gasto fijo en transporte de agua potable al sitio más un variable por cantidad de viajes desde San Pedro y Calama dependiendo de la disponibilidad del recurso.
- 11mill clp aproximadamente sólo por concepto del valor del m3 de agua.
- Y otros gastos como el de combustible (Alma suministra el combustible al contrato Resiter) y ajustes anuales de los precios de los contratos.

La gran alza de los precios del transporte y de combustible en los meses de junio y agosto 2022 se debieron a problemas de producción del distribuidor más cercano Capra, fallas mecánicas a sus generadores eléctricos, hizo que priorizaran el suministro del recurso a sus comunidades de la zona, dejando para segundo plano el observatorio; esta problemática obligo a tener que ir a buscar el agua a Calama, lo que aumento los costos los variables por transporte y al tener que recorrer mayor distancia los camiones consumieron más combustible diésel. Esta problemática se viene dando desde los inicios de los tiempos cuando Alma era proyecto y depende mucho de la administración de turno.

Hay que tener presente que Alma está emplazado en una concesión a 50 años con las comunidades indígenas en el valle del Chajnantor, lo que hace imposible tener las resoluciones sanitarias y permisos para poder construir un pozo y auto abastecerse de agua.

Del recurso Hídrico.

El agua potable es un recurso vital para la continuidad de las operaciones del observatorio, su ausencia puede llevar a tener que reducir la dotación al mínimo o simplemente tener que detenerlas. No es novedad que el cambio climático a nivel mundial ha hecho estragos en la disponibilidad del recurso hídrico y sobre todo en zonas desérticas; si sumamos lo anterior a la poca confiabilidad de proveedor más cercano del recurso hace pensar que en un futuro no muy lejano el recurso sea mucho más difícil de obtener, por lo que debemos buscar nuevas formas de obtención y sobre todo eficientar su uso.

Objetivo.

El Observatorio Alma además de utilizar agua potable para el consumo humano (aunque no se beba) utiliza agua de descarte o industrial para sus operaciones de mantenimiento de caminos y obras civiles, básicamente humectado de caminos con sal para compactación como para supresión de polvo.

El observatorio entre uno de sus procesos una planta de tratamiento para el agua servida (PTAS), la cual, a través de procesos cascada, decantación, bacterias aeróbicas y estanque final de almacenamiento y cloración, puede llegar a producir diariamente 50 m³ de agua industrial. Para que esta agua procedente de efluentes PTAS sea catalogada como industrial debe cumplir con la norma Nch 1333 (Alma tiene contrato con Laboratorios SGS para analizar el agua industrial que produce su PTAS), que básicamente exige cero agentes bacteriológicos como coliformes y *Escherichia coli*, entre otros parámetros.

En la actualidad existe la tecnología necesaria para poder potabilizar de efluentes como agua salada y de napas subterráneas, pero hay muy poca información de reutilización de aguas provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas a nivel nacional, lo que nos hace indagar a nivel mundial y se tuvo la oportunidad de asistir al wáter congress 2022 y se observó que Israel es uno de los países pioneros en la reutilización y aprovechamiento al máximo del recurso hídrico. Sin más decir Israel utiliza el 4.95% de su PIB en investigación y desarrollo de tecnología para el recurso hídrico, logrando ser un oasis en el desierto desarrollando e incrementando la industria agrícola y ganadera.

Bajo el concepto de economía circular y aprovechamiento del recurso hídrico se quiere desarrollar un proyecto de instalación de la tecnología necesaria para poder tomar el agua industrial producida por nuestra PTAS y potabilizarla. La opción más viable es instalar una planta de osmosis inversa sumado a un tanque de almacenamiento, sistema de monitoreo de las características del agua y sistema de bombeo para trasvasije a camión cisterna y trasladar a estanques de almacenamiento. Si se comparan las cifras del mes de septiembre 2022, se logró reutilizar el 77% de agua potable consumida como industrial para riego de caminos. Si esta agua la logramos potabilizar (asumiendo la máxima eficiencia de un 75% de permeado) podríamos recuperar 800 m³ de agua mes como potable.

El objetivo del proyecto es evaluar los costos de instalación de la planta para recuperación de agua como potable, sumado a la escasez de agua futura y dependencia de proveedores en zona norte, determinar un ROI y Payback para presentar al Directorio de ALMA como proyecto de economía circular.

Si se logra el objetivo la idea es extrapolar esta solución a otros observatorios chilenos administrados por la ESO como Paranal.

Objetivo General.

Diseño y evaluación de una solución para el tratamiento de aguas servidas en el Observatorio ALMA

Objetivos Específicos:

- Analizar el estado actual del sistema hídrico en el Observatorio ALMA, para encontrar debilidades.
- Revisión de posibles modelos para mejorar el sistema hídrico en ALMA bajo el concepto de Economía Circular.
- Diseño Propuesta de solución para el problema hídrico en ALMA en base a una Economía Circular
- Análisis Financiero para la inversión de solución del problema hídrico en Observatorio ALMA.

1.1. ¿Por qué reutilizar el agua?

El cambio climático se refiere a un cambio a largo plazo en el clima de la Tierra, que puede ser causado por factores naturales y/o actividades humanas. La teoría del cambio climático se basa en la comprensión de los gases de efecto invernadero, que son gases que atrapan el calor en la atmósfera y mantienen la Tierra caliente.

El calentamiento global es una de las principales preocupaciones del escenario actual del cambio climático (González, Marqués, Nadal, & Domingo, 2020). Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), las actividades antropogénicas han sido las responsables del aumento de 1 °C, siendo 1.53 °C más altas entre 2006 y 2015 con respecto a las temperaturas de la era preindustrial (años 1850– 1900) ([IPCC, 2019](#)). Además, las actividades antropogénicas actualmente están aumentando la temperatura global a un ritmo de 0,2 °C por década ([IPCC, 2018](#)). (González, Marqués, Nadal, & Domingo, 2020).

Ahora bien, parte de esta problemática del calentamiento global está relacionada con el consumo de agua y su escasez, entendiendo que el agua es el requisito más fundamental para que las especies vivas perduren como medios de subsistencia, por ejemplo, existe alrededor de 783 millones de personas que no tienen acceso a agua potable (Singh, Agarwal, Gupta, Maheshwari, & Midda, 2019).

Por lo tanto, el agua es vida. Es de fundamental importancia para el bienestar humano, la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico, así como para la biosfera y ecosistemas saludables. Desde el nacimiento de la humanidad, todas las grandes civilizaciones vieron en el agua un símbolo de vida y fuente de la vida misma.

La civilización humana del siglo XXI está cambiando la Tierra de formas que amenazan su capacidad para sostener un desarrollo exponencial continuo. el crecimiento de la población y para mantener la existencia y supervivencia de otras especies. Una revisión reciente en la revista Nature (Barnosky, y otros, 2012)) demuestra que, bajo la presión de las actividades humanas, se está produciendo una transición crítica a escala planetaria que conduce a cambios drásticos cambios en la biosfera de la Tierra, que tienen el potencial de transformar rápida e irreversiblemente nuestro planeta. De acuerdo a Rockström et al. (2009), varios límites planetarios (definidos como el espacio de operación seguro que previene cambio ambiental), ya han sido cruzados por biodiversidad, ciclo de nutrientes y el cambio climático.

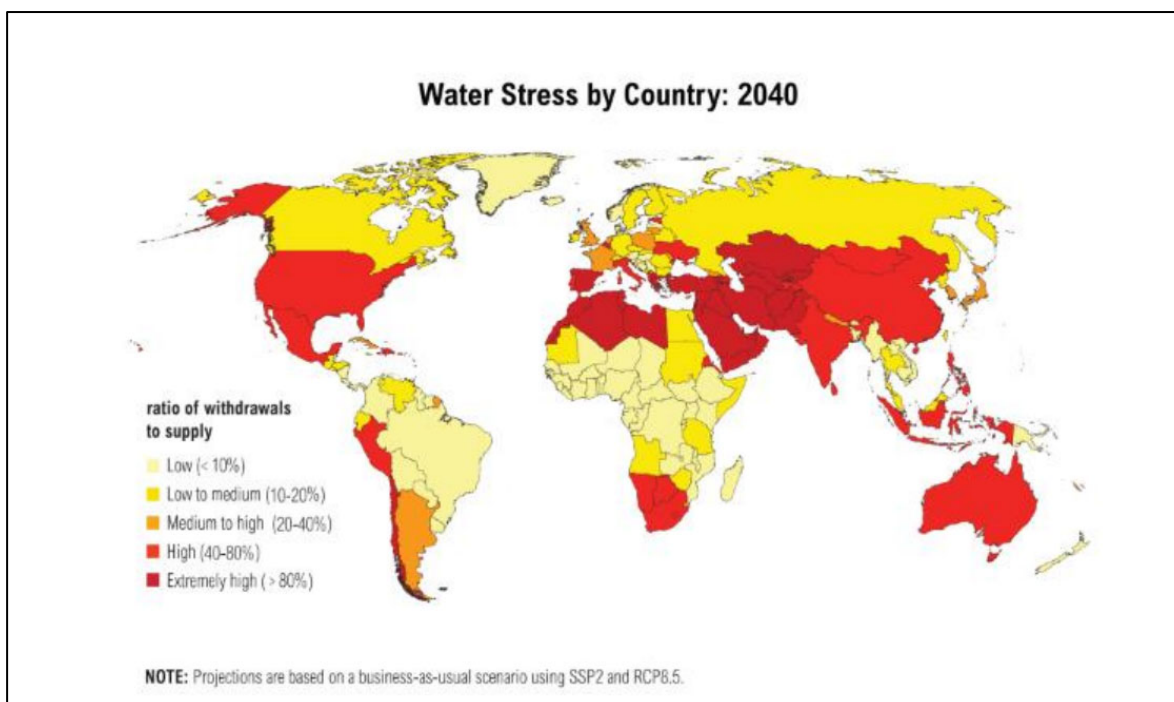


Figura 1.- Zonas conflictivas por falta de agua en una proyección hasta 2040.

Fuente: <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>

La escasez de agua ya afecta a todos los continentes. El uso del agua ha estado creciendo a un ritmo dos veces mayor que el de la población crecimiento en el siglo pasado y un número cada vez mayor de regiones tienen escasez crónica de agua. Alrededor de 2.000 millones de personas, o casi una quinta parte de la población mundial vive en áreas de escasez física y más de 500 millones de personas se acercan esta situación (OMS, 2022). Otros 1.600 millones de personas, o casi una cuarta parte de la población mundial, se enfrenta a desafíos económicos de escasez de agua debido a la falta de fondos para construir y operar la infraestructura de suministro de agua necesaria. Para 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua, y dos tercios de la población mundial podrían estar bajo condiciones de estrés. Esta situación se agravaría en el futuro a medida que las áreas urbanas en rápido crecimiento ejerzan una fuerte presión sobre recursos hídricos vecinos (OMS, 2022).

El éxito y la aceptación pública de la reutilización del agua están muy influenciados por la terminología utilizada para llegar a los actores involucrados en el proceso de planificación integral del agua. Por esta razón, es muy importante que los conceptos de reciclaje de agua se expresan en un lenguaje comprensible y sencillo. En general, se utiliza el término “reutilización de agua” como sinónimo de los términos “reciclado de agua” y “recuperación de agua”. Según el Oxford English Dictionary (Oxford English Dictionary, 2023), estos términos son sinónimos con referencias adicionales para reciclar para “volver a un uso anterior”, “etapa de un proceso cíclico” o “convertir los desechos en una forma utilizable”. El público en general está muy comprometido con el reciclaje de papel, vidrio, metales, plásticos y otros desechos y entiende claramente lo que significa la palabra “reciclaje”. Por este motivo, varias nuevas regulaciones de reutilización de agua, como los Criterios de Reciclaje de Agua de California (2000) por ejemplo, han adoptado “agua reciclada” como la terminología más apropiada y fácilmente aceptada por el público en general. Una vez que un proyecto de reutilización de agua se presenta para su revisión y

aprobación a los tomadores de decisiones y partes interesadas, es importante utilizar la más adecuada terminología que les ayude a comprender que el agua reciclada se produce al pasar las aguas residuales por un proceso de reciclaje proceso para convertirla de nuevo en agua utilizable.

La recuperación de agua es el proceso de tratamiento de aguas residuales y de recuperación de agua purificada de una calidad adecuada para uso beneficioso. La reutilización del agua o el reciclaje del agua es la utilización de esta agua purificada para aplicaciones adecuadas. Además, la reutilización del agua implica con frecuencia la existencia de una tubería u otras instalaciones de conducción de agua para entregar el agua regenerada o reciclada a los usuarios finales.

El calentamiento global afecta significativamente al recurso hídrico en varias formas:

Cambios en el patrón de precipitaciones: El calentamiento global está alterando los patrones de precipitación a nivel global. Según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014), se espera que las zonas secas se vuelvan aún más secas, mientras que las zonas húmedas se volverán más húmedas. Este cambio de patrones de precipitación puede provocar sequías y escasez de agua en algunas regiones, mientras que en otras podría provocar inundaciones.

Derretimiento de glaciares y hielo polar: El calentamiento global está causando un derretimiento acelerado de los glaciares y el hielo polar. Según un estudio de la revista Nature (Singh, Agarwal, Gupta, Maheshwari, & Midda, 2019), los glaciares están perdiendo 369 mil millones de toneladas de nieve y hielo cada año. Muchas áreas dependen de los glaciares como fuente principal de agua dulce, y su desaparición puede provocar escasez de agua.

Elevación del nivel del mar: El derretimiento de los hielos polares está causando la elevación del nivel del mar. De acuerdo con el IPCC, el nivel del mar ha aumentado en aproximadamente 20 centímetros desde 1900 y se espera que suba entre 26 y 77 cm para 2100. La intrusión de agua salada en los acuíferos costeros debido al aumento del nivel del mar puede contaminar las fuentes de agua dulce.

Aumento de la evaporación: Las temperaturas más altas también aumentan las tasas de evaporación, lo que puede exacerbar la sequía en algunas áreas. Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), cada aumento de 1 grado Celsius puede aumentar la evaporación en un 7%.

Disminución de la nieve en invierno: La cantidad de nieve que cae en invierno está disminuyendo en muchas regiones debido al calentamiento global. Esto tiene un impacto directo en la disponibilidad de agua, ya que la nieve que se derrite en primavera y verano proporciona agua dulce.

Es importante señalar que, aunque estos datos y tendencias son preocupantes, también existe un alto grado de incertidumbre en las proyecciones futuras debido a factores como la variabilidad climática natural, las diferencias entre los modelos climáticos y la incertidumbre sobre las futuras emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, es claro que el calentamiento global representa un riesgo significativo para el suministro de agua en muchas partes del mundo.

1.2. El Cambio Global (2019).

El calentamiento global es un fenómeno que se refiere al aumento a largo plazo de la temperatura media de la Tierra. Este aumento se ha observado desde el inicio de la Revolución Industrial en el siglo XVIII, aunque se ha acelerado significativamente en las últimas décadas.

Causas: El calentamiento global está fuertemente vinculado a la actividad humana. La quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural para la energía y el transporte ha aumentado la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. Otros gases de efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso también están aumentando debido a la agricultura y otras actividades humanas.

Efectos: El aumento de las temperaturas está provocando cambios significativos en los sistemas climáticos de la Tierra. Los glaciares y las capas de hielo se están derritiendo, lo que está causando un aumento en los niveles del mar. Los eventos climáticos extremos como las olas de calor, las sequías y las inundaciones están siendo más frecuentes y severos. Los cambios en los patrones climáticos están afectando a la agricultura y a la vida silvestre, poniendo en riesgo la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Acuerdos internacionales: El Acuerdo de París de 2015 es un importante paso internacional para abordar el calentamiento global. En él, casi todos los países del mundo se comprometieron a limitar el aumento de las temperaturas globales a menos de 2 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales, y a hacer esfuerzos para limitar el aumento a 1.5 grados. Sin embargo, los compromisos actuales de reducción de emisiones de muchos países no son suficientes para alcanzar estos objetivos.

Soluciones: Las soluciones al calentamiento global implican la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación a los cambios climáticos ya en curso. Esto incluye la transición a energías renovables, la mejora de la eficiencia energética, la protección y restauración de los bosques y otros ecosistemas que absorben CO₂, y la adaptación de los sistemas agrícolas y de infraestructuras a los cambios climáticos (Antó, 2023).

Es importante recordar que el calentamiento global es un área de investigación activa y que nuestro entendimiento del problema y las posibles soluciones sigue evolucionando. El calentamiento global está enmarcado dentro de lo que hoy se denomina cambio global, y según el último reporte del IPCC (Panel intergubernamental en cambio climático) en el 2018 actualmente la temperatura de la tierra ha aumentado entre 0,8°C y 1,2°C en comparación a los niveles preindustriales, siendo las últimas tres décadas las más calurosas. Según el IPCC, un aumento de 1,5°C respecto a los niveles preindustriales, desencadenará una serie de eventos catastróficos a nivel ecosistémico y social. Se predice con un alto nivel de confianza que dicho aumento de temperatura sucederá entre el 2030 y el 2052 si la temperatura sigue aumentando al mismo ritmo que lo ha hecho en las últimas décadas (IPCC, 2018). Por otra parte, el crecimiento de la población a nivel global junto con el crecimiento económico han sido los principales motores del cambio global. Se estima que cerca del 40% de la población mundial sufre de escasez hídrica, para el 2025 se proyecta un aumento al 60% en la demanda de agua solo para su uso en la agricultura, mientras que para el 2050 la demanda para el uso global, incluyendo la agricultura es de entre un 20% y 30% (Jones et al., 2018; UNEP, 2017; Fernández-Torquemada et al., 2009). Debido a la creciente demanda de agua, una creciente solución alternativa es la utilización de agua de mar para la producción de agua potable o agua de riego. Desde el 2003 se ha registrado a nivel global un crecimiento exponencial de plantas desalinizadoras. Por ejemplo, en los países del mediterráneo, más del 80% del agua dulce es de

origen marino y se produce en plantas desalinizadoras (UNEP, 2017). La mayor concentración de plantas desalinizadoras está en el sur del mediterráneo, donde más se sufre la escasez hídrica (UNEP, 2017). La desalinización de agua es un proceso que se puede llevar a cabo mediante variadas técnicas, por lo tanto, su impacto va a depender de la técnica, pero dentro del común denominador de estos impactos está la descarga de salmueras al mar, las cuales se definen como: la descarga hipersalina y tibia de los procesos de desalinización (Fernandez-Torquemada, 2009).

Dado que la demanda de agua dulce ha aumentado drásticamente en la era actual, el tratamiento de aguas residuales, además de la desalinización del agua de mar, se ha investigado como un recurso nuevo y prometedor del presupuesto hídrico en muchos países del mundo. En este sentido, las aguas residuales, que normalmente se generan en las plantas de tratamientos de aguas servidas y saladas, como en la industria agroalimentaria en general, así como también otros diferentes sectores industriales (por ejemplo, plantas de petróleo y gas, fábricas textiles y de teñido, talleres de cuero, centros de lavado de autos, etc.) pueden afectar negativamente la potabilidad del agua dulce, la vida acuática y la agricultura, dependiendo del destino final que esta tenga. Como resultado, la legislación se ha vuelto más estricta y el tratamiento de las aguas residuales es hoy en día obligatorio en muchos países.

Las técnicas convencionales, como los procesos físico-químicos y MBR, son bastante factibles para tratar la mayoría de las aguas residuales salinas. Sin embargo, estos procesos son más prácticos para la eliminación de contaminantes que para el contenido de sal del efluente. Además, el alto costo de estas técnicas limita su aplicación en muchas áreas, particularmente en los países en desarrollo. Sin embargo, los procesos basados en membranas y las técnicas híbridas pueden emplearse adecuadamente en este caso.

La reutilización del agua tratada proveniente de plantas de tratamiento de aguas servidas para uso humano se está llevando a cabo en diferentes partes del mundo. Algunas regiones y países que han implementado programas de reutilización de aguas residuales tratadas incluyen a:

- Singapur: Singapur es reconocido internacionalmente por su exitoso programa de reutilización de aguas residuales tratadas, conocido como el Sistema de Reciclaje de Agua NEWater. Este sistema trata las aguas residuales hasta alcanzar altos estándares de calidad y se utiliza para diversos usos, incluyendo el suministro de agua potable indirecta y para fines industriales.
<https://www.pub.gov.sg/>
- Israel: Dado su escasez de recursos hídricos, Israel ha desarrollado un sistema avanzado de tratamiento de aguas residuales que permite su reutilización para fines agrícolas, riego de parques y áreas verdes, y recarga de acuíferos.
https://www.gov.il/he/departments/water_authority/govil-landing-page
https://www.oecd-ilibrary.org/environment/water-resources-allocation_9789264229631-en
- California, Estados Unidos: Debido a la sequía y la necesidad de gestionar de manera sostenible los recursos hídricos, California ha implementado regulaciones y programas para fomentar la reutilización de aguas residuales tratadas. Se utilizan para riego de cultivos, recarga de acuíferos y en algunos casos para la recarga de embalses y suministro indirecto de agua potable.
<https://water.ca.gov/>
<https://www.waterboards.ca.gov/>
<https://localizingcaliforniawaters.org/>
<https://www.watereducation.org/>

- Namibia: La planta de tratamiento de aguas residuales en Windhoek, Namibia, ha estado produciendo agua potable a partir de aguas residuales tratadas durante décadas. Este proceso ha permitido abordar la escasez de agua en la región y ha sido un ejemplo de éxito en la reutilización segura del agua.

Global Water Partnership Southern Africa: Esta organización regional se dedica a promover la gestión sostenible del agua en la región de África Austral. Su sitio web contiene información sobre iniciativas y proyectos relacionados con la reutilización del agua en Namibia y otros países de la región.

<https://www.gwp.org/en/GWP-SouthernAfrica/>

<https://www.namwater.com.na/>

1.3. Re utilización del Agua en el Espacio.

Los transbordadores espaciales de la NASA reutilizaban el agua de los baños como parte de su sistema de gestión de agua a bordo. El sistema de reciclaje de agua a bordo de los transbordadores espaciales es conocido como Sistema de Gestión de Fluidos Orbiter (OMS, por sus siglas en inglés) y juega un papel crucial en el suministro de agua potable para los astronautas durante las misiones espaciales.

El sistema OMS recogía y procesaba el agua residual de los baños, así como el vapor de agua generado por los sistemas de soporte vital y la respiración de los astronautas. El agua residual se sometía a un proceso de purificación que incluía filtración, desinfección y, finalmente, la recuperación de agua purificada y segura para el consumo humano.

El objetivo de reciclar el agua en el espacio era reducir la dependencia de las misiones espaciales de los suministros de agua fresca y minimizar la cantidad de residuos generados. Esto permitía a los astronautas tener acceso a agua potable durante períodos más largos sin la necesidad de transportar grandes cantidades de agua desde la Tierra.

Es importante destacar que el sistema de reciclaje de agua de los transbordadores espaciales de la NASA fue un precursor de los sistemas de reciclaje de agua utilizados en las estaciones espaciales actuales, como la Estación Espacial Internacional (EEI). Estos sistemas de reciclaje de agua son cruciales para la vida en el espacio, donde los recursos son limitados y se busca una gestión sostenible de los mismos.

La NASA ha desarrollado y continúa mejorando un sistema muy eficiente para reciclar agua. Este sistema está diseñado para reciclar aproximadamente el 93% del agua utilizada a bordo de la ISS. Aquí te explicaré en términos generales cómo funciona:

- Recogida de agua: Se recoge el agua de diversas fuentes, incluyendo la humedad del aire (por ejemplo, la transpiración y la respiración de los astronautas), el agua de los lavabos y las duchas, e incluso la orina de los astronautas.
- Filtrado inicial: Se utiliza una combinación de filtros mecánicos y químicos para eliminar partículas grandes, compuestos orgánicos e inorgánicos y algunos microorganismos.
- Procesamiento adicional: El agua filtrada se procesa a través de una serie de otras técnicas, incluyendo la destilación (para separar la orina del agua), la oxidación catalítica (para descomponer los compuestos orgánicos restantes) y la ionización (para eliminar iones y partículas finas).

- Esterilización: Finalmente, el agua se esteriliza utilizando calor y/o luz ultravioleta para matar cualquier microorganismo restante. También se añaden pequeñas cantidades de yodo o plata para mantener el agua libre de gérmenes mientras está almacenada.

Una vez completado este proceso, el agua está lista para ser utilizada nuevamente. Puede ser utilizada para beber, preparar alimentos, o incluso para proporcionar oxígeno a través de la electrólisis.

Este tipo de sistemas de reutilización de agua son una parte crucial de lo que se conoce como "soporte vital regenerativo", que es la capacidad de una nave espacial para mantener a su tripulación viva durante largos períodos de tiempo con un suministro mínimo de recursos desde la Tierra. A medida que planeamos misiones de larga duración a la Luna, Marte y más allá, la eficiencia y fiabilidad de estos sistemas será cada vez más importante.

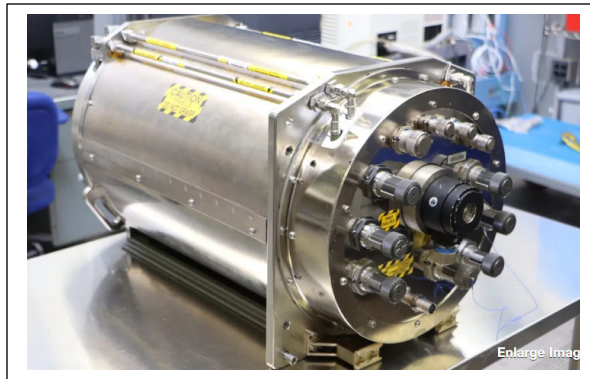


Figura 3: Equipo para destilación de orina, NASA/MSFC

<https://www.cnet.com/science/nasa-upgrading-iss-system-that-turns-astronaut-pee-into-drinking-water/>

<https://youtu.be/BCjH3k5gODI>

2. Marco Teórico.

El Observatorio ALMA, ubicado en una zona remota del desierto de Atacama a 45 minutos del pueblo de San Pedro de Atacama, depende de fuentes de suministro de agua limitadas y costosas. Mediante la implementación de un sistema de economía circular, se busca optimizar el uso de los recursos hídricos y reducir la dependencia de fuentes externas de agua potable.

La investigación se enfoca en los siguientes aspectos clave:

1. Evaluación de la fuente de aguas servidas: Se analiza la calidad y cantidad del agua proveniente de la planta de tratamiento de aguas servidas, identificando los parámetros que deben ser considerados para su purificación y posterior reutilización como agua potable.
2. Diseño y selección de tecnologías de purificación: Se realiza un análisis exhaustivo de las tecnologías de purificación disponibles, considerando su eficiencia, sostenibilidad y capacidad para eliminar los contaminantes presentes en el agua servida. Se selecciona el sistema más adecuado para la planta purificadora, teniendo en cuenta las características del Observatorio ALMA y las regulaciones sanitarias aplicables.
3. Análisis económico y financiero: Se lleva a cabo una evaluación detallada de los costos de inversión y operación de la planta purificadora, considerando los beneficios económicos derivados de la reducción en la compra de agua potable externa. Se estima el tiempo de retorno de la inversión y se analizan las implicaciones financieras del proyecto.
4. Impacto ambiental y sostenibilidad: Se evalúan los aspectos ambientales asociados con el tratamiento y reutilización del agua servida, identificando oportunidades para mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir la generación de residuos¹ y minimizar el impacto ambiental. Se proponen medidas para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.
5. Plan de implementación y gestión: Se elabora un plan detallado para la implementación de la planta purificadora de agua, incluyendo el cronograma de actividades, los recursos necesarios y los roles y responsabilidades del personal involucrado. Además, se proponen estrategias de gestión eficientes para asegurar el funcionamiento óptimo y continuo de la planta.

El resultado de este estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones en cuanto a la instalación de una planta purificadora de agua bajo el concepto de economía circular en el Observatorio ALMA. Además, se destaca el potencial de replicación de este enfoque en otras instituciones y comunidades que enfrentan desafíos similares en términos de suministro de agua potable.

La implementación exitosa de este proyecto contribuirá a la mejora de la autosuficiencia hídrica del Observatorio ALMA, promoviendo la conservación de los recursos hídricos, reduciendo los costos asociados y fortaleciendo su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

¹ Proyecto paralelo para reducir el consumo de agua embotellada.

3. Metodología de la Investigación (2010).

La metodología de investigación que se propone para esta tesina de grado MBA se basa en un estudio de caso. Esta es una forma de investigación cualitativa que se centra en la exploración de un fenómeno específico dentro de su contexto en el mundo real utilizando múltiples fuentes de evidencia. En el contexto de los negocios, el estudio de factibilidad de instalación de una planta para purificar el agua y la eliminación del formato de agua embotellada, enfoques a los que apunta esta tesina será la fuente de estudios centrados en la complejidad de las situaciones en las que está pasando el Observatorio ALMA hacia un camino de total sustentabilidad.

En términos generales, el estudio de caso es una estrategia de investigación integral que implica una profundidad de comprensión de un solo caso o casos múltiples en su entorno de ocurrencia natural. La elección de esta metodología tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado y multifacético de las prácticas de negocio, políticas, procesos y estructuras, y entender cómo influyen en el desempeño y la competitividad de una empresa o sector.

Este enfoque permite una visión más detallada de los aspectos micro y macro de la administración del Observatorio ALMA en aspectos de cuidado medio ambiental, objetivo principal para el 2030.

Este estudio de caso proporciona información valiosa sobre las estrategias y tácticas de países como Israel, organizaciones con alta tecnología como la Nasa y otros ejemplos donde la importancia de cuidar el recurso hídrico y querer mejorar sus procesos internos en post de una organización más verde que no solo consume recursos, sino, también tenga esa mirada de reutilización, eficiencia y cuidado medio ambiental.

3.1. Glosario para la Reutilización de (2013).

Término	Definición
Uso Benéfico	Uso del agua directamente por las personas para su beneficio económico, social o ambiental.
Criterio	Normas estándar o pruebas en las que se puede basar una decisión.
Reutilización directa	Uso de agua reciclada entregada directamente para su reutilización beneficiosa, incluso en un sistema de suministro de agua.
Regulador ambiental	Un cuerpo de agua o acuífero que se encuentra entre una descarga de agua reciclada y un pozo de toma o extracción de suministro de agua. Un regulador ambiental a menudo proporcionará un tratamiento natural adicional.
Aguas Grises	Aguas residuales de instalaciones de baño y lavado. Se excluyen los desechos humanos de los inodoros y los desechos de alimentos de la cocina.
Directrices	Estándares, criterios, reglas o procedimientos recomendados o sugeridos que son consultivos y voluntarios.
Reutilización indirecta	Uso de agua reciclada suministrada a un río, embalse o acuífero subterráneo del que se extrae suministro de agua en un punto aguas abajo.
Uso no potable	Uso de agua para fines que no requieren calidad de agua potable.
Uso potable	Uso de agua para fines que requieren calidad de agua potable.
Agua Reciclada	Agua recuperada mediante el tratamiento de aguas residuales, aguas grises o escorrentía de aguas pluviales a una calidad adecuado para uso benéfico. Sinónimo de agua regenerada.

Normativas	Normas, criterios, reglas o requisitos legalmente adoptados y exigibles por agencias gubernamentales.
Flujo de retorno Estándar	El retorno del agua reciclada fluye de regreso al río del que se extrajo el suministro de agua. Una regla, principio o medida exigible establecida por una autoridad reguladora, por ejemplo: límites numéricos de calidad del agua.
Aguas Residuales	Agua usada descargada de viviendas, comercios, industria o agricultura.
Recuperación de agua	El proceso de tratamiento de aguas residuales y recuperación de agua reciclada de una calidad que es adecuado para uso beneficioso.
Reciclaje de agua	Uso de agua reciclada con fines benéficos.
Reutilización del agua	Uso de agua reciclada; usar agua varias veces con fines benéficos

*Adaptado del Glosario de Reutilización del Agua desarrollado por el Grupo de Especialistas en Reutilización del Agua de la IWA

3.2. Aplicaciones de uso de agua Reutilizada.

Las aplicaciones dominantes para el uso de agua reciclada incluyen el riego agrícola, el riego de jardines, la reutilización industrial y la recarga de aguas subterráneas. (M. Qadir a b, 2010).

El riego agrícola fue, es y seguirá siendo el mayor consumidor de agua reciclada con reconocidos beneficios y contribución a la seguridad alimentaria. El reciclaje de agua urbana, en particular el riego de jardines, se caracteriza por un rápido desarrollo y desempeñará un papel crucial para la sostenibilidad de las ciudades en el futuro, incluida la reducción de la huella de carbono. También están surgiendo otras aplicaciones relevantes y rentables, como la mejora del medio ambiente, el reciclaje en edificios y los usos industriales de las aguas residuales urbanas recuperadas.

La reutilización potable indirecta, en particular la recarga de aguas subterráneas (acuíferos), después del tratamiento complementario y el almacenamiento de agua reciclada en una reserva ambiental, se ha implementado en muchos países como una respuesta eficiente a la necesidad de aumentar el suministro de agua. Finalmente, la reutilización potable directa, practicada durante más de 40 años en Namibia, está emergiendo como una solución a los desafíos que algunos países enfrentarán en los próximos 20 años. (Leverenz, Tchobanoglous, & Asano, 2011).

Dado que el agua se utiliza para diversas aplicaciones domésticas, municipales e industriales, su calidad cambia debido a la introducción de diversos constituyentes. En la Figura 4 se muestra esquemáticamente una comparación conceptual de la medida en que la calidad del agua cambia a través de las aplicaciones municipales. Incluso cuando están contaminadas, las aguas residuales contienen más del 99,98 % de agua pura. Hoy en día, existen tecnologías de recuperación y purificación de agua técnicamente probadas para producir agua pura de casi cualquier calidad deseada, incluida agua purificada de calidad igual o superior a la del agua potable.

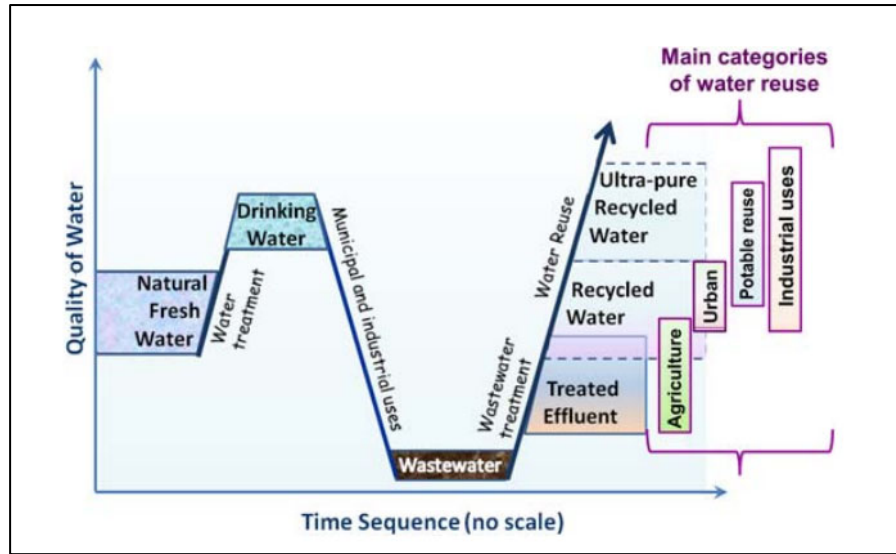


Figura 4.- Cambios en la calidad del agua durante los usos municipales del agua en una secuencia de tiempo.

3.3. El recurso Hídrico en Chile.

Por la localización latitudinal del Chile, el territorio parte en la zona subtropical árida que recibe una fuerte influencia anticiclónica correspondiente al cinturón de desiertos del trópico de Capricornio. El anticiclón del Pacífico sur-oriental permanece todo el año, con su alta presión, bloqueando el ingreso de cualquier perturbación atmosférica que pudiera generar lluvias, ese es el origen del desierto del norte grande. En el desierto de Atacama se registran las menores precipitaciones del planeta, alcanzando promedios tan bajos como 2 mm/año. A medida que nos alejamos del trópico hacia el sur, el anticiclón va perdiendo su capacidad de bloqueo, permitiendo cada vez más el ingreso de los frentes de lluvia que vienen del suroeste. Así, el territorio chileno va observando un gradual aumento de las precipitaciones hasta la región de Aysén, donde esta llega a un máximo superior a los 3.000 mm anuales debido al paso de un par de frentes cada semana, los que dejan más de 250 días de lluvia cada año en las islas más occidentales. Hacia el extremo austral (Magallanes), la precipitación declina nuevamente debido a la influencia “pampeana” que acarrea las altas presiones del anticiclón del Atlántico, responsable de la aridez del sur de Argentina. Junto con esta evolución, el territorio se enfría gradualmente desde la región central al sur, manteniendo temperaturas diurnas unos 8 a 10°C más bajas en la costa que en el interior.

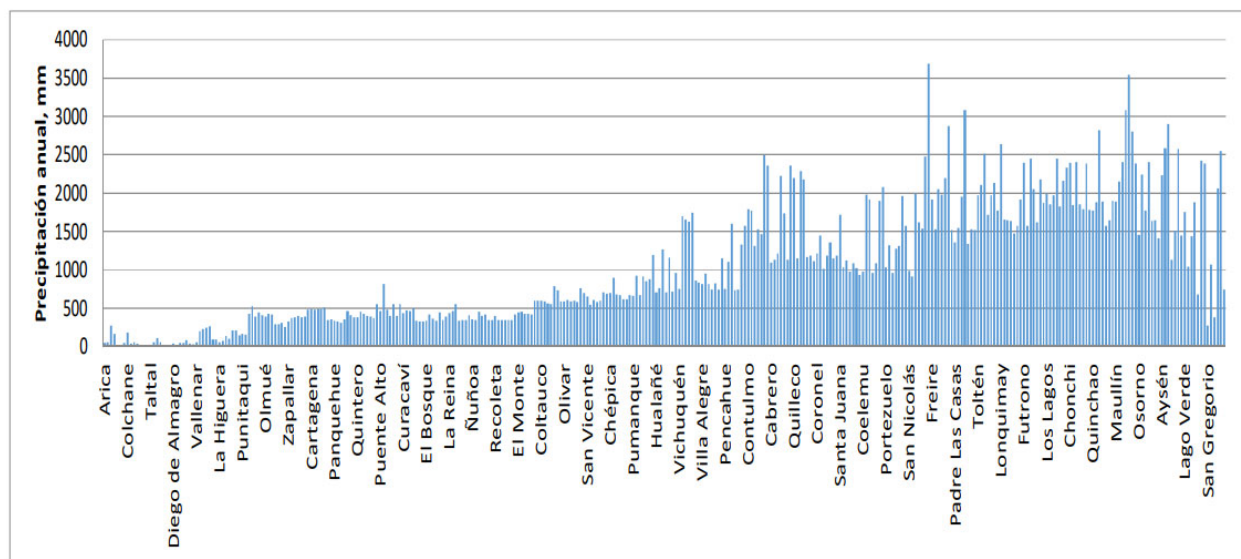


Figura 5.- Perfil pluviométrico de Chile (Ministerio de Agricultura, Of. De Estudios y Políticas Agrarias)

El total de aguas renovable en Chile alcanza a los 922 Km³ anuales, lo que lo sitúa en el lugar 14 en el mundo y 5 en Latinoamérica. No obstante, esto, el agua en Chile presenta un fuerte desequilibrio geográfico (Tabla 1). El patrimonio hidrológico de Chile se estructura en 101 cuencas hidrográficas principales, que nutren a 1.251 ríos cuya escorrentía anual en conjunto alcanza a los 2.9245 m³/s. (MOP, 2013). Este caudal de agua renovable, en relación con la población del país, da una disponibilidad de agua del orden de los 53.000 m³/habitante año, lo que es 25 veces el valor de 2000 m³/habitante, considerado adecuado para un desarrollo ilimitado en agua (2016).

3.4. Disponibilidad de agua en regiones.

Tabla 1: Disponibilidad de Agua por regiones de Chile

Macrozona	Región	Región	m ³ /s	Escorrentía per cápita m ³ /persona/año
Norte		Arica y		
	XV	Parinacota	5,5	725
	I	Tarapacá	6,4	599
	II	Antofagasta	0,9	47
	III	Atacama	1,9	190
	IV	Coquimbo	22,2	908
Centro	V	Valparaíso	41	703
	RM	Metropolitana	103	444
	VI	O'Higgins	205	7.037
	VII	Maule	767	23.191
Sur	VIII	Biobío	1.638	24.432
	IX	Araucanía	1.041	33.167
	XIV	Los Ríos	1.046	81.563
	X	Los Lagos	4.109	154.058
Austral	XI	Aysén	10.134	2.950.168
	XII	Magallanes	10.124	1.938.956
Total			29.245	5.216.188

Fuente: Dirección general de Aguas (2015).

En cifras globales, Chile es un país con abundantes recursos de agua. Considerando el total de la escorrentía procedente de las precipitaciones, la disponibilidad anual es de 53.000 m³/habitante (Banco Mundial, 2011), muy superior a los 2.000 m³/habitante/año, considerado mundialmente como necesario para el desarrollo sostenible. A pesar de esto, hay un fuerte desequilibrio geográfico entre la localización de los recursos y la población. La región central y norte, deficitaria en agua, concentra el 65% de la población del país. El caso más extremo se presenta en las regiones de Antofagasta y Atacama con 52 y 208 m³/habitante.

Esto nos permite afirmar que el desarrollo de actividades económicas en el norte de Chile dependerá en el futuro fuertemente de las posibilidades de generar nuevas fuentes de agua a costos razonables. Por ahora, las tecnologías de transporte de agua a distancia o la desalación de agua marina tienen costos claramente por encima de 1 dólar por m³, lo que deja a la agricultura fuera de posibilidades de acceder a estas soluciones. Dados los grandes volúmenes de agua usados por la agricultura, los que difícilmente bajarán de 6500 m³/ha año, las soluciones viables con esta industria deberán producir agua a menos de 1/10 de los costos que pueden ofrecer estos sistemas.

3.5. Modelo de reutilización de aguas bajo el concepto de Economía Circular

Según Gan et. al. (2020) identifican ocho etapas para reutilizar el agua bajo el concepto de economía circular, estas etapas son;

1. Identificación de fuentes de agua residual: Examina las diferentes fuentes de agua residual disponibles, como aguas residuales municipales, aguas grises de edificios, aguas de lluvia recogidas, etc. Determina la calidad y cantidad de agua disponible en cada fuente.
2. Caracterización del agua residual: Realiza un análisis de laboratorio para evaluar la calidad del agua residual. Determina los niveles de contaminantes, nutrientes y otros parámetros relevantes. Esto te ayudará a identificar los tratamientos necesarios para purificar y reutilizar el agua.
3. Tratamiento y purificación: Diseña un sistema de tratamiento adecuado para purificar el agua residual. Esto puede incluir procesos físicos, químicos y biológicos, como filtración, desinfección, coagulación, sedimentación, ozonización, etc. Elige tecnologías eficientes desde el punto de vista energético y ambiental.
4. Almacenamiento y distribución: Desarrolla un sistema de almacenamiento que permita acumular agua tratada para su posterior uso. Considera la instalación de tanques o embalses que cumplan con los requisitos de seguridad y calidad del agua. Luego, establece un sistema de distribución para suministrar agua reutilizada a los usuarios finales.
5. Uso de agua reutilizada: Identifica diferentes aplicaciones para el agua reutilizada en función de su calidad y características. Algunas posibles aplicaciones incluyen riego de parques y jardines, limpieza de calles, inodoros y urinarios, sistemas de refrigeración, procesos industriales que no requieran agua potable, etc.
6. Monitoreo y control: Implementa un sistema de monitoreo continuo para evaluar la calidad del agua reutilizada y garantizar el cumplimiento de los estándares y regulaciones establecidos. Realiza análisis periódicos y ajusta los procesos de tratamiento según sea necesario.
7. Sensibilización y participación pública: Educa y promueve la conciencia sobre la importancia de la reutilización del agua en la comunidad. Organiza campañas de sensibilización y programas de participación ciudadana para fomentar la adopción de prácticas sostenibles.
8. Investigación y desarrollo: Fomenta la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos de tratamiento de agua para mejorar la eficiencia y reducir los costos. Colabora con instituciones académicas y empresas especializadas para impulsar la innovación en el campo de la reutilización del agua.

3.6. Marco Normativo Respecto al Uso del Agua.

3.6.1. Agua potable en Chile según NCh 409/1. Of2005.

Se llama agua potable según legislación chilena a toda el Agua que cumple con todos los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y de desinfección establecidos en la Norma NCh 409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano (Normalización, 2005)

Los requisitos en cuanto a calidad que debe cumplir el agua potable en Chile se rigen por la norma NCh409/1: “Agua potable – Parte 1 – Requisitos”, la cual establece requerimientos a nivel físico, químico y bacteriológico del recurso hídrico. Los requisitos principales se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2: Requisitos de calidad de agua potable de acuerdo a nomar NCh409/1

Elemento o sustancia	Límite máximo mg/L	Sustancias orgánicas	Límite máximo µg/L
Cobre	2,0	Tetracloroetano	40
Cromo total	0,05	Benceno	10
Fluoruro	1,5	Tolueno	700
Hierro	0,3	Xilenos	500
Manganeso	0,1	Plaguicidas	Límite máximo µg/L
Magnesio	125,0	DDT + DDD + DDE	2
Selenio	0,01	2,4 -D	30
Zinc	3,0	Lindano	2
Arsénico	0,01	Metoxicloro	20
Cadmio	0,01	Pentaclorofenol	9
Cianuro	0,05	Productos secundarios de desinfección	Límite máximo mg/L
Mercurio	0,001	Monocloroamina	3
Nitrato	50	Dibromoclorometano	0,1
Nitrito	3	Bromodiclorometano	0,06
Razón nitrato + nitrito	1	Tribromometano	0,1
Plomo	0,05	Triclorometano	0,2
		Trihalometanos	1

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023)

Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) también establece directrices para la calidad del consumo del agua en el documento “Guías para la calidad del agua de consumo humano”, el cual proporciona orientación sobre los límites de contaminantes en el agua, así como también sobre métodos de análisis e interpretación de resultados. Una tabla resumen con las principales directrices se observa en la siguiente tabla:

Table 3: Directrices de calidad del agua de acuerdo a OMS

Parámetros	Directrices (mg/L)
pH	6,5 - 8,5
Turbiedad	< 5 UNT
Manganeso	< 0,4 ; 0,1*
Nitrato - Nitrógeno	< 50,0 as N
Fluoruro	< 1,5
Cloruro	< 250
Arsénico	< 0,01
Boro	< 1

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023)

No obstante, si bien tanto la normativa chilena como las directrices impartidas por la OMS establecen requisitos de calidad que, tanto en la teoría como en la práctica podrían ser alcanzados a través una planta de tratamiento de aguas industriales, se debe tener en cuenta que estas normativas no son las únicas a tener en cuenta en un proyecto de esta índole. Otra norma relevante en este contexto es la NCh777/1: “Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: Terminología, clasificación y requisitos generales”, la cual regula las fuentes adecuadas para la captación del recurso hídrico en territorio nacional y donde no se permite el reúso de aguas provenientes de plantas de tratamiento o aguas regeneradas en general.

Hay distintas clasificaciones de aguas, por ejemplo, por salubridad, naturaleza, estándares o normas de cada país, ya sea por su uso; según la calidad microbiológica. Esta se puede expresar en STD ²(ppm) y se puede clasificar por rangos.

Table 4 Tipos de Agua Según dureza

TIPOS	RANGO (PPM)	DESCRIPCIÓN
Agua Dulce	1,000	Se encuentra en ríos y nevados agua ligeramente. Uso Humano
Agua Salada	1,000 a 5,000	Se encuentra en aguas subterráneas que no están cerca de la costa
Agua moderadamente salada	5,000 a 15,000	Proviene de las infiltraciones del agua de ríos y de mar
Fuertemente Salada	15,000 a 35,000	Son agua de mar que están filtradas en zonas costeras (Agua de Pozo)
Agua de Mar	35,000	Se encuentra en los Océanos y el más abundante en la tierra Fuente: (FIA, 2018, pág. 34)

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023)

² Los sólidos disueltos totales, SDT o TDS por sus siglas en inglés, es un valor utilizado en la química de las piscinas para medir la concentración de todos los minerales, sales, cloruros, metales, orgánicos y muchos otros contaminantes disueltos en el agua.

Por otro lado, la norma NCh3456/2 establece las directrices para el uso de aguas residuales tratadas en proyectos de riego, estableciendo los siguientes estándares sugeridos de acuerdo a su uso:

Table 5: Directrices de calidad del agua de acuerdo a OMS

Categoría	Tipo de agua regenerada	DBO5	SST	Turbie- dad	Coliformes Termotolerantes		Nematodos Intestinales	Usos potenciales sin barreras	Posible tratamiento correspondiente
		mg/L	mg/L	UNT	NMP/100mL		Huevo/L		
		Max	Max	Max	95%	Max	Max		
A	Muy alta calidad	10	10	5	<= 10 ó menos del límite de detección	100	-	Riego urbano sin restricciones y riego agrícola de cultivos alimenticios consumidos crudos	Secundario, Filtración por Contacto o Filtración por Membrana y Desinfección
B	Alta calidad	20	25	-	<= 200	1	-	Riego urbano restringido y Riego Agrícola de cultivos Alimenticios procesados	Secundario, Filtración y Desinfección
C	Buena calidad	35	50	-	<= 1.000	10	-	Riego Agrícola de cultivos No Alimentarios	Secundario y Desinfección
D	Mediana calidad	35	80	-	<= 1.000	10	5	Riego restringido de cultivos Industriales y Sembrados	Secundario o Clarificación de Alta Tasa con Coagulación - Floculación

** Los límites recomendados se elaboran sobre la base de regulaciones internacionales, pe. OMS (2006) y USEPA (2012)*

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023)

Con respecto a las normativas de riego diseñadas por el Instituto de normalización (Normas NCh), cabe mencionar que tanto la NCh1333 como la NCh 3456/2 son de carácter voluntario, siendo estas sólo directrices, las cuales, de no cumplirse, podría suponer para una empresa ser “castigadas” por el mercado, más no en términos legales. Por otra parte, en caso de seguir estas directrices, se recomienda apegarse a la NCh3456/2, lo anterior considerando la antigüedad de la NCh1333 (1987) y que, probablemente, podría ser derogada en el mediano o corto plazo, debido a que entra en conflicto con la NCh3456/2 (año 2021).

3.7. Características de la fuente de aguas servidas (PTAS ALMA).

El agua que compra El Observatorio ALMA a distribuidores locales CAPRA³ (San Pedro de Atacama) y Aguas Antofagasta⁴ (Calama) se les hace permanentemente análisis para determinar su cumplimiento a la norma NCh 409/1 y la resultante de la PTAS para cumplir con la NCh 1333, para ellos se subcontratan los servicios de laboratorio a SGS. El agua potable es transportada vía terrestre hasta las dependencias del Observatorio y es descargada en los estanques de almacenaje para luego ser distribuida internamente por toda la red de agua potable hasta llegar a los usuarios finales. Esta agua por lo general se utiliza para duchas, inodoros, servicios generales de aseo para luego retornar a la planta de tratamientos de aguas (PTAS); es en esa planta donde el agua es tratada bajo el sistema cascada y bacterias aeróbicas, para llegar a un estado final donde esta agua clorada y analizada para darle un uso industrial.

El uso industrial que se le da al agua producida por la PTAS, en su mayoría, es para humectación de camino y faenas de mejoramiento de la carpeta de rodado. Cabe destacar que los caminos al interior del Observatorio ALMA no son del tipo asfaltado.

A continuación, se detallan los parámetros a medir y los resultados de las mediciones:

De forma extraordinaria se han enviado a analizar el agua industrial de la PTAS bajo los parámetros exigidos por la NCh 409 para determinar las desviaciones críticas que determinarían la tecnología requerida para la purificación de dicha agua.

A continuación, se detallan los parámetros a medir y los resultados de las mediciones:

Table 6: Caracterización de agua tratada desde PTAS

Variable	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Arsénico	mg/l	0.005	N.D.	0.017
Boro	mg/l	8.5	N.D.	13.7
Calcio	mg/l	26.5	13.8	39.2
Zinc	mg/l	0.39	0.06	1.35
Cloruro	mg/l	152	N.D.	441
Cloro Libre Residual	mg/l	0.54	0.12	1.35
Cobre	mg/l	0.077	N.D.	0.2
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	0.2·10 ⁶	N.D.	4.6·10 ⁶

³ <https://www.munispa.cl/el-difcil-escenario-que-tuvo-que-asumir-la-nueva-directiva-de-capra-en-san-pedro-de-atacama/directiva-capra/>

⁴ <https://www.aguasantofagasta.cl/web/prepagina/>

Coliformes Totales	NMP/100 mL	0.5·10 ⁶	N.D.	11·10 ⁶
Conductividad 25°C	μS/cm	938	N.D.	3450
DBO ₅ 20°C	mg/l	49.7	N.D.	112
DQO	mg/l	122	N.D.	374
Escherichia Coli	NMP/100 ml	1007	N.D.	16000
Fluoruro	mg/l	0.4	N.D.	3.4
P-PO ₄	mg/l	0.58	N.D.	4.0
Fósforo	mg/l	2.9	0.3	7.2
Hierro	mg/l	0.26	0.10	0.62
Litio	mg/l	0.25	0.10	0.71
Manganeso	mg/l	0.036	N.D.	0.230
Nitrato	mg/l	21.2	1.4	133
N-NO ₃	mg/l	21.2	1.4	133
pH 25°C	mg/l	7.0	5.7	7.9
Sodio	mg/l	111	47	243
TDS	mg/l	528	17	1900
Sulfato	mg/l	36	7	158
Turbiedad	NTU	16.8	1.2	45.0

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023)⁵. *N.D.: No detectado*

Los parámetros anteriores, son un resumen de más de 7 años de análisis de agua en laboratorios certificados, lo cual concluye que se cumplen los parámetros según la Nch 1333 y por lo demás después de estudios se concluye que es viable, con las tecnologías existentes en territorio nacional, implementar una planta de reúso capaz de generar agua que cumpla con los estándares de calidad tanto de la NCh409/1 como de la Organización Mundial de la Salud, es decir, el agua resultante sería apta para ser utilizada para consumo humano, duchas, etc., siendo imperceptible la diferencia entre el agua potable provista por las empresas sanitarias nacionales y la resultante de la planta propuesta para quien la consuma.

⁵ Análisis de aguas realizadas por laboratorio SGS subcontratado por el servicio que presto Disal 2012-2017, Tratamientos del Pacífico 2017-2021 y en la actualidad Resiter vigente hasta el 2026. Contrato de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento Transporte de Aguas Contrato N°BO001249/ESO/21/10188.

4. Diseño de la Planta Purificadora de Agua.

4.1. Selección de la Tecnología de Producción de Agua Potable (Chaorui Xue) (Ünal) (Han Gu a).

4.1.1 Proceso de Separación por Membranas.

La ingeniería de membranas por su versatilidad y modularidad, selectividad y recuperación de agua de calidad es una de las disciplinas con mayor implicación y rango de aplicación en las innovaciones tecnológicas necesarias para hacer frente a los desafíos previamente mencionados, que están fuertemente interconectados.

Son técnicas muy robustas industrialmente, modulares y fácilmente escalables, que presentan diversas configuraciones que permiten optimizar su rendimiento y se adaptan en función del residuo a tratar. Además, son fácilmente combinables con otras técnicas de separación para incrementar el rendimiento en las etapas de desalinización y de tratamiento de aguas residuales, derivando en sistemas de procesos integrados y explotando estas aguas que iban destinadas a ser vertidos, con el fin de alcanzar el concepto de vertido cero y abrazar el concepto de economía circular; es decir, la completa utilización de vertidos y residuos generados en la industria como recursos o materias primas en la misma.

La tecnología de membranas depende fuertemente de la calidad del agua que se vaya a tratar y del objetivo buscado en su diseño e implementación. Tiene como fin la separación, concentración y/o purificación de los compuestos deseados procedentes de una disolución o corriente a tratar.

Entre los procesos de separación por membranas más utilizadas y de claro interés para el sector industrial y del agua, se tienen:

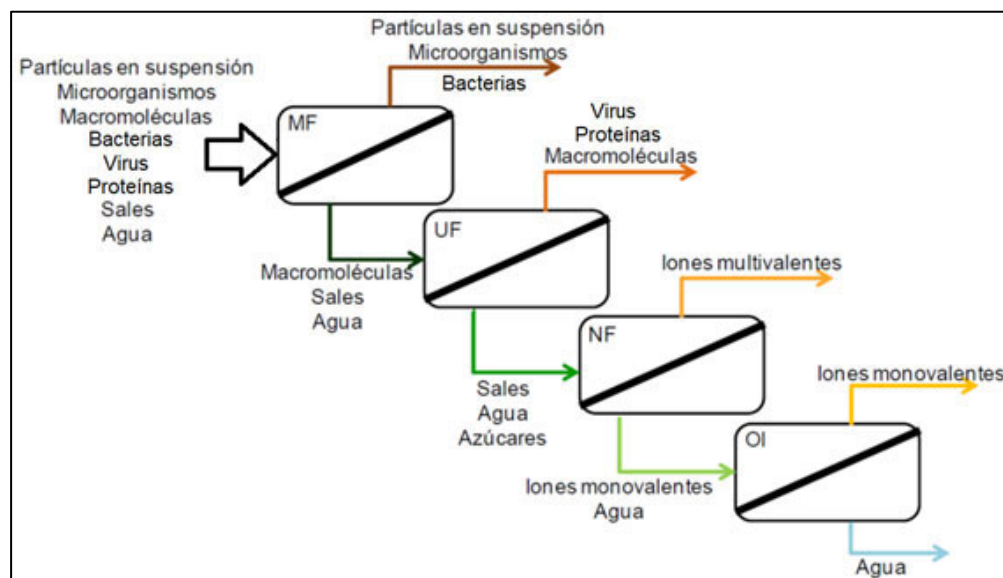


Figura 6.- Tipos de Separación por Membrana (2008).

a. Microfiltración (MF)

Es un proceso físico que trabaja a presiones bajas (0,01 – 2 bar) con el fin de separar partículas muy grandes (0,05 – 5 micras). Puede ser una técnica especialmente útil para la eliminación de materia suspendida, bacterias, esporas, células somáticas, resinas, almidón y grasas; eliminación de emulsiones de aceite, levaduras y hongos de aguas residuales de aceite; eliminación de partículas carbonizadas para bio aceites y como pretratamiento para otras técnicas de separación avanzadas.

b. Ultrafiltración (UF)

Proceso físico que trabaja a presiones bajas/medias (0,5 – 5 bar) separando solutos grandes (entre 0,002 y 0,05 micras). Esta tecnología tiene un gran potencial para la eliminación de coloides y virus; recuperación y concentración de proteínas y péptidos; separación de polisacáridos y ácidos húmicos; concentración, fraccionamiento o purificación en productos lácteos de alto valor añadido y como pretratamiento para otras técnicas de separación avanzadas.

c. Nanofiltración (NF)

Su mecanismo de separación es tanto la diferencia de tamaño como el modelo de disolución-difusión, opera a presiones medias/altas (5 – 35 bar) y separa solutos pequeños (0,0002 – 0,002 micras). Posee gran potencial para purificar ácido láctico y aminoácidos (biorrefinerías); separar y concentrar ácidos grasos volátiles; concentrar polifenoles y corrientes salinas; desmineralizar corrientes orgánicas y eliminar pesticidas y compuestos contaminantes emergentes.

d. Ósmosis Reversa (OR)

Proceso fisicoquímico que necesita presiones altas (10 – 100 bar) para realizar la separación de sales multi- y monovalentes (<0,0002 micras). Destaca por su potencial para eliminar sales de aguas salinas y salmueras; reducir la conductividad y producir y purificar agua.

e. Diafiltración (DF)

Modificación de los procesos de UF y NF donde se añade agua para facilitar el paso o retención (en función del objetivo) de los compuestos deseados, aislándolos del resto de contaminantes. Tiene gran potencial para aislar compuestos deseados; concentrar productos de alto valor añadido de corrientes residuales: proteínas, polifenoles, lignina...; y desmineralizar corrientes orgánicas.

4.2. Explicación de un Circuito cerrado de ósmosis inversa (RO) para Mitigación de Contaminación por minerales en sistema de Tratamiento de Aguas Residuales y Reutilización de agua potable.

La ósmosis inversa (RO) es un proceso de tratamiento de membrana ampliamente utilizado para purificar las aguas residuales municipales para su reutilización potable. Adaptada en una configuración multietapa, la ósmosis inversa puede lograr hasta un 85 % de recuperación en aplicaciones de reutilización de agua potable. Las restricciones en las incrustaciones de minerales y el consumo de energía eléctrica en una instalación de tratamiento avanzada típica impiden tasas de recuperación más altas. El concentrado rechazado contiene sales inorgánicas, sustancias orgánicas y microbios que deben descargarse a través de un permiso en sitios de descarga tierra adentro, estanques de evaporación, inyección en pozos profundos o emisarios en el océano. La eliminación puede ser costosa, particularmente para las instalaciones en el interior. Alternativamente, el concentrado de RO podría tratarse más para generar más agua producto y, al mismo tiempo, minimizar el volumen del flujo de residuos del concentrado, con el potencial de aumentar la recuperación general de una instalación de reutilización potable a más del 90-95 %. La recuperación de agua a partir de concentrados se está volviendo económicamente más favorable a medida que el costo de las tecnologías de tratamiento de membrana ha disminuido y el valor del agua ha aumentado debido a una mayor demanda resultante del crecimiento de la población y la escasez de agua asociada con el cambio climático.

La **ósmosis inversa** es una tecnología de membrana que permite eliminar la salinidad del agua. Se basa en un proceso de difusión a través de una membrana semipermeable que facilita el paso de gases disueltos y moléculas sin carga electroestática de bajo peso molecular.

Es el sistema indicado para la producción de agua pura con un bajo contenido en sales, libre de virus y contaminantes químicos. Se emplean membranas de ósmosis, cuya configuración varía en función de la naturaleza del agua a tratar.

Tipología de ósmosis inversa en función de la configuración de las membranas:

- Membranas en espiral
- Membrana de discos
- Membranas vibrantes



Figura 7.- Planta de Ósmosis Reversa.

4.3. Modelo de Planta a Utilizar para Purificado del Agua en el Observatorio ALMA.

En las tecnologías de tratamiento de agua para reúso de aguas se llegó a la colusión que el modelo de planta estará compuesto por 3 Sistemas o Etapas de purificación, los cuales se detallan a continuación:

- Oxidación Avanzada.
- Remoción de Sólidos a través de Ultrafiltración (UF).
- Osmosis Reversa de alto rechazo de Boro.

a. Oxidación Avanzada:

Enfocada en la reducción de carga orgánica, medida como Demanda Química de Oxígeno o Demanda Biológica de Oxígeno. El primer sistema de oxidación avanzada está considerado para remover la materia orgánica remanente, la que se encuentra alrededor de 50 mg/l de DBO5 y ha llegado a máximos de 400 mg/l. La oxidación avanzada requiere la menor turbidez posible, por lo que se incorpora el desempeño del sedimentador secundario de la planta existente como un punto crítico de control. Para esta oxidación se considera la adición de cloro libre, filtro de carbón activado y UV. La oxidación será realizada a través de la adición de cloro libre como hipoclorito de sodio. El proceso de oxidación avanzada incluye también un filtro de carbón activado para eliminar el cloro no consumido y adsorber algunos contaminantes recalcitrantes.

b. Remoción de sólidos a través de Ultrafiltración (UF)

Luego de la oxidación avanzada, se considera el uso de una ultrafiltración para la remoción de los sólidos remanentes. Este proceso utiliza membranas para retirar los sólidos y generar las condiciones adecuadas para la etapa posterior de osmosis inversa.

c. Sistema de Osmosis Reversa con alto rechazo de Boro (RO).

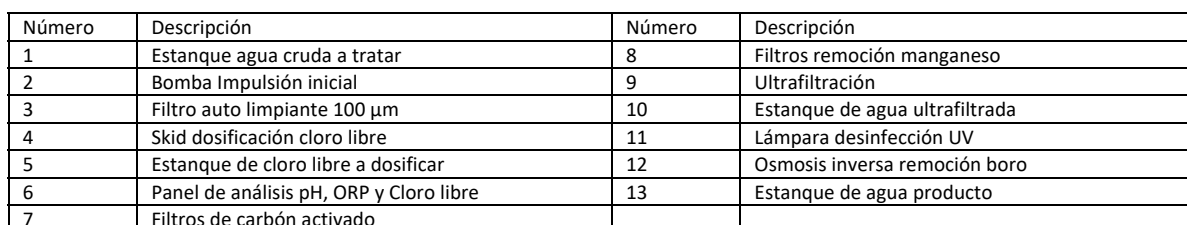
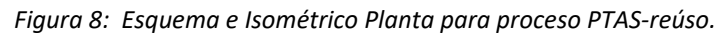
Debido a la alta concentración de boro presente en el agua potable, éste es uno de los principales elementos que se pueden encontrar en el agua servida. También se encuentran valores altos de Litio y Sodio. Esta fase está enfocada en la remoción de los sólidos disueltos totales y se estima que su recuperación debería ser mayor al 80%. El 20 % restante puede ser secado en piscinas de evaporación y el sólido acumulado descartado periódicamente. A diferencia de los procesos químicos (UV, jabones, ozono, etc) la ósmosis inversa atrapa las partículas al hacerlas pasar por una serie de mallas o membranas concéntricas de diferentes tamaños. No debe confundirse con el mero filtrado físico. El agua a tratar avanza por una serie de tuberías a elevada presión, y en dicho avance parte de la misma escapa a través de dichas membranas.

Los elementos más pesados quedan atrapados en ellas. El procedimiento parte de la idea de **vencer la presión osmótica**. Esto es, todo sistema que implica dos líquidos y una membrana semipermeable (desde nuestras venas a la savia en el interior de los árboles) tiende a fluir de forma tal que el líquido gana partículas solubles. Es decir, se concentra con el paso del tiempo con partículas.

La ósmosis inversa da la vuelta al proceso añadiendo presión en el extremo de la solución concentrada, eliminando las partículas disueltas. Si este tipo de procesos resultan interesantes es porque el agua sucia puede circular a elevada presión en circuitos cerrados formados por tuberías de membrana.

El fluido recorrerá el sistema y, con cada ciclo, el agua pura recorrerá las membranas separándose de las partículas que quedan atrapadas.

Para el diseño de esta se consideraron las estadísticas de consumo de agua del Observatorio, las cuales apuntan a un consumo diario de aproximadamente 54 m³ para un staff permanente de 150 personas.



1. Estanque de acumulación inicial

Para la operación de la planta se considera un estanque de recepción de agua residual de aproximadamente 6 m^3 . El objetivo de este estanque es ecualizar el efluente de la planta de tratamiento existente, amortiguando los cambios puntuales que se puedan presentar durante la operación de la planta de tratamiento existente. El estanque de ecualización considera un tiempo de residencia hidráulica de aproximadamente 3 horas. En caso de que se realicen modificaciones a la capacidad de los equipos posteriores, se puede requerir el aumento de dicha capacidad.

2. Bomba Inicial de proceso

Esta bomba tiene por objeto presurizar el sistema para permitir el funcionamiento del filtro de 100 micrómetros instalado aguas abajo. Inicialmente está dimensionada como una bomba de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ a 3 bar de presión, pero puede modificarse de acuerdo con la pérdida de carga del filtro seleccionado y la presión requerida por la bomba del sistema de filtros de carbón. En caso de que se requiera mayor seguridad operativa, se puede utilizar un esquema 1+1, con una bomba en funcionamiento y la otra en espera.

3. Filtro auto limpiante de $100 \mu\text{m}$

El filtro auto limpiante de tamiz $100 \mu\text{m}$ tiene como objeto la remoción de los sólidos mayores que puedan haber pasado del tratamiento de agua existente. Su objetivo es también proteger los equipos que se encuentran aguas abajo del sistema de tratamiento. Se considera tecnología auto limpiante para reducir el trabajo manual y las paradas de planta.

4. Skid de dosificación cloro libre

De acuerdo con los caudales de la planta, utilizando una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio al 10 % se requeriría entre una capacidad de bombeo de 0,8 a 1,5 l/h. El skid de dosificación también debe incluir la instrumentación para medir el caudal alimentado de manera independiente, y un pretil de contención de derrames para evitar daño de la instalación en caso de fugas. La bomba dosificadora debe poder ser controlada a través de lazo 4-20 mA, para poder modular su trabajo de acuerdo con los requerimientos del proceso.

5. Contenedor IBC de Cloro Libre

Para almacenar el cloro libre utilizado durante la fase de oxidación de la materia orgánica remanente luego del tratamiento de la PTAS existente, se considera un contenedor IBC (Intermediate Bulk Container). Las condiciones del sitio, particularmente la temperatura y la radiación solar, pueden requerir la construcción de un cobertizo para evitar la degradación del cloro libre.

6. Estaciones de análisis químico

Para el análisis y control de proceso se requiere medir el pH de entrada a la planta, para esto se requiere instalar un sensor en línea, preferiblemente diferencial para mayor duración.

Para la transmisión de datos se considera comunicación 4-20 mA, aunque se podrían proponer otras tecnologías como Ethernet/IP. Para facilitar la operación también se recomienda utilizar sensores digitales. En el caso del análisis de cloro libre, se debe utilizar un equipo colorimétrico con el método DPD. Este método es el establecido por la normativa chilena, y tiene mejor desempeño en el control de dosificación que los métodos amperométricos de membrana selectiva.

7. Filtro de carbón activado

Para eliminar el cloro libre residual luego de la oxidación, se instalará un filtro de carbón activado. El carbón activado además de eliminar los agentes oxidantes remanentes permite adsorber algunas sustancias contaminantes recalcitrantes. Los filtros de carbón activado pueden requerir su propia bomba de presurización dependiendo de la caída de presión del sistema.

8. Filtros de remoción de manganeso Greensand

Los filtros Greensand pueden remover hierro y manganeso. Se basan en el uso de oxidantes para lograr esto, lo que se alcanza adicionando cloro libre a la corriente de entrada. También puede considerarse una bomba de impulsión en caso de ser necesaria en esta etapa.

9. Unidad de Ultrafiltración

La unidad de ultrafiltración tiene como objetivo reducir al mínimo la cantidad de sólidos suspendidos y funcionar como pretratamiento para la desinfección UV, aumentando la efectividad de esta a través de la reducción de la turbidez. La Ultrafiltración también es un método efectivo para el pretratamiento de agua de osmosis, mejorando la vida útil de las membranas y la eficiencia de recuperación.

10. Estanque de agua ultrafiltrada

El agua ultrafiltrada puede ser utilizada para los distintos sistemas de limpieza (Clean in Place – CIP). Estos sistemas necesitan agua con bajo nivel de sólidos. Inicialmente este estanque está considerado con un volumen de 2 m³.

11. Lámpara de desinfección UV

La lámpara de desinfección UV es la principal unidad para la remoción de patógenos, como coliformes fecales y otros. La desinfección UV también tiene un efecto en la protección de las membranas, al actuar como eliminador de agentes oxidantes como cloro libre residual y oxidando marginalmente materia orgánica.

12. Osmosis Inversa Remoción de Boro

La última etapa del proceso de reúso de agua es la remoción de boro y otros sólidos disueltos del agua. Producto de la alta cantidad de boro presente en el agua, se considera el uso de membranas específicamente diseñadas para este propósito. El proceso de osmosis inversa puede tener un efecto en el pH, acidificando el agua, por lo que se recomienda agregar un ajuste de pH posterior, dependiendo de cuál sea el uso que se le dará. La planta de osmosis inversa incluye al comienzo un filtro de cartucho de 5 µm y una bomba de alta presión para lograr la presión requerida por el proceso. La planta de osmosis requiere también un sistema CIP incluido en el skid y en el diseño del piping de la planta. De acuerdo con la información disponible al momento de realizar este análisis se consideró que la planta debía tener una recuperación de 80%, aunque es deseable que esta recuperación sea la mayor posible. La cantidad de pasos y etapas puede variar dependiendo del diseño final de la unidad.

13. Estanque Agua producto

Finalmente se almacena el agua en un estanque de agua producto de 6 m³. La capacidad del estanque puede variar dependiendo del uso que se le dé al agua de reúso.

5. Análisis Económico y Financiero.

El Observatorio ALMA, depende en gran medida del suministro de agua potable proveniente de fuentes externas para satisfacer sus necesidades diarias. Sin embargo, este suministro de agua es costoso y está sujeto a limitaciones logísticas y de disponibilidad. En este contexto, resulta crucial realizar un análisis económico y financiero para evaluar la viabilidad de implementar alternativas que reduzcan la dependencia del Observatorio en la compra de agua potable.

El análisis económico y financiero se centrará en los siguientes aspectos:

5.1. Costos actuales de compra de agua potable.

Se examinarán los costos asociados con la compra regular de agua potable, considerando los volúmenes necesarios para abastecer al Observatorio y los precios vigentes. Esto permitirá identificar el impacto económico actual de esta dependencia externa.

Table 7: Estadística de consumo de agua potable últimos 6 años.

Año	Volumen Anual m3	Promedio Consumo Mensual m3	Valor Unitario del m3, USD	Gasto Total Anual, USD
2017	31795	2650	\$ 4,58	\$ 145.670,21
2018	21634	1803	\$ 6,83	\$ 147.686,64
2019	25588	2132	\$ 6,83	\$ 174.679,01
2020	7010	584	\$ 6,83	\$ 47.854,46
2021	13500	1125	\$ 8,35	\$ 112.707,60
2022	20404	1673	\$ 9,03	\$ 184.213,78

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

5.2. El costo total de agua potable puesta en ALMA.

El recurso hídrico (Agua Potable) no sólo contempla el costo del m3 de agua, sino que también otras dos variables que son:

- Costo Total del Transporte por m3 de Agua Potable. Contrato desarrollado por Empresa Resiter.
- Costo Total del Combustible por m3 de Agua Potable. El combustible Diesel el cual ALMA provee a sus contratos.

Es por eso que se evalúa el costo total del m3 de agua utilizando data de 19 meses corridos desde octubre 2021, generando los siguientes datos:

Table 8: Valor promedio de m3 instalado en ALMA de 22.2 USD

	Oct-21	Nov-21	Dec-21	Jan-22	Feb-22	Mar-22	Apr-22	May-22	Jun-22	Jul-22	Aug-22	Sep-22	Oct-22	Nov-22	Dec-22	Jan-23	Feb-23	Mar-23	Apr-23
Costo total del combustible por m3	\$ 0,92	\$ 0,69	\$ 1,04	\$ 0,98	\$ 1,37	\$ 1,14	\$ 1,12	\$ 1,23	\$ 1,55	\$ 1,78	\$ 1,79	\$ 1,72	\$ 1,71	\$ 2,03	\$ 1,75	\$ 1,71	\$ 1,93	\$ 1,64	\$ 1,65
Costo total del transporte por m3	\$ 11,46	\$ 10,76	\$ 9,79	\$ 9,61	\$ 11,04	\$ 7,60	\$ 8,35	\$ 8,54	\$ 21,61	\$ 11,46	\$ 24,11	\$ 10,41	\$ 10,02	\$ 9,68	\$ 9,84	\$ 15,79	\$ 12,36	\$ 9,45	\$ 10,84
Costo Total Adicional al m3 de agua	\$ 12,39	\$ 11,46	\$ 10,83	\$ 10,59	\$ 12,41	\$ 8,74	\$ 9,47	\$ 9,78	\$ 23,16	\$ 13,23	\$ 25,90	\$ 12,12	\$ 11,73	\$ 11,71	\$ 11,60	\$ 17,50	\$ 14,29	\$ 11,09	\$ 12,50
Costo del m3 de agua puesto en ALMA	\$ 8,35	\$ 8,35	\$ 8,35	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,03	\$ 9,48	\$ 9,48	\$ 9,48	\$ 9,48
Costo Total m3 de agua USD	\$ 20,73	\$ 19,80	\$ 19,18	\$ 19,62	\$ 21,44	\$ 17,77	\$ 18,50	\$ 18,80	\$ 32,19	\$ 22,26	\$ 34,93	\$ 21,15	\$ 20,76	\$ 20,74	\$ 20,62	\$ 26,98	\$ 23,77	\$ 20,57	\$ 21,98

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

Cabe destacar que el contrato de transporte de agua potable consta de un valor fijo por contrato más costos adicionales por los viajes realizados desde Capra San Pedro de Atacama al Observatorio Alma, este viaje puede ser con agua Industrial como con Agua Potable, de ahí la estimación dependiendo del factor de ocupación del camión para el tipo de agua, siendo en promedio 57% para transporte de Agua Potable.

La estimación del combustible corresponde a todos los activos que utiliza el contrato Resiter tanto para movilizar como para tratar el agua, de ahí que hay 2 camiones para traslado y una camioneta, incluidos en valor fijo del contrato. Se calculo el costo total flota y se multiplico por el factor de ocupación para transporte de agua potable para transportar el total de m3 de agua potable en el período.

5.3. Evaluación de la alternativa Técnica para Re Utilizar Agua Industrial.

Se explorarán diferentes opciones para obtener agua potable de forma más eficiente y rentable. Esto puede incluir el desarrollo de una planta de purificación del agua propia proveniente de la PTAS:

Table 9: Evaluación del Proyecto, Ingeniería Básica.

Módulos	Item	Valor USD
Módulo de oxidación avanzada y remoción de manganeso. Agua apropiada para riego.	Estanque de alimentación	3.000
	Sensor/transmisor de nivel	3.000
	Bomba de alimentación	7.000
	Sistema de dosificación de químicos (Oxidante, Soda/Ácido, FeCl ₃ , Antiincrustante, químicos CEB)	12.000
	Analizador/controlador de pH	3.000
	Analizador/controlador de ORP	3.000
	Analizador/controlador de Cloro	4.700
	Microfiltro automático 100um	2.500
	Módulo de ultrafiltración	60.000
	Compresor de aire	3.000
	Filtro Greensand remoción de Mn y carbón activado	12.000
	Subtotal	113.200
Sistemas de retrolavado.	Estanque de acumulación agua ultrafiltrada	5.000
	Sensor/transmisor de nivel	3.000
	Bomba de retrolavado UF	5.000
	Bomba de retrolavado filtro greensand	5.000
	Subtotal acumulado	131.200
Sistema de osmosis inversa y desinfección. Agua equivalente a potable.	Bomba booster RO	13.000
	Unidad de osmosis inversa con membranas de alto rechazo al Boro	123.000
	Lámpara UV Desinfección	13.000
	Sistema CIP para RO y UF	24.000
	Monitor de conductividad alimentación y permeado	3.000
	Integración de componentes en skid modular	50.000
	Subtotal acumulado	357.200
	Documentación (planos y manuales)	6.000
	Total	363.200

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

Análisis de costos de operación: Se evaluarán los costos de inversión requeridos para la implementación de las alternativas consideradas, incluyendo la infraestructura, tecnologías y equipos necesarios. Además, se analizarán los costos operativos asociados con la gestión y mantenimiento de las instalaciones.

Table 10: Evaluación costos Operacionales a 3 años

Ítem	Consumo	Costo unitario	Total Año USD
Costos Operacionales			
Consumo de hipoclorito de sodio 10%	10 Litros día	1.2 USD	USD 4.416
Consumo energético kwh	240 kWh al día	0.15 USD	USD 13.140
Operación	8 HH a la semana	14.USD	USD 5.824

Mantenimiento			
Recambio/Regeneración de membranas	cada 10 años	40.000 USD	USD 4.000
Mantenición Infraestructura	0.5 % Costo total proyecto	1.800	USD 1.800
Mantenición equipos	2 % costo total proyecto	9.000 USD	USD 9.000

Año	0	1	2	3
Costo de Inversión incluyendo PEM USD	363.200			
Costos Operacionales USD		23.380	23.380	23.380
Costos Mantenimiento USD		14.800	14.800	14.800

Total costos Operacionales USD		38.180	38.180	38.180
--------------------------------	--	--------	--------	--------

Fuente: Atacama Large Millimeter/submilliter Array (2023).

5.4. Beneficios económicos.

El Observatorio ALMA es un ente sin fines de lucro, por lo que la mejor forma para poder evaluar la viabilidad del proyecto y para que el CMT, comité evaluador de inversiones de la ESO, es basándonos en un Payback menor a 5 años.

Este retorno se estima del beneficio que significa tratar el agua resultante de la PTAS, para ello según seguimiento mensual de los volúmenes de agua industrial que se re usan para mantenimiento de caminos se muestra a continuación los gráficos por año extraído del sistema de gestión integrado de ALMA:

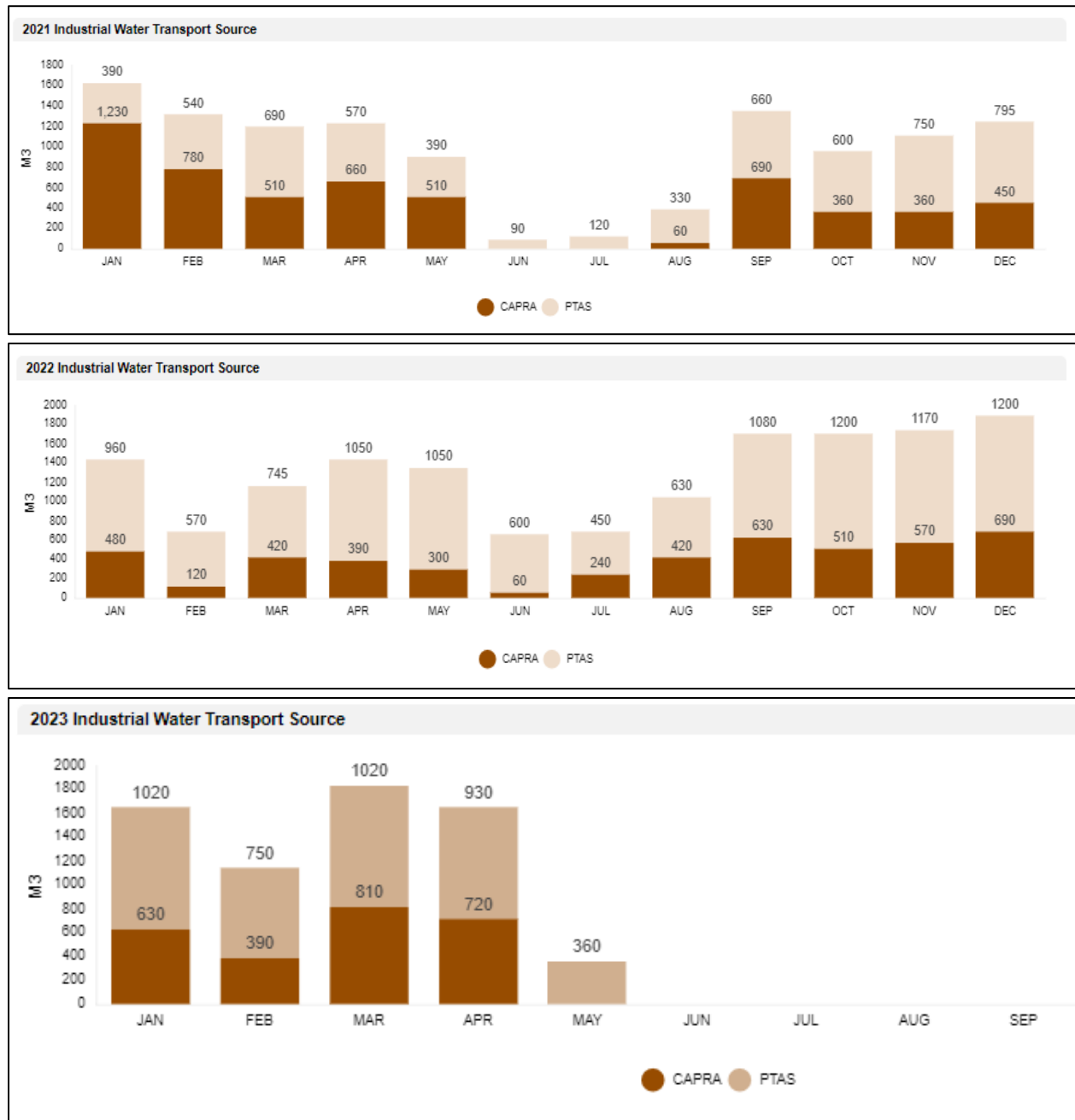


Figura 9: Estadística por año de Traslado de Agua Industrial producida por PTAS y comprada a CAPRA.

En Resumen:

Table 10: Producción Anual agua Industrial PTAS, Proyección de producción

Year	2021	2022	2023
JAN	390	960	1020
FEB	540	570	750
MAR	690	745	1020
APR	570	1050	930
MAY	390	1050	919
JUN	90	600	922
JUL	120	450	924
AUG	330	630	927
SEP	660	1080	919
OCT	600	1200	922
NOV	750	1170	924
DEC	795	1200	927
Total Industrial water from PTAS m3	5925,0	10705,0	11103,8

Haciendo una proyección de la producción de agua Industrial futura para los próximos 6 años en m3:

Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029
m3	11524	11617	11709	11803	11898	11993

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

Y si sólo utilizamos el 50% del total de agua industrial producida por la PTAS para ser procesada y re utilizada para potabilizarla al costo que nos cuesta traer 1m3 de agua potable desde CAPRA (22.2 USD) da un ahorro anual de:

Table 11: Valores transporte real de agua industrial desde PTAS más proyección 6 años, ahorros y Payback del proyecto.

2024	2025	2026	2027	2028	2029
\$ 127.920,32	\$ 128.943,69	\$ 129.975,24	\$ 131.015,04	\$ 132.063,16	\$ 133.119,66

El proyecto de instalación de la planta más costos futuros de operación quedarían cubiertos en 4.4 años.

% Reutilización agua de PTAS	Payback años
60%	3,80
70%	3,25
80%	2,85
90%	2,53
100%	2,28

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

Considerando además que se aporta en agua potable al sistema ese 50% de agua re utilizada (procesada en la nueva planta), lo que da un ahorro a la compra de agua potable de 130.506 USD por año, cubriendo un 70% aproximadamente del presupuesto total anual en compra de agua potable a CAPRA sin contar traslado. Ver Tabla 7.

6. Proyecto de Eliminación de Plástico basado en la Elaboración de una Intervención basada en las ciencias del Comportamiento.

6.1. Desafío.

El Observatorio ALMA apunta a ser cada vez más sustentable y amigable con el medio ambiente, es por esto que el desafío de la organización es poder reducir al 100% el consumo de agua embotellada en formato de 500cc de aquí al 2030.

Los comportamientos ideales que el Observatorio ALMA quiere alcanzar es concientizar a que las personas adopten prácticas más sostenibles en su vida diaria. En particular, nos gustaría fomentar el hábito de reducir la cantidad de residuos que generamos en nuestro día a día, lo que podría mejorar tanto nuestro bienestar subjetivo como objetivo. Contribuir a la reducción del impacto ambiental negativo de los residuos plásticos y la huella de carbono asociados con la producción, transporte y eliminación de botellas de plástico. Al reducir la cantidad de residuos plásticos que generamos, también estamos reduciendo la contaminación del aire, el agua y protegiendo la salud y el bienestar de nuestras comunidades.

6.2. El Comportamiento

En general, el comportamiento ideal sería lograr que las personas perciban el consumo de agua del grifo como una elección más fácil, económica y sostenible, y que esta elección se convierta en la norma social y en una rutina diaria. Al fomentar un cambio en las actitudes y comportamientos, se podría lograr una mejora en el bienestar objetivo de cuidado del medio ambiente, al reducir el desperdicio de plástico y la huella de carbono asociada al transporte de agua embotellada.

Algunos comportamientos específicos que se podrían promover para reducir el consumo de agua embotellada incluyen:

- Llevar una botella de agua reutilizable y llenarla con agua del grifo.
- Instalar un filtro de agua en casinos y en espacios públicos para mejorar la calidad del agua del grifo.

6.2.1. El comportamiento actual respecto a la problemática va en relación a como se es que el agua potable se consume en dos formas:

a. Consumo de Agua Embotellada en formato de 500cc, esta agua se utiliza para consumo directo a las personas.

El Observatorio consumió para el año 2022 124.920 unidades de botellas de agua potable en formato de 500cc, es decir, se produjo 10 Ton métricas de plástico en basura y un costo (solo del insumo) 27.982.080 CLP.

Un estudio publicado en la revista científica Environmental Science & Technology estima que la producción de una tonelada de botellas de PET (tereftalato de polietileno) genera aproximadamente 3

toneladas de CO₂e (dióxido de carbono equivalente), lo que incluye todas las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la producción de la materia prima y al procesamiento del plástico.

Por lo tanto, para producir 10TM de botellas de PET, la huella de carbono aproximada sería de 31 toneladas de CO₂e de emisiones de gases de efecto invernadero en su ciclo de vida completo⁶. Cabe destacar que esta es solo una estimación y que la huella de carbono real puede variar dependiendo de varios factores específicos de la producción, como el uso de energías renovables, la eficiencia energética de los procesos, entre otros.

Es muy común ver botellas de agua por todos lados, oficinas, casinos, etc. Incluso hay bodegas llenas de estas, además no hay restricción para su consumo ni tampoco zonas para reciclaje de las botellas. Lo que hace evidenciar de la poca conciencia del personal del sitio en cambiar el hábito. ALMA tiene una campaña pobre para querer mejorar este hábito.



Figura 10: El problema de la abundancia de botellas plásticas.

⁶ <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

La otra problemática del por qué el personal del sitio no consume agua directamente de los grifos es por el sabor que esta tiene.

El proveedor más cercano es CAPRA en San Pedro de Atacama quien produce agua potable a través de plantas de osmosis inversa cuyo afluente de origen son napas subterráneas del desierto de Atacama, hacen que el contenido de Boro y sodio sean muy alto lo que altera el sabor. Por lo demás contar con la tecnología para la extracción de Boro del agua es muy alta para las capacidades del proveedor.

Table 12: Caracterización Agua Potable disponible para el acondicionamiento para llenado de botellas

Variable	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Arsénico	mg/l	0.007	N.D.	0.131
Boro	mg/l	7.1	N.D.	12.1
Cloro Libre	mg/l	0.43	N.D.	1.6
Cloruro	mg/l	53.6	19.0	279
Hierro	mg/l	0.337	N.D.	1.88
Magnesio	mg/l	2.6	0.17	24.7
Manganeso	mg/l	0.004	N.D.	0.040
pH	-	6.97	5.75	9.70
TDS	mg/l	159	50	913
Sodio	mg/l	28.9	28.9	28.9
Sulfato	mg/l	12.0	N.D.	133.2
Turbiedad	NTU	1.0	N.D.	7.2

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

b. Consumo de agua potable a granel.

La cual es transportada en camiones aljibes desde San Pedro de Atacama y Calama, la cual es almacenada en estanques, este consumo solamente es para inodoros, lavamanos, lavado de vajillas, duchas, lavado de vehículos, etc.; pero muy rara vez se bebe.

Si bien se han hecho varias campañas para ser eficientes en el consumo del agua potable a granel, como eliminación de fugas, sectorización del consumo y control por flujómetros, se ha logrado bajar los consumos de agua anualmente de forma sostenible, ver tabla 7. Si se dejan de lado los años 2020 y 2021 por temas de pandemia, cierre del observatorio y puesta en servicio, esos años no representativos para el ejemplo. Si el año 2022 donde se logra la dotación normal de gente en el sitio, llegando a un consumo diario por persona de 240 lt por día aproximadamente.

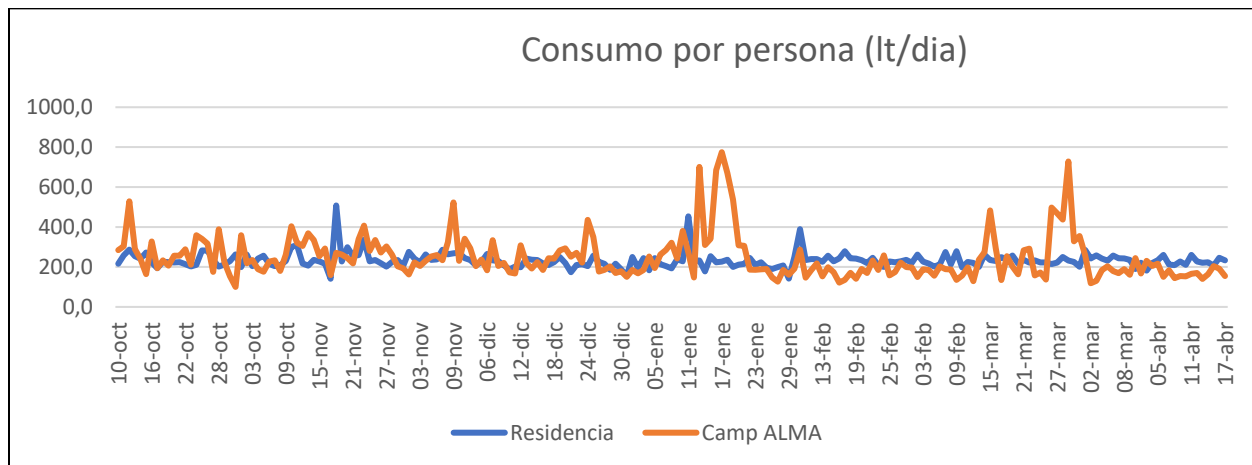


Figura 11: Grafico de control de consumo de agua potable por persona Observatorio Alma.

6.2.2. Sujetos a intervenir en términos de comportamiento y sociodemográficos.

Diariamente en el sitio hay aproximadamente 150 personas, de las cuales el 40% es personal con altos estudios universitarios y técnicos, de los cuales hay personal extranjero proveniente de Europa, Japón y USA, dedicados a labores de investigación, operaciones y mantenimiento. Las edades de este segmento van entre los 30 y 65 años. De nivel socioeconómico medio-alto con una mayor tendencia a comprar agua embotellada, lo cual le da una visión a normalidad de usarla periódicamente. Por lo demás de paladares más delicados, ya que son la fuente principal del descontento por el sabor del agua proveniente de Capra. Por lo demás este porcentaje trabaja directamente contratado para el mandante.

El 60% restante de la población en su mayoría es personal sin estudios universitarios dedicados a tareas de apoyo como aseo, alimentación y otros servicios ligados a hospitality y facility. El personal proviene de Perú, Bolivia y Chile. Las edades fluctúan entre los 20 y 50 años. Quizás con nivel socioeconómico bajo o medio bajo con mayor costumbre a beber agua desde los grifos, personal de la zona por lo que el sabor del agua no es tema para ellos y no muy acostumbrado a comprar agua embotellada, lo ven como un lujo. Este porcentaje trabaja como empresa prestadora de servicio (Contratistas).

Por lo demás se podría asumir que el segmento del 40% es quien debería consumir mayor cantidad de agua embotellada, pero no hay evidencia real que así sea.

Hay un consumo de agua embotellada no medible que es cuando llegan visitas al sitio, a las cuales por cortesía se les ofrece de este producto, es personal muy diverso entre etnias, estudios, edades, etc. Pueden ser de colegios en giras de estudios, científicos, prensa, turistas que vienen a la zona, etc.

6.3. KPI de control

El indicador consumo de Pack de botellas mes. En cada Pack vienen 12 Botellas de 500cc, teniendo una línea base para control de 778 pack por mes. Lograr bajar este número tendrá fuerte incidencia en la generación de basura plástica.

6.4. Desafíos éticos y partes interesadas.

El cambio de hábito de dejar de consumir agua embotellada puede plantear algunos desafíos éticos nombrados a continuación:

- Accesibilidad al Agua Potable de un grifo: es muy importante asegurar al consumidor que el agua que consumirá es potable (cumpla con la norma Nch409) y por ende segura; de sabor inocuo. De no cumplir esto se expone a la población a riesgos de salud.
 - o Partes involucradas: toda la consumidora del agua en sitio, departamento de seguridad y medio ambiente, entes internacionales responsables de la administración de la compañía.
- Derecho a elegir: Al incentivar a los consumidores a dejar de comprar agua embotellada, se podría estar limitando su derecho de elección. Los consumidores tienen derecho a decidir qué tipo de agua quieren beber y de dónde quieren obtenerla.
 - o Partes interesadas involucradas: Consumidores, Contratos con empresas productoras de agua embotellada.
- Impacto Económico: La disminución en la demanda de agua embotellada podría tener un impacto económico en las empresas productoras, lo que podría llevar a la pérdida de empleos y la disminución de los ingresos fiscales.
 - o Partes interesadas involucradas: Empresas productoras de agua embotellada, empleados, autoridades locales.
- Sostenibilidad ambiental: El cambio de hábito podría tener un impacto positivo en la reducción de residuos plásticos y la disminución de la huella de carbono asociada al transporte y producción de agua embotellada. Sin embargo, también es importante considerar el impacto ambiental del consumo de agua del grifo y asegurarse de que la infraestructura de distribución de agua sea sostenible. Estamos hablando de poder contar con 4.6 m3 más de agua a granel para suplir el consumo mensual de agua embotellada, lo que es un valor completamente lograble y casi despreciable, ya que estamos acostumbrados a mover como mínimo 2 camiones aljibes al día de 30m3 de capacidad.
 - o Partes interesadas involucradas: Medio ambiente, consumidores, empresas productoras de agua embotellada, autoridades locales.

Es importante tener en cuenta que estos desafíos éticos no son exhaustivos y que pueden surgir otros en el contexto específico de la intervención. Al diseñar una estrategia para cambiar el hábito de beber agua embotellada, es fundamental considerar cuidadosamente los intereses de todas las partes involucradas y buscar soluciones que sean equitativas y sostenibles.

6.5. Investigación de posibles estudios o casos reales en bajar el consumo de agua embotellada.

La bibliografía para basarse es extensa y rica, por ejemplo, en un estudio publicado en el Journal of Consumer Research, se abordó el problema de la falta de disposición de los consumidores a pagar por agua potable en países en desarrollo. Los resultados indicaron que los consumidores estaban dispuestos a pagar más por agua que fuera percibida como "segura" y "limpia". En este sentido, se podría implementar una estrategia de marketing que promueva la calidad del agua potable del grifo como una alternativa segura y confiable al agua embotellada.

Por otro lado, en una investigación realizada por la Universidad de Yale se evaluó la efectividad de distintas estrategias para reducir el consumo de agua embotellada en una comunidad universitaria. Las estrategias incluyeron información sobre el impacto ambiental del consumo de agua embotellada, la instalación de fuentes de agua potable en lugares estratégicos y la venta de botellas reutilizables. Los resultados mostraron que la estrategia más efectiva fue la instalación de fuentes de agua potable, lo que sugiere que facilitar el acceso a agua potable es una forma efectiva de reducir el consumo de agua embotellada.

En ambos casos, se puede observar que las intervenciones efectivas se basan en la comprensión de los factores que motivan el comportamiento de los consumidores y en la identificación de soluciones que aborden estas motivaciones de manera efectiva. Por lo tanto, al diseñar una intervención para reducir el consumo de agua embotellada, es importante considerar factores como la percepción de la calidad del agua potable del grifo, la facilidad de acceso a agua potable, incentivos y el impacto al medio ambiente que puedan motivar el cambio de comportamiento.

Referencias:

- (Akber, 2018)Hartmann, C., Siegrist, M., & Mager, C. (2010). Risk Perceptions of Faucet Water Users. *Risk Analysis*, 30(4), 710–727.
- (Sendhil Mullainathan, 2013)Why having too little means so much. Macmillan. Este libro explora cómo la escasez de recursos (como el agua) puede afectar la toma de decisiones y el comportamiento humano.
- (McKenzie-Mohr, 2011)Verplanken, B., & Wood, W. (2006). Interventions to break and create consumer habits. *Journal of Public Policy & Marketing*, 25(1), 90-103. Este artículo revisa la investigación sobre cómo los hábitos de consumo se forman y mantienen, y ofrece estrategias para cambiar hábitos no deseados.

6.6. Diseño de Intervenciones para el Objetivo del Proyecto.

6.6.1. Intervención 1:

La Instalación de una planta de filtrado enfocada para el acondicionamiento del agua potable para bebidas, equivalente al agua embotellada con un valor aproximado de 65mil USD lo que podría tener un **Payback de 1.3 años si se quiere erradicar totalmente el agua embotellada.**

Los valores más altos detectados de metales son Magnesio, Hierro, Boro y Arsénico. Son particularmente de interés la reducción de Hierro y Magnesio ya que su efecto en el sabor es característico.

Finalmente, para el punto de consumo, se propone colocar una osmosis inversa de tamaño comercial compacta con capacidad para 500 litros al día. La instalación de esta planta de osmosis puede incluir operaciones de remoción de cloro y acondicionamiento de acidez en el punto. El uso del agua de osmosis inversa busca incentivar el uso de botellas personales reutilizables y reemplazar el uso de botellas desechables de agua potable. En la Figura se muestra un esquema propuesto para la planta de acondicionamiento de agua para botellas. El agua de producto debe cumplir con las directrices de las Guías para la calidad del agua de consumo humano de la Organización Mundial de la Salud.

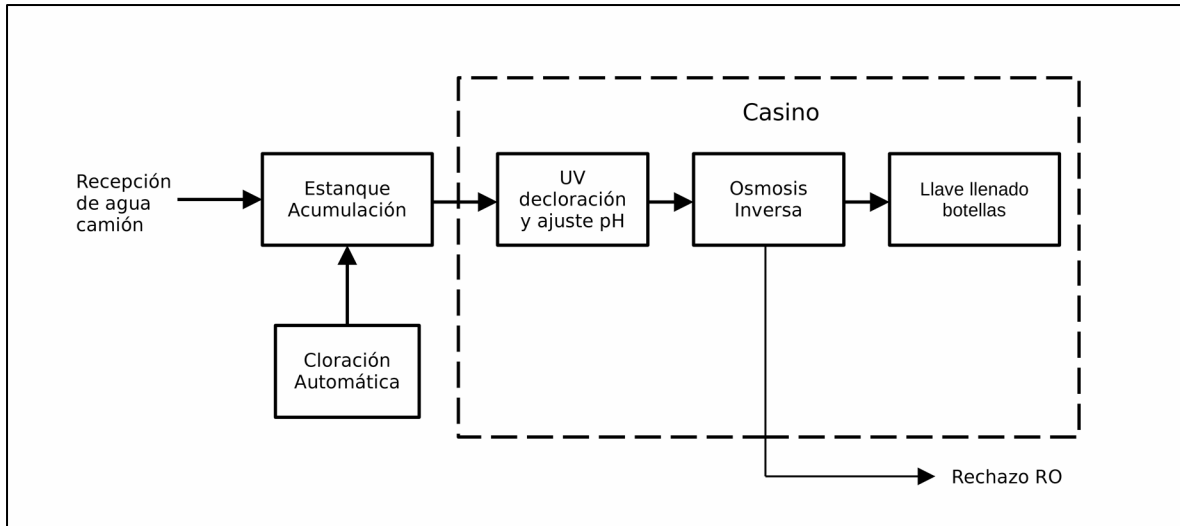


Figura 12: Esquema de proceso propuesto planta de filtrado agua a granel.

Table 13: Inversión planta de agua potable

Item	Valor USD
Estanque de alimentación	1.650
Bomba de alimentación	6.500
Sistema de dosificación de químicos (NaClO, SMBS, Soda/Acido)	8.000
Analizador/controlador de pH	3.900
Prefiltración	1.950
Unidad de osmosis inversa	22.750
Unidad de IX selectiva a Boro	9.750
Monitor de conductividad alimentación y permeado	2.000
Integración de componentes en skid modular	6.500
Documentación (planos y manuales)	2.000
Total	65.000

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

6.6.2. Intervención 2:

Utilización de la estrategia de "nudges" para fomentar un comportamiento más sostenible. Por ejemplo, se podrían colocar letreros con fotografías del daño de acumular plástico y/o mensajes sobre el usar tú botella. Estas fotografías se instalarían en lugares estratégicos, como cerca de las fuentes de agua potable, que promuevan el consumo de agua del grifo en lugar de agua embotellada.

Estos letreros podrían incluir mensajes que destaquen los beneficios ambientales y económicos de elegir el agua del grifo, como "El agua del grifo es más económica y sostenible" o "Beber agua del grifo es una forma fácil de reducir su huella de carbono"



Figura 13: Promoción de consumo de agua de grifo

6.6.3. Intervención 3:

podría ser utilizar la norma social para fomentar el comportamiento deseado. Las personas tienden a seguir el comportamiento de sus pares, por lo que se podrían desarrollar campañas de concienciación que resalten el hecho de que muchas personas están haciendo el cambio a agua del grifo y reduciendo su consumo de agua embotellada. Estas campañas podrían incluir testimonios de personas que han hecho el cambio y que explican cómo ha mejorado su calidad de vida y su impacto en el medio ambiente.



Figura 14: Testimonios

Además, se podrían implementar incentivos para fomentar el comportamiento deseado. Por ejemplo, se podrían ofrecer postres especiales o alguna porción extra de comida a quienes lleven su propia botella reutilizable y pidan agua del grifo en lugar de agua embotellada. Otra opción sería que la misma empresa a quienes vean realizando esta acción sostenible se le regalen botellas reutilizables de alta gama o calidad.

Estos incentivos podrían ser parte de un programa más amplio de recompensas por comportamientos sostenibles, lo que ayudaría a aumentar la percepción de valor de las personas sobre el agua del grifo y fomentar un cambio a largo plazo.

6.7. Selección de las Intervenciones.

Table 14: Esfuerzo- Impacto de las Intervenciones.

Intervención	Esfuerzo	Impacto
Intervención 1	Alto (requiere inversión)	Alto (puede reducir significativamente el consumo de agua embotellada)
Intervención 2	Bajo (requiere cambios en la comunicación)	Medio (puede tener un impacto limitado en la reducción del consumo)
Intervención 3	Bajo (requiere cambios en la comunicación)	Alto (puede tener un impacto significativo en la reducción del consumo)

Fuente: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (2023).

Criterios para la elección final:

1. Impacto potencial: Se debe considerar el impacto potencial de cada Intervención en la reducción del consumo de agua embotellada. En este caso, la Intervención 1 tiene el mayor impacto potencial, seguida de la Intervención 3 y la Intervención 2.
2. Costo / Esfuerzo: Se debe considerar el costo y el esfuerzo requerido para implementar cada Intervención. En este caso, la Intervención 2 y la Intervención 3 son más fáciles y económicas de implementar que la Intervención 1, que requiere una inversión significativa.

Sostenibilidad: Se debe considerar la sostenibilidad a largo plazo de cada Intervención. En este caso, la Intervención 1 puede ser más sostenible a largo plazo, ya que proporciona una solución de filtrado de agua que podría ser utilizada en el futuro para reducir el consumo de agua embotellada en otros contextos. Las Intervenciones 2 y 3 pueden requerir cambios periódicos en la comunicación para mantener su efectividad.

7. Conclusiones.

A lo largo de esta tesina, hemos explorado en profundidad la relevancia, la eficacia y las implicaciones de la reutilización del agua en diversos contextos globales. Hemos examinado un rango de evidencia que la tecnología existe y esta accesible, que es una estrategia viable y esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos del Observatorio ALMA.

Los estudios de caso que hemos analizado demuestran claramente que la reutilización del agua puede ser un medio eficaz para aliviar la escasez de agua que cada vez ira en aumento partiendo de la base que el emplazamiento en donde se ubica el Observatorio ALMA es el desierto de Atacama conocido por ser el más árido del mundo, de ahí la relevancia de sacar adelante estos proyectos.

Mejorar la resiliencia frente al cambio climático, y fomentar un uso más sostenible de los recursos hídricos y la eliminación del plástico. Sin embargo, también hemos discutido los desafíos técnicos, económicos, regulatorios y sociales que deben superarse para implementar con éxito estrategias de reutilización del agua, si nos centramos en estos últimos el marco regulatorio nacional que no te permite consumir agua potable purificada de un efluente como el propuesto y el cómo abordar sobre el subconsciente del usuario final que sabrá que el agua con el cual se esta duchando o hasta bebiendo, es de un proceso de reutilización.

Hemos explorado cómo los avances tecnológicos pueden ayudar a superar algunos de estos desafíos, pero también hemos subrayado la importancia de la gobernanza, la política y la educación en la promoción de la reutilización del agua. Asimismo, hemos destacado la necesidad de enfoques de gestión del agua que sean holísticos, adaptativos e integrados, y que tengan en cuenta los contextos locales específicos y las necesidades de las diversas partes interesadas.

A la luz de esta investigación, queda claro que la reutilización del agua no es solo una oportunidad técnica, sino también una necesidad social y ecológica. Requiere un cambio de mentalidad, desde la visión del agua como un recurso ilimitado hasta la comprensión de su verdadero valor como recurso vital y finito.

Esperamos que los hallazgos y las recomendaciones de esta tesina puedan servir como un recurso valioso para los responsables de la toma de decisiones, los gestores de agua, y la comunidad astronómica en su conjunto. Mientras avanzamos hacia un futuro cada vez más incierto en términos de cambio climático y presión sobre los recursos hídricos, es imperativo que sigamos explorando, promoviendo y perfeccionando estrategias como la reutilización del agua. En última instancia, el futuro de nuestra seguridad hídrica y nuestra capacidad para sostener la vida y el bienestar humanos dependerá de ello.

La solución existe y es viable.

8. Bibliography

- Agrarias, O. d. (2016). *studio el cambio climático y los recursos hídricos de Chile*.
- Akber, M. A. (2018, Febrero). *Willingness to pay for improved drinking water in the southwest coastal Bangladesh*.
- Antó, J. M. (2023). La crisis del clima y la de la salud pública. *Gaceta Sanitaria*.
- Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. (2023). *Estudio de Prefactibilidad Técnico-económico para la instalación de una Planta de reúso de aguas servidas en el Observatorio ALMA*. Valparaíso.
- Barnosky, A., Hadly, E., Bascompte, J., Brown, J., Fortelius, M., & Smith, A. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486(7401), 52-58.
- Chaorui Xue, Q. Z. (2022). *Laser thermal synthesis of reduced graphene oxide/CuS nanocomposites for efficient solar-driven water purification*.
- Fernandez-Torquemada. (2009). *Desalination and water treatment*.
- Gan, T., Liang, W., Yang, H., & Liao, X. (2020). The effect of Economic Development on haze pollution (PM2.5) based on a spatial perspective: Urbanization as a mediating variable. *Journal of Cleaner Production*, Volume 266, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121880>.
- González, N., Marqués, M., Nadal, M., & Domingo, J. (2020). Meat consumption: Which are the current global risk? A review of recent (2010-2020) evidences. *Food Research International*, vol. 137, 109341, ISSN 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109341>.
- Han Gu a, M. H. (2021). *Operational optimization of closed-circuit reverse osmosis (CCRO) pilot to recover concentrate at an advanced water purification facility for potable reuse*.
- Larrinaga, O. V. (2010). *EL ESTUDIO DE CASOS COMO METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN ECONOMÍA DE LA EMPRESA Y DIRECCIÓN ESTRATÉGICA*,.
- Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., & Asano, T. (2011). *Direct potable reuse: a future imperative*. Retrieved from IWA Publishing: <https://iwaponline.com/jwrd/article-abstract/1/1/2/28134/Direct-potable-reuse-a-future-imperative>
- M. Qadir a b, D. W.-S. (2010). *The challenges of wastewater irrigation in developing countries*. Retrieved from Agricultural Water Management: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377408002989>
- M. Zemp, M. H. (2019). *Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016*. Retrieved from Nature.
- McKenzie-Mohr, D. (2011). *Fostering Sustainable Behavior: An Introduction to Community-Based Social Marketing (Education for Sustainability Series)*.

- Normalización, I. N. (2005). *NORMA CHILENA OFICIAL NCh409/1. of 2005*. Santiago.
- OMS. (2022, marzo 21). Agua para consumo humano. *Centro de prensa, Organización Mundial de la Salud*.
- Oxford English Dictionary. (2023, mayo 30). *OED*. Retrieved from Oxford English Dictionary: <https://www.oed.com/>
- Sendhil Mullainathan, E. S. (2013). *Sacarcity*.
- Singh, Y., Agarwal, M., Gupta, P., Maheshwari, K., & Midda, O. (2019). Application of synthesized Fe/Al/Ca based adsorbent for defluoridation of drinking water and its significant parameters optimization using response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 7, Issue 6*, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103465>.
- Sotto Díaz, A. (2008). *Aplicación de la tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos*.
- Ünal, C. (2021). *Extended exergy analysis of a solar driven water production plant via reverse osmosis*.
- Valentina Lazarova, T. A. (2013). *Milestones in Water Reuse*.