



CLAVES PARA LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES RURALES



Primera Planta de Reúso de Aguas
Tratadas en la Región de Coquimbo,
una experiencia replicable

Proyecto financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo
a través del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC)



Proyecto financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo a través del Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC).

Fundación Chile

CLAVES PARA LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES RURALES

ISBN: 978-956-8200-41-1

Equipo Técnico Fundación Chile

Andrés Pesce A.
Ulrike Broschek S.
Gerardo Díaz M.
Claudia Galleguillos C.
Karien Volker K.
Cecilia Vidal C.
Sebastián Jofré R.
Sebastián Papi M.
Jutta Hoppe
Elena Sanchis B.
Carolina Jaramillo E.

Asesores

Jorge Núñez C.
Luis Gurovich R.
Cristian Villalobos V.
R.J.T.F. Agrotransportes E.I.R.L
Wilson Rojas T.

Comunicación y Marketing Fundación Chile

Katherine Noack G.
Macarena León O.
Loreto Velázquez Z.
Alejandra Rivera B.
Javiera Alcayaga Z.
Erika López G.

Edición

Sofía Törey F.

Diseño y diagramación

Verónica Zurita V.

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada su reproducción y distribución con previa autorización y citando fuentes.

Santiago-Mayo, 2018

Agradecimientos a los participantes regionales por su valiosa contribución al desarrollo de la iniciativa:

Comité Técnico:

Andrés Abarca A., MOP-DOH Coquimbo
Edgardo González M., SEREMI Agricultura de Coquimbo
Milenka Ramírez P., SEREMI Salud de Coquimbo
Tomás Cortés Z., MOP-DOH Regional de Coquimbo
Cristian Baquedano E., CRDP de Coquimbo
Martín Rodríguez L., SUBDERE Coquimbo
Rodrigo Romo B., SUBDERE Coquimbo
Francisca Vergara G., GORE Coquimbo
Mario Suarez R., GORE Coquimbo
Javier Vargas R., ESVAL
Rodrigo Osorio R., ESVAL
Jorge Miranda C., Aguas del Valle
Sergio Silva S., INIA
Héctor Maureira C., CAZALAC
Enrique Villalobos V., INFOR
Sandra Gacitúa A., INFOR
Oscar Contreras G., Universidad de La Serena
David Gómez S., Universidad de La Serena
Raúl Torres M., SAG
Gloria Alvarado J., FENAPRU
Jaime Castillo A., Asociación APR Elqui
Pedro Alfaro V., Asociación APR Limarí

Administración APR Cerrillos de Tamaya:

Dionisio Antiquera G.
Daniel Vega V.
Nelson Gamboa P.
Elva Troncoso C.
Erman Vicencio A.
Rolando Pinilla V.
Marisa Velásquez V.

CLAVES PARA LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES RURALES

PRIMERA PLANTA DE REÚSO DE AGUAS
TRATADAS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO,
UNA EXPERIENCIA REPLICABLE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6	DEL REÚSO URBANO AL REÚSO RURAL
CAPÍTULO 1	8	¿POR QUÉ PENSAR EN EL REÚSO DE AGUAS?
	10	Una nueva fuente de agua dentro del cambio global
	12	De los promedios nacionales a las realidades territoriales
	15	Región de Coquimbo y su recurrente sequía
CAPÍTULO 2	18	REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS
	20	¿Qué es el reúso de aguas residuales?
	21	Experiencia internacional
	23	Experiencias nacional
CAPÍTULO 3	26	MARCO REGULATORIO
	28	Orientaciones internacionales: tratamiento adecuado al objetivo
	38	Chile: un tema no regulado
	40	Riego sin riesgo
CAPÍTULO 4	44	PANORAMA REGIONAL
	46	Huella hídrica: la cara de la demanda
	55	Aguas residuales disponibles

CAPÍTULO 5	64	PLANTAS DE TRATAMIENTO RURALES
	66	Radiografía a los sistemas de tratamiento de aguas rurales
	71	Analizando el potencial para un primer sistema de reúso en La Región
	75	Claves para obtener aguas con calidad para reúso
CAPÍTULO 6	80	EXPERIENCIA EN CERRILLOS DE TAMAYA
	82	El caso de Cerrillos de Tamaya
	85	Selección del cultivo y tecnología de riego
	88	Evaluación económica para elegir el cultivo
	91	Proyecciones futuras del reúso en la región de Coquimbo
	92	Evaluación emisarios submarinos: Potencial nueva fuente de agua para la región de Coquimbo
CONCLUSIÓN	93	NUEVA FUENTE DE AGUA, NUEVA FUENTE DE RECURSOS
	94	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INTRODUCCIÓN

DEL REÚSO URBANO AL REÚSO RURAL

En enero de 2018 se inauguró la primera planta de aguas residuales tratadas para uso productivo en zonas rurales en Chile. Ubicada en la localidad de Cerrillos de Tamaya en la comuna de Ovalle, Región de Coquimbo, el sistema permitirá reusar esta agua en el riego de cultivos de alfalfa y, de paso, demostrar los beneficios del reúso para replicar iniciativas de este tipo en todo el país.

Este es un proyecto ejecutado por Fundación Chile y financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo a través del Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R 2015), que se traduce en transferencia tecnológica de soluciones nuevas a problemas que se han vuelto un fenómeno permanente, como es el caso de la escasez hídrica experimentada por esta región en la última década.

Se inserta dentro del objetivo mayor de promover el reúso de las aguas en Chile, una práctica que se ha desarrollado en el mundo desde hace más de seis décadas y ha tomado creciente fuerza en países como Estados Unidos, Arabia Saudita, Australia, Singapur, Qatar, Kuwait e Israel, con aplicaciones en la agricultura, en proyectos urbanos e industriales, y en recarga de acuíferos, entre otros.

Entre 2014 y 2016, Fundación Chile realizó un diagnóstico técnico, económico y normativo del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso, con perspectivas de implementar a futuro sistemas de reúso para emisarios submarinos. En el presente proyecto, enfocado en profundizar el análisis y sumar una iniciativa local en el ámbito rural, se busca sentar un precedente de las posibilidades que abre el reúso de aguas como nueva fuente para el uso productivo, acorde a tendencias internacionales actuales: a nivel mundial, UN-Water estimaba en 2013 que 20 millones de hectáreas se abastecían de aguas residuales tratadas, equivalentes a un 7% de las tierras de regadío. En el caso de Israel, país que va a la vanguardia en este tema, el 85% de sus aguas residuales son destinadas al reúso.

Las próximas páginas registran el camino recorrido para llevar a cabo el reúso de aguas residuales en Chile de acuerdo a los estándares internacionales actuales y que logra plasmarse a través del proyecto de Cerrillos de Tamaya.

Se comienza con los aspectos contextuales –en el mundo, en el país y en la región– que nos llevan a considerar las aguas residuales tratadas como un recurso y no como un desecho.

Se reseñan los principales conceptos del reúso y la experiencia existente en la materia, así como la regulación internacional y nacional que puede relacionarse con la producción con aguas residuales tratadas, y las orientaciones prevalentes en esta materia.

Luego se expone un diagnóstico regional tanto desde la perspectiva de su demanda hídrica –expresada en la medición de la huella hídrica– como de la oferta de aguas residuales, que sirvió de base para la justificación de las principales localidades candidatas para ejecutar la experiencia, unido al análisis de los sistemas de tratamiento de aguas rurales presentes en la región. Este ejercicio sin precedentes servirá para el estudio y diseño de los próximos sistemas de reúso.

Del mismo modo, la descripción del caso implementado aporta criterios para la selección de plantas de tratamiento de aguas servidas aptas para ejecutar estos proyectos, con miras al éxito y réplica de la iniciativa.

Colaboración, interés y acuerdo entre los actores, fueron los factores que resultaron de gran relevancia para la implementación y concreción del reúso en la región. Estas fueron condiciones claves para el éxito de esta iniciativa, lo que permite visualizar múltiples beneficios: para sus participantes, como compartir los beneficios económicos entre las partes directamente involucradas; incrementar los estándares de calidad de los sistemas de tratamiento, mejorar la calidad de vida de los habitantes asistidos y reducir el impacto ambiental local. A nivel nacional, la iniciativa genera experiencia y conocimiento para destrabar potenciales barreras regulatorias, mejorar la percepción del reúso al asegurar los estándares internacionales de calidad y demostrar que se puede aprovechar la infraestructura existente dándole un valor agregado, transformándose esta iniciativa en un referente a nivel nacional y también para la región latinoamericana como ejemplo de reúso productivo autosustentable y replicable.

CAPÍTULO



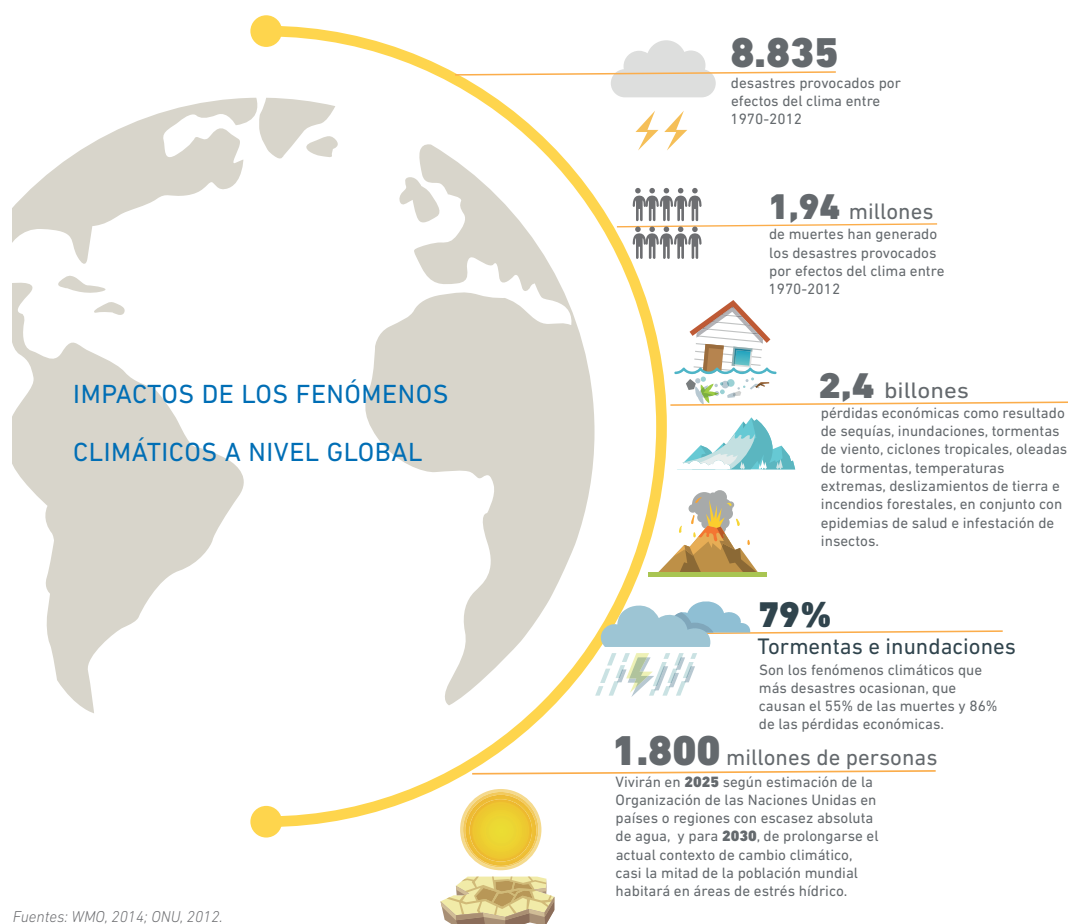
¿POR QUÉ PENSAR EN EL REÚSO DE AGUAS?



UNA NUEVA FUENTE DE AGUA DENTRO DEL CAMBIO GLOBAL

La sequía, que siempre ha sido una de las mayores amenazas para la supervivencia de la humanidad, es uno de los desastres que afecta a mayor número de personas.

El cambio climático se ha convertido en el mayor desafío que ha tenido que enfrentar la humanidad, generando una creciente influencia negativa sobre la disponibilidad de recursos hídricos en todo el mundo. Los desastres relacionados con las variaciones climáticas y sus efectos causan pérdidas significativas de vidas e impiden el desarrollo económico y social por años e incluso décadas en los países afectados. Las agencias internacionales se han ocupado de dimensionar estos fenómenos.



Fuentes: WMQ, 2014; ONU, 2012.

La sequía, que siempre ha sido una de las mayores amenazas para la supervivencia de la humanidad, es uno de los desastres que afecta a mayor número de personas. Este es un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal, que no presenta epicentro ni trayectoria definida y se extiende de manera irregular a través del tiempo y del espacio, provocando que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las necesidades humanas y de los ecosistemas (Ortega-Gaucin, 2013).

En esto, el ser humano tiene una responsabilidad que no puede eludir. Uno de los mensajes claves del Quinto Informe de Evaluación del Clima del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), indicó que “la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas” (MMA, 2017).

En la misma medida que crece la población, la demanda por los recursos hídricos se incrementa para la producción de alimentos, usos industriales y domésticos. Por tanto, la disponibilidad de agua dulce -que es menos del 1% de toda el agua presente en el planeta- impone límites al número de personas que pueden habitar una zona determinada y la calidad de vida con la que se desarrollan en dicho territorio. Si se mantiene y/o incrementa la demanda de agua dulce, superando la capacidad de recarga de las diferentes fuentes, en algún momento la sobreexplotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos podría provocar la escasez crónica de agua a nivel mundial.

A lo anterior se suma la continua contaminación de los recursos hídricos dulces, lo que intensifica el déficit de agua requerida para suplir todas las necesidades humanas. Según datos de la UNESCO, el 80% de las aguas residuales fluyen de nuevo en el ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, lo que contribuye a una situación en la que alrededor de 1,8 mil millones de personas utilizan una fuente de agua contaminada con heces, poniéndolas en riesgo de contraer el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la polio (UNESCO, 2017).

En este contexto, el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017, titulado “Aguas residuales, el recurso desaprovechado”, destaca que “frente a la siempre creciente demanda, las aguas residuales están cobrando importancia como fuente de agua alternativa fiable, cambiando el paradigma de la gestión de aguas residuales de “tratamiento y eliminación a reutilización, reciclado y recuperación del recurso”. En este sentido, las aguas residuales ya no se consideran como un problema que necesite solución, sino como parte de la solución a los retos a los que se enfrentan las sociedades hoy en día”. (WWAP, 2017).

DE LOS PROMEDIOS NACIONALES A LAS REALIDADES TERRITORIALES

Si bien el promedio nacional ubica a Chile como un país privilegiado en cuanto a recursos hídricos, las realidades de las distintas regiones muestran disponibilidades que varían entre 0,01 m³/s en la zona norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral.

Si bien Chile tiene una gran variedad de climas, ecosistemas, vegetación y patrones de uso de suelo, es un país altamente sensible y vulnerable al cambio climático, cumpliendo con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciados por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos.

En lo que al agua se refiere, en el contexto internacional Chile podría ser considerado un país privilegiado por su disponibilidad de recursos hídricos: en su territorio continental, el volumen de agua procedente de las precipitaciones y que escurre por las cuencas es de 53.000 m³/habitante/año, valor que supera en 8 veces la media mundial (6.600 m³/habitante/año) y 25 veces el mínimo requerido para el desarrollo sostenible de cualquier país (2.000 m³/habitante/año) (MOP.a, 2011; MOP.b, 2016).

Sin embargo, estos promedios pueden resultar engañosos cuando se miran las diferentes realidades territoriales:

- La distribución de los recursos hídricos varía de acuerdo a la zona, siendo el norte del país extremadamente seco, mientras que en la zona central y meridional prevalece un clima mediterráneo templado (CEPAL-OCDE, 2016). La disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas varía entre 0,01 m³/s en la zona norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral (Escenarios Hídricos 2030 Chile, 2018).
- La distribución de las actividades productivas que requieren agua para su funcionamiento es también muy diversa. Estas aumentan considerablemente la demanda hídrica en las zonas donde se realizan.

Agua procedente de las precipitaciones



25 veces el mínimo requerido para el desarrollo sostenible de cualquier país (2.000 m³/habitante/año)

- Prácticamente la mitad del país tiene una disponibilidad de agua subterránea por habitante menor a la media mundial, lo cual da cuenta de situaciones de gran disparidad relacionadas con la distribución de los recursos hídricos en el territorio nacional. En las zonas áridas y semiáridas al norte de Santiago la media de disponibilidad de

agua es menor a los 800 m³/habitante/año, mientras que hacia el sur del país la disponibilidad supera los 10.000 m³/habitante/año (Interior, 2015)..

Ya existen en Chile evidencias y pronósticos sobre los impactos negativos del cambio climático.

EFFECTOS Y PROYECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE



Temperatura

Datos históricos registran aumentos de la temperatura en el valle central y cordillera, indicando que a futuro se experimentaría un aumento de las temperaturas en todo el país, siendo mayor en la zona norte. Se proyecta que para el año 2030 habría un aumento de a lo menos **0,5 °C** para las zonas sur y austral, y de **1,5 °C** para el norte grande y el altiplano.

Precipitación

Se ha observado una disminución significativa de las precipitaciones en la zona centro-sur del país, estimándose que para el año 2030 estas descenderán entre el **5% y 15%** para las zonas comprendidas entre las cuencas de los ríos Copiapó y Aysén.

Eventos Climáticos Extremos

Se espera un marcado aumento en los eventos de sequía, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI, proyectándose hacia fines de siglo una ocurrencia de **más de 10 veces en 30 años**. Las pérdidas ambientales, sociales y económicas en el país por fenómenos de este tipo podrían llegar a ser significativas, alcanzando para el año 2100 un 1,1% anual del PIB.



Fuente: MMA(2017).



En lo que se refiere al fenómeno del cambio climático a nivel nacional, se prevé que para el 2050 el país será más caluroso, menos lluvioso, más propenso a las tormentas y con cada vez más días de nubosidad (ODEPA.a, 2013). Además, los paisajes sufrirán una serie de modificaciones producto de la menor disponibilidad de recursos hídricos y el avance de las zonas áridas, lo que generará el traslado de los cultivos desde la zona central cada vez más hacia el sur.

En Chile, los usos consuntivos más frecuentes del recurso agua corresponden a los destinados a riego de cultivos agrícolas y bebida, uso doméstico y saneamiento, mientras que los usos no consuntivos se concentran en la actividad industrial, piscicultura y energía hidroeléctrica.

- El **sector silvoagropecuario**, que al 2011 contribuía con el 3% del PIB nacional, capta en total 408 m³/s de agua, consumiendo a nivel nacional 188 m³/s de agua superficial y subterránea y 437 m³/s de agua lluvia.
- El **sector minero** consume 10 m³/s de agua, siendo el tercer sector económico del país en términos de contribución al PIB, con un 11,1%. Esta industria

genera el 60% de las exportaciones, localizándose principalmente desde la Región Metropolitana al norte, justamente la zona del país más afectada por la escasez natural de recursos hídricos, y donde se proyecta que aumentará la demanda en un 200% en los próximos 25 años.

- El **agua potable y saneamiento** El agua potable y saneamiento capta 55 m³/s de agua de los cuales 13,3 m³/s son consumidos principalmente debido a la descarga de aguas servidas acondicionadas al mar mediante emisarios submarinos. El 66,7% de las aguas captadas se extraen desde fuentes subterráneas, el 18,4% desde recursos superficiales y el 14,9% provienen de recursos mixtos.

Nota: Datos de captación y consumo de agua extraídos de EH2030, 2018

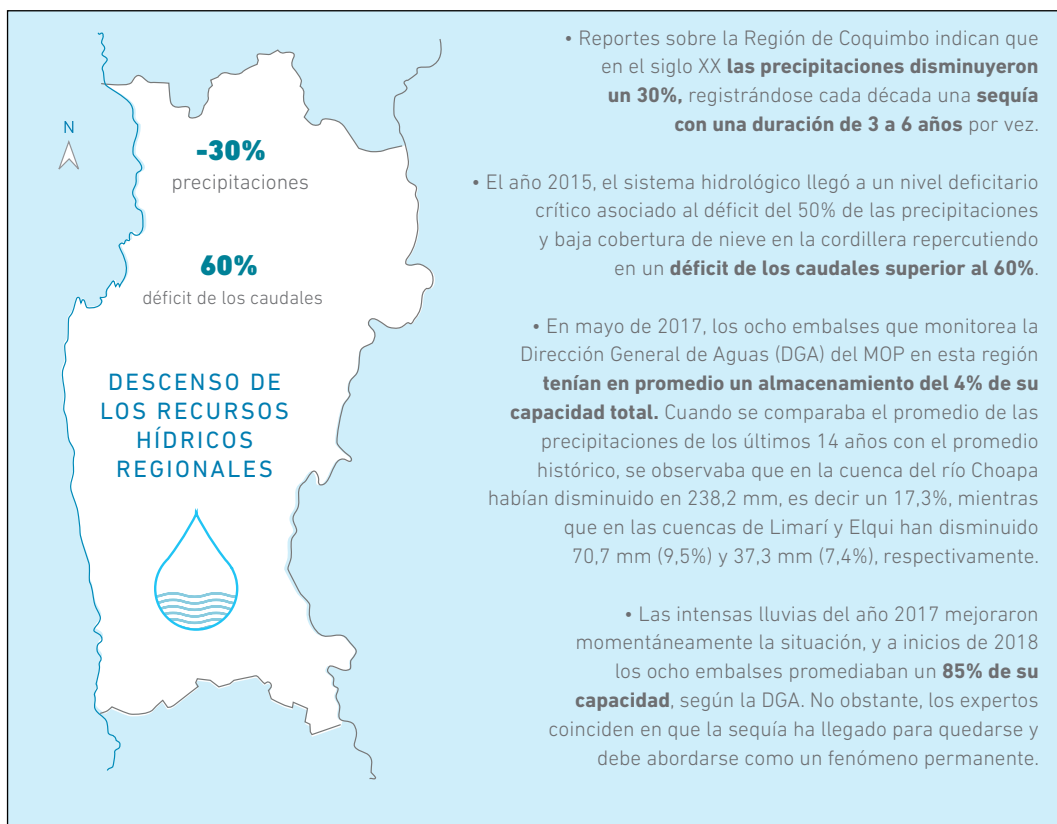
REGIÓN DE COQUIMBO Y SU RECURRENTE SEQUÍA

Reportes sobre la región indican que en el siglo XX las precipitaciones disminuyeron un 30%, registrándose cada década una sequía con una duración de 3 a 6 años por vez.

La Región de Coquimbo tiene tres importantes valles transversales -Elqui, Limarí y Choapa-, cuya morfología permite

el desarrollo de la actividad agrícola. Estos valles fértiles, sin embargo, se ven afectados fuertemente por la escasez hídrica en el sector secano, impactando también a su población, que depende de los recursos pluviométricos anuales.

Tal como sucede a nivel nacional, esta región ha experimentado un aumento creciente y constante de la demanda de recursos hídricos para sus actividades productivas. Esto ha agudizado los conflictos entre los usos y usuarios, debido principalmente a que en muchas zonas la demanda supera a la oferta, produciéndose situaciones de escasez hídrica. A ello se suma la variabilidad del recurso de un año a otro.



Fuentes: GORE_a, 2015; El Observatodo, 16 de mayo de 2017; Diario El Día, 9 de febrero de 2018.



El análisis territorial muestra que la Región de Coquimbo es diversa en sus sectores y actividades productivas demandantes de agua. El 82% del consumo hídrico se encuentra concentrado en la agricultura, registrándose altos porcentajes de pérdida debido a la escasa tecnificación de los sistemas de riego. Esta es una brecha que debe ser superada para preservar el recurso.

La escasez hídrica en la región ha impactado gravemente el uso doméstico, o consumo humano. En la actualidad, en muchos sectores se distribuye el agua mediante camiones

aljibe cada 7 ó 15 días, de acuerdo a los sistemas de acumulación existentes en las diferentes localidades y las distancias que se deben recorrer para llegar a destino.

En todo caso, hay que tener presente que, más allá de las sequías, la distribución de agua en camiones aljibe es una característica intrínseca de la región, debido a la dispersión de la población y configuración geográfica de las zonas abastecidas, lo que limita implementar soluciones definitivas para paliar la escasez de agua, tales como la instalación de sistemas de Agua Potable Rural (APR) (GORE.a, 2015).

En la Región de Coquimbo existen sectores en estado crítico, donde no se abastece con agua ni siquiera para suplir el umbral mínimo de acceso al agua establecido por la OMS entre 20-25 litros/persona/día. Las cuencas del río Los Choros, Limarí, Quilimarí y Elqui presentan actualmente una brecha hídrica alta y un 78% de los acuíferos analizados presentan un descenso significativo (EH2030, 2018).



CAPÍTULO



REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS



¿QUÉ ES EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES?

En los últimos años, debido a la creciente presión que las actividades humanas ejercen sobre los recursos hídricos, sumado a los efectos del cambio climático, surge la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua. Dentro de las alternativas, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas se ha convertido en una parte esencial de la planificación y manejo del recurso hídrico.

El reúso de aguas residuales tratadas es una estrategia de ahorro y uso eficiente de agua. Tiene por objetivo aprovechar el recurso previamente utilizado una o más veces en alguna actividad, de modo de satisfacer

necesidades de agua de los usuarios o sectores productivos que lo requieran, después de someterla a un tratamiento determinado que logre la calidad requerida por el usuario final. Su aprovechamiento conlleva también beneficios, como por ejemplo la disminución del impacto ambiental de su descarga.

El reúso de aguas residuales tratadas es una práctica común en el mundo, especialmente en países que cuentan con sistemas de tratamiento adecuados que permiten generar aguas de calidad suficiente para ser utilizadas. Esto se ha desarrollado en países como Israel, Singapur, Estados Unidos y Australia, entre otros, los que hoy llevan a cabo experiencias de reúso en grandes magnitudes debido al severo estrés hídrico que sufren. Para ello han debido generar cambios relacionados con el financiamiento de los sistemas depuradores, elaborar estándares de calidad de acuerdo al uso que se le dé al recurso, y establecer marcos regulatorios, entre otros.

Se requiere crear un entorno propicio y el apoyo de políticas para el uso de fuentes de agua no convencionales, tales como la gestión de las aguas residuales para la reutilización en diversos usos. (UN-Water.b, 2013)

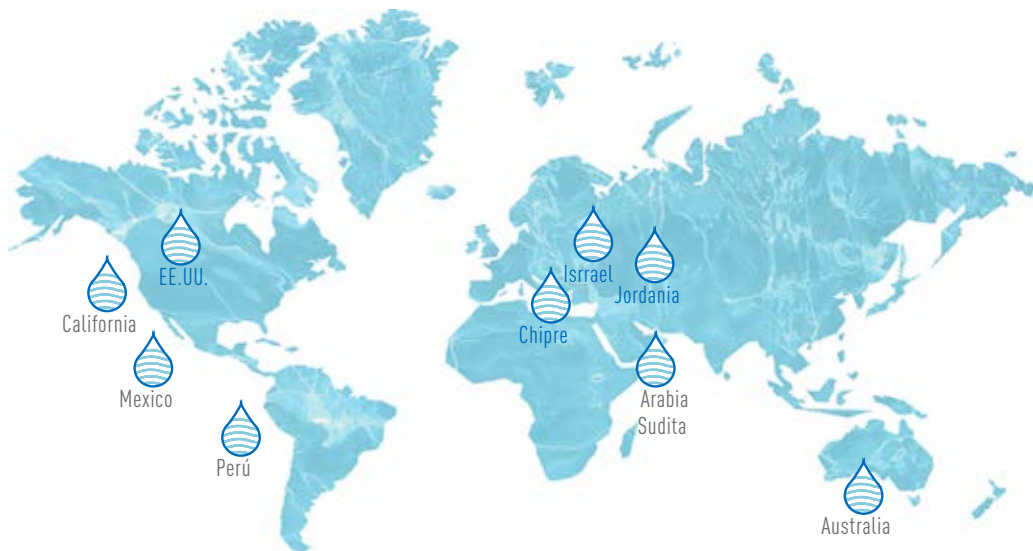
EXPERIENCIA INTERNACIONAL

La aplicación más utilizada para las aguas tratadas corresponde al riego de cultivos agrícolas, pero también se destina a proyectos urbanos, procesos industriales, recarga de acuíferos y como uso indirecto de agua potable.

A nivel mundial se estima que se generan aproximadamente 680 millones de m³/día de aguas residuales domésticas, existiendo una capacidad global de tratamiento avanzado para solo un 4% de este caudal. Sin embargo, los sistemas de tratamiento han avanzado considerablemente en los últimos años, con una tasa de crecimiento anual de 2 millones de m³/día desde el 2000,

permitiendo reutilizar el recurso hídrico de una forma más segura (GWI, 2010).

Varios países han avanzado en esta línea, proponiéndose objetivos para realizar reúso, expresados en términos de porcentaje de efluentes de aguas residuales totales tratadas. En Estados Unidos se estima que para 2010 se reutilizaba el 8% del total de aguas residuales. De acuerdo a las proyecciones, Australia debería estar alcanzando un 30%, mientras que en Arabia Saudita la tasa de aguas residuales recuperadas y reinyectadas a sectores productivos para 2015 se proyectaba en un 65%. Israel es el país que más avances ha realizado y quien va a la vanguardia en términos de reúso, proyectando para el año 2040 que el 85% del agua que demandará la agricultura provendrá del tratamiento y reúso de efluentes (Reznik, 2017).



La aplicación más utilizada para las aguas recuperadas corresponde al riego de productos agrícolas. A modo de ejemplo:

- En **Victoria, Australia**, el agua regenerada se utiliza para el riego de viñedos, tomates, papas y otros cultivos, además de la irrigación de jardines.
- Los árboles de cítricos, olivos y cultivos forrajeros utilizan aproximadamente el 90% del agua regenerada disponible en **Chipre**.
- En **Israel y Perú** se están aplicando humedales verticales para el riego de jardines y árboles frutales en sistemas de tratamiento descentralizados.
- En Ciudad de **México** se usan aproximadamente 2 m³/s de agua regenerada en agricultura, riego de áreas verdes y recarga de lagos recreacionales.
- En **Jordania** predomina el riego de cultivos de forraje, con aplicación para el riego de palmeras y aceitunas.
- En **Israel** durante el 2005 el reúso alcanzó los 350 millones de m³, de los cuales 216 millones de m³ de agua fueron entregados al sector agrícola.
- En 2009 en **California** se reutilizaban aproximadamente 82,5 millones de m³ al año, destinando un 37% de esta agua reciclada a la agricultura y un 17% al riego de áreas verdes.

Las aguas recicladas son también reinyectadas para aplicaciones de reúso urbano e industrial, estimándose que un 19% de las aguas globales con tratamiento terciario se emplean en este último sector, mientras que un 8% se destina para reúso potable indirecto (EPA, 2012). Tal es el caso del proyecto NEWater en Singapur, el cual provee aguas reusadas con calidad y estándares de agua potable, el que en 2012 poseía una capacidad total de tratamiento de 554.600 m³/día, con una proyección para 2020 de 873.000 m³/día. Con esto se espera cubrir la mitad de la demanda total de agua del país para el año 2060 (Seah & Woo, 2012).

Por otro lado, la recarga de acuíferos de aguas residuales tratadas es una práctica ampliamente extendida en países con escasez hídrica, reportándose casos en Israel, África del Sur, Alemania, Bélgica, Australia, Namibia, India, Italia, México, China, Barbados y Chipre. Esto ofrece la posibilidad de almacenar agua en el subsuelo para su posterior reutilización, ya sea agrícola, industrial y en algunos casos incluso para abastecimiento de agua potable, ayudando también a prevenir la intrusión salina en el suministro de aguas subterráneas en las zonas costeras (EPA, 2012).



EXPERIENCIA NACIONAL

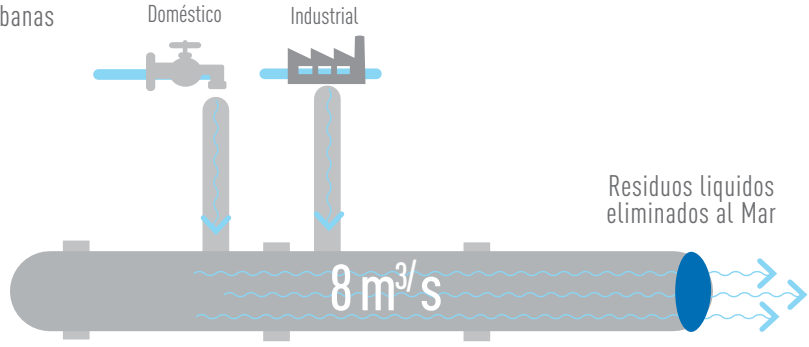
En Chile, las experiencias en materia de reúso de aguas servidas son escasas. En los últimos años han surgido algunos intentos de implementar proyectos de reúso de aguas residuales tratadas, los que no han prosperado debido principalmente a la desconfianza sobre la calidad de las aguas recicladas.

Durante 2010 y 2012 se llevó a cabo en Antofagasta el estudio “Desarrollo de tecnología para la producción de agua con calidad industrial en minería metálica a partir de agua con calidad secundaria”, proyecto del Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) a cargo del Centro de Investigación Tecnológica del Agua en el Desierto (CEITSAZA) y la Universidad Católica del Norte. El objetivo de este proyecto fue desarrollar tecnologías para transformar el agua con calidad secundaria en agua industrial apta para su uso en minería metálica,

generando impactos en el sector público y privado. Dentro de los impactos sociales destacan el aumento de la disponibilidad de agua superficial y subterránea para la comunidad, producto del descenso en las extracciones al utilizar una fuente de agua alternativa, generando por tanto menores descargas con la consecuente disminución de probabilidad de contaminación del medio ambiente. Para la empresa, el proyecto significó generar importantes insumos de información para realizar transferencia tecnológica para el uso de agua con calidad secundaria, diversificando las fuentes de agua con las cuales contaba la minería metálica en la Región de Antofagasta.

En Chile, debido a la importante cobertura alcanzada en el tratamiento de aguas servidas, existe un potencial enorme de reúso de aguas residuales tratadas (FCH, 2016). En el país se reutilizan las aguas residuales tratadas provenientes de los sistemas de tratamiento urbanos que descargan sus aguas a cuerpos superficiales, lo que ha sido reportado a nivel internacional por parte de Jiménez & Asano (2008) que cita a Mena-Patri (2001), donde

Aguas residuales urbanas



equivale a llenar **276 piscinas olímpicas** por día

cada piscina considera un volumen de

2.500 m³

se informó un caudal de 3,7 m³/s para estos fines en Santiago para el riego de diversos cultivos como árboles frutales y uva vinífera.

Sin embargo, el reúso aún no es una práctica formal regulada en Chile, situación que se extiende a zonas costeras y rurales. En el caso del litoral, se visualiza una gran oportunidad de reúso de las aguas descartadas por emisarios submarinos. Estos son sistemas de tratamiento que acondicionan aguas residuales urbanas (domésticas e industriales) para luego bombearlas a una cierta distancia de la costa, mar adentro, donde se descargan generando un efecto de dilución de estos residuos líquidos. En el país se eliminan aproximadamente 8 m³/s a través de estos sistemas, lo que equivale a llenar 276 piscinas olímpicas por día (considerando un volumen de 2.500 m³ cada una), el cultivo de 31 mil há de palto o a un 10% de la actual brecha hídrica estimada para Chile (84 m³/s de acuerdo a la Política Nacional para los Recursos Hídricos, 2015), representando una nueva fuente de agua que puede ser aprovechada y reinyectada en algún sector productivo. Solo las regiones de

Valparaíso y Coquimbo poseen el 50% de las descargas de emisarios a nivel nacional, por lo que su aprovechamiento representaría un impacto positivo enorme sobre la creciente escasez hídrica que afecta a estas regiones.





Emisario Aguas Chañar

Es por esto que, para que proyectos de reúso de aguas residuales sean una realidad en Chile, se debe seguir el ejemplo internacional y crear un entorno propicio con el apoyo de políticas públicas para el uso de fuentes de agua no convencionales. También se requiere seguir avanzando en la implementación de tecnologías de tratamiento avanzado, con el objetivo de proporcionar un alto estándar de calidad y asegurar la aceptación de la comunidad. Esto último cobra mayor relevancia al considerar que la generación de aguas residuales aumentará con el crecimiento de la población, lo que sumado al aumento de cobertura por redes de alcantarillado constituye un gran potencial para la expansión en la reutilización de aguas servidas tratadas globales (FCH, 2016).



MARCO REGULATORIO



ORIENTACIONES

INTERNACIONALES: TRATAMIENTO ADECUADO AL OBJETIVO

Los criterios para la reutilización de efluentes provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en actividades productivas varían entre países y organizaciones que abordan estas temáticas.

Regulación de cultivos con aguas residuales tratadas

La comunidad científica ha elaborado criterios de calidad en diferentes niveles, abordando aspectos potencialmente nocivos -tanto físicos como químicos y biológicos- para la comunidad y el medio ambiente. Estos criterios son utilizados por los países y organismos internacionales para elaborar pautas de calidad que rijan la utilización de aguas de reúso para riego de cultivos.

La Organización Mundial de Salud (OMS) ha establecido criterios sanitarios mínimos para evitar potenciales riesgos del uso de aguas residuales tratadas para riego de productos de consumo humano. Sus directrices en esta materia son seguidas por muchos países, al igual que las establecidas por el estado de California, debido principalmente a los parámetros de calidad microbiológica que ellas establecen (Angelakis, 1999). Para aplicar metodologías y estándares de tratamiento y calidad para aguas reusadas, estos lineamientos debieran ser la guía para la formulación de proyectos en el país.

Otros países, como Estados Unidos, España, Australia, Singapur, Israel y Perú, entre otros, cuentan con sus propias normativas de acuerdo al tipo de uso que se le pretenda dar a estas aguas y la calidad requerida.

La diversidad de normativas para el reúso de estas aguas residuales tratadas se explica por las características de las fuentes de aguas residuales que poseen los países, la variedad en su composición dependiendo de la región en la que se encuentren, su proveniencia de una sola fuente o la mezcla de varias de ellas (por ejemplo, domésticas e industriales) y los sectores donde potencialmente se reutilicen, entre otros. Estos factores impactan directamente en la calidad del agua para reúso y en las tecnologías de tratamiento y el costo que este implica.

Las normas de reutilización de esta agua para riego cubren normalmente cuatro aspectos:

- Estándares químicos.
- Estándares microbiológicos.
- Procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Técnicas de riego.

La recomendación de organismos internacionales expertos en temas agrícolas, más que establecer límites a los constituyentes del agua, apunta a tener presentes las condiciones de uso, evaluando cómo los constituyentes presentes en las aguas de reúso puedan incidir en su acumulación, y cómo pueden afectar o restringir el rendimiento de la cosecha (SAG.a, 2005).

Un enfoque pragmático consiste en hacer que el tratamiento de las aguas residuales sea “adecuado al objetivo”, dependiendo del uso específico y el grado de contacto humano que exista.

En el caso del riego, se requerirá definir si el producto se va a consumir crudo o cocido, si se utiliza para forraje, para fines industriales -como algodón o biocombustible- o bien para el riego de árboles frutales, entre otros.

TABLA 1. USO SEGURO DE LAS AGUAS SERVIDAS EN AGRICULTURA

Fuentes: UN-Water, 2013; CDWR, 2004; FAO, 2013

Tipos	Ejemplos de cultivos	Tratamiento requerido
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz, avena	Secundario, desinfección
Cultivos de fibras y semillas	Algodón	Secundario, filtración, desinfección
Hortalizas que pueden consumirse crudas	Palta, repollo, lechuga, fresa	Secundario, desinfección
Hortalizas que se procesarán antes del consumo	Alcachofa, remolacha, caña de azúcar	Secundario, desinfección
Cultivo para forraje	Alfalfa, cebada, mijo	Secundario, desinfección
Huertos y viñedos	Damasco, naranja, duraznos, ciruelas y vides	Secundario, desinfección
Invernaderos	Flores	Secundario, desinfección

La Tabla 1 presenta la amplia gama de cultivos más comunes regados con aguas residuales tratadas, demostrando que muchas variedades de cultivos podrían utilizar agua regenerada bajo condiciones adecuadas.

En suma, las restricciones al uso de aguas tratadas son específicas para cada país, dependiendo de su normativa vigente. Por ejemplo:

- *El Reglamento Específico de Producción Integrada del Olivar*, de España, prohíbe el uso de aguas residuales tratadas para el

riego de este cultivo, excepto cuando se realice un control analítico continuado que garantice que no se superan los límites permitidos en la normativa española para demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos (SS) y *Escherichia coli*. En la producción de cultivos hortícolas de ese país se prohíbe cualquier uso de aguas residuales tratadas con o sin tratamiento previo, dado que ellos se encuentran en contacto directo con el agua de riego.



- En Israel, el uso en el cultivo de hortalizas está permitido, adecuando el riego a tecnologías que permitan que las aguas residuales tratadas no entren en contacto directo con el cultivo, como por ejemplo riego por goteo enterrado (FAO, 2013).

En este contexto, varios países han definido guías o requerimientos mínimos para el agua de riego, enfocando sus esfuerzos en controlar determinados parámetros que pueden estar asociados a composiciones de

residuos líquidos presentes en las actividades domésticas e industriales, generando normativas específicas para habilitar el reúso de efluentes. La Tabla 2 muestra algunos ejemplos que permiten comparar y proponer criterios de concentración para diferentes componentes de aguas residuales para ser usada en riego agrícola, evaluando metales, no metales, nutrientes, componentes orgánicos y otros parámetros.

Es importante avanzar hacia la completa implementación y aprovechamiento de esta nueva fuente de agua, evaluando sus posibles beneficios, creando conocimiento al respecto en la población y generando un marco de apoyo coherente y unificado para la reutilización de aguas. En la Comunidad Europea, por ejemplo, se ha trabajado en instrumentos legislativos destinados a impulsar la reutilización del agua, considerando la rentabilidad y la seguridad para la salud, y cautelando el cuidado del medio ambiente. También se han unificado criterios en relación a las normas que los diferentes países aplican, de modo de habilitar el comercio de productos agrícolas generados bajo estos estándares (UE, 2017).

TABLA 2. COMPARACIÓN DE NORMATIVAS INTERNACIONALES Y NACIONALES PARA COMPONENTES Y PARÁMETROS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES PARA REÚSO AGRÍCOLA

	Unidades	D.S. 90/2001 (Tabla 1)	NCh 1333 of 78	Guía Australiana y Neozelandesa	Canadian Environmental Water Quality	U.S. Environment Protection Agency	FAO 1984
pH	-	5,5 - 8,5				6	
Temperatura	°C	35					
Sólidos suspendidos totales	mg/L	80					
Aceites y grasas	mg/L	20					
Hidrocarburos fijos	mg/L	10					
DBO ₅	mgO ₂ /L	35		600			
Aluminio	mg/L	5	5	5,0 - 20	5	5,0 - 20	5
Arsénico	mg/L	0,5	0,1	0,1 - 2	0,1	0,1 - 2,0	0,1
Boro	mg/L	0,75	0,75	0,5	0,5 - 6,0	0,75 - 2,0	
Cadmio	mg/L	0,01	0,01			0,01 - 0,05	0,01
Cianuro	mg/L	0,2	0,2				
Cloruros	mg/L	400	200		100 - 700		
Cobalto	mg/L			0,05 - 0,1	0,05	0,05 - 5,0	5
Cobre total	mg/L	1	0,2	0,2 - 5	0,2 - 1,0	0,2 - 5,0	0,2
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,1		0,008	0,1 - 1,0	0,1
Fluoruro	mg/L	1,5	1		1	1,0 - 15	
Fósforo total	mg/L	10		0,05 - 12			
Hierro disuelto	mg/L	5	5		5	5,0 - 20	5
Incrustación / Corrosión							
Manganeso	mg/L	0,3	0,2		0,2	0,2 - 10	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,002			
Molibdeno	mg/L	1	0,01	0,01 - 0,05	0,01 - 0,05	0,01 - 0,05	0,01
Níquel	mg/L	0,2	0,2		0,2	0,2 - 2,0	0,2
Nitrógeno Kjeldahl total	mg/L	50		5 - 125			
Pentaclorofenol	mg/L	0,009					
Plomo	mg/L	0,05	5		0,2	5,0 - 10,0	5
SAR							
Selenio	mg/L	0,01	0,02		0,02 - 0,05	0,02	0,02
Sodio	mg/L						
Sulfatos	mg/L	1000	250				
Sulfuros	mg/L	1					
Tetracloroetano	mg/L	0,04					
Tolueno	mg/L	0,7					
Triclorometano	mg/L	0,2					
Turbiedad	NTU						
Xileno	mg/L	0,5					
Zinc	mg/L	3	2	2,0 - 5,0	1,0 - 5,0	2,0 - 10,0	2
Índice de fenol	mg/L	0,5					
Poder espumogeno	mm	7					
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1000	1000		100		

Restricciones de los países a la entrada de productos regados con aguas residuales tratadas

En la actualidad, las regulaciones internacionales sobre importación de productos agrícolas solo se basan en su control fitosanitario, sin importar si estos fueron o no regados con aguas residuales (SAG.b, 2018).

Los requisitos fitosanitarios son establecidos por cada país a través de su Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF) u otro organismo oficial, y son comunicados a través de documentos oficiales como Permiso Fitosanitario de Importación (PFI), Autorización Fitosanitaria de Importación (AFIDI), resoluciones, directivas, requisitos específicos, acuerdos bilaterales y protocolos.

Dentro de estos requisitos se describen las normas y cuidados que el exportador debe cumplir para ingresar los productos al país de destino, haciendo referencia a los protocolos, planes de trabajo, procedimientos y registros firmados con los países importadores, además de declaraciones referentes a plagas determinadas.

En el caso de las principales exportaciones de frutas y hortalizas al extranjero realizadas por Chile (Figura 1), se aplican controles fitosanitarios relacionados principalmente con métodos de inspección y análisis de laboratorio para verificar que se encuentren libres de ciertos pesticidas y plagas. Los requerimientos para los principales países importadores de productos agrícolas chilenos se muestran en la Tabla 3.

Ninguno de los requerimientos de los principales mercados externos de Chile hace referencia a la calidad de las aguas con que se riegan los cultivos ni se discrimina entre el uso de agua proveniente de pozo, de canales de riego o de aguas residuales tratadas. Las principales restricciones dicen relación con potenciales agentes biológicos que puedan menoscabar los cultivos nativos de los países a los que Chile exporta fruta y hortalizas, como es el caso de Japón, que impide el ingreso de manzanas provenientes de nuestro país porque pudieran estar contaminadas con *Ceratitis capitata* o mosca de la fruta. Por tanto, cualquier producto que cumpla con las regulaciones estipuladas por los países donde se desee ingresar los productos agrícolas, puede ser regado con aguas residuales tratadas, teniendo en consideración recomendaciones de calidad y tecnologías de riego adecuadas para estos fines.

FIGURA 1.
PRINCIPALES CULTIVOS DE HORTALIZAS Y FRUTAS DE EXPORTACIÓN EN CHILE PARA
LOS AÑOS 2015-2016

FUENTE: ODEPA_C, 2018

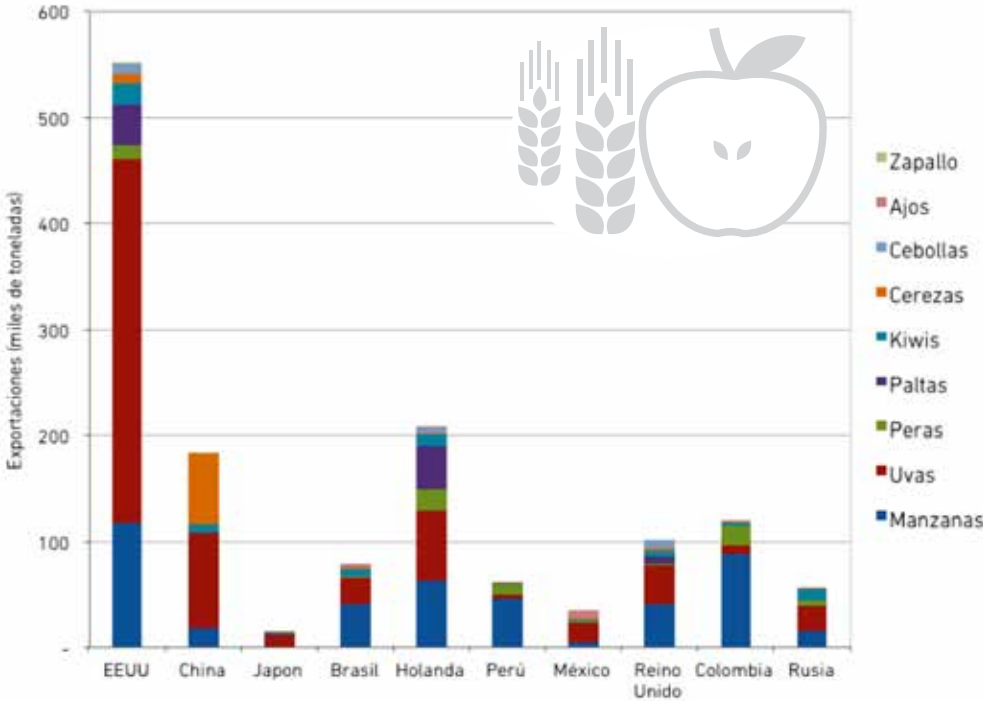


TABLA 3.

REQUISITOS PARA LOS PRINCIPALES CULTIVOS DE FRUTAS Y HORTALIZAS EXPORTADOS POR CHILE, SEGÚN PAÍS

Fruta / Hortaliza	Requerimientos fitosanitarios	Estados Unidos	China	Japón	Brasil	Holanda	Perú	México	Reino Unido	Colombia	Rusia
Manzana Malus domestica condición fresco	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Con inspección	Ingreso no autorizado	Inspección +Análisis laboratorio	Con inspección	Con inspección	Inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene	2% total		2,5 % cajas con lote	Raíz cúbica	2% lote	2% lote	Raíz cúbica	100 cajas por lote	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene	En frío		No aplica	No aplica	No aplica	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene		No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	No tiene		Existe	No tiene	Existe	Existe	No tiene	Existe	No tiene
Uva Vitis spp condición fresco	Condición de ingreso al país de destino	TC	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene	1% lote	Raíz cúbica	Raíz cúbica cada 15000 envases	Raíz cúbica	No aplica	1% lote	Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	Fumigación	En frío	En frío	Fumigación	No aplica	Fumigación (BM)	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	No tiene	No tiene	Existe	No tiene	Existe	Existe	No tiene	Existe	No tiene
Pera Pyrus communis condición fresco	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Ingreso no autorizado	Ingreso no autorizado	Inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene			2,5 % cajas con lote	Raíz cúbica	100 cajas	2% lote	Raíz cúbica	100 cajas por lote	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene			No aplica	No aplica	No aplica	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene			No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe			Existe	No tiene	Existe	Existe	No tiene	Existe	No tiene

Fuentes: SAG_c, 2018 ODEPA_c, 2018

Fruta / Hortaliza	Requerimientos fitosanitarios	Estados Unidos	China	Japón	Brasil	Holanda	Perú	México	Reino Unido	Colombia	Rusia
Paltas Persea americana	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección		Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene	2% total	Raíz cúbica	Raíz cúbica cada 15.000 envases	Raíz cúbica	2% Lote		Raíz cúbica	1% Lote	Raíz cúbica
	Tratamiento	No aplica	No tiene	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Ingreso no autorizado	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene	No tiene	No aplica cuarentena vegetal	No tiene	No tiene		No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	No tiene	No tiene	Existe	No tiene	No tiene		No tiene	Existe	No tiene
Kiwis Actinidia deliciosa	Condición de ingreso al país de destino	TC/ IC	Con inspección	No autorizado	Inspección +Análisis laboratorio	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene	1% lote	Raíz cúbica	2% lote	Raíz cúbica	1% lote	No aplica	Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	Fumigación (BM)	De frío	En frío	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No hay	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	No tiene	No tiene	Existe	No tiene	Existe	Existe	No tiene	No tiene	No tiene
Cereza dulce Prunus avium	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Con inspección	Con inspección	Inspección +Análisis laboratorio	Con inspección	Con inspección	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	No tiene	1% lote	2% total	2% lote	Raíz cúbica	2% lote	2% lote	Raíz cúbica	2% lote	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene	De frío	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica	Fumigación (BM)	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	No tiene	No tiene	Existe	No tiene	Existe	Existe	No tiene	Existe	No tiene

Fruta / Hortaliza	Requerimientos fitosanitarios	Estados Unidos	China	Japón	Brasil	Holanda	Perú	México	Reino Unido	Colombia	Rusia
Cebollas <i>Allium cepa</i>	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	2% unidades	No tiene	Raíz cúbica	Raíz cúbica cada 15,000 envases	Raíz cúbica	No tiene	Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene	No tiene	No aplica	No aplica	No aplica	No tiene	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene	No tiene	Inspección de origen	Inspección de origen	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene
	Declaraciones adicionales	Existe	Certificación sanitaria en inglés	No tiene	Certificación sanitaria en inglés	No tiene	No tiene	Certificación sanitaria en inglés	No tiene	No tiene	No tiene
Ajos <i>Allium sativum</i>	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	2% unidades		Raíz cúbica	Raíz cúbica cada 15,000 envases	Raíz cúbica		Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene		No aplica	No aplica	No aplica		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene		Inspección de origen	Inspección de origen						
	Declaraciones adicionales	Existe	Certificación sanitaria en inglés					Certificación sanitaria en inglés			
Zapallo <i>Cucurbita maxima</i>	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Sin información	Con inspección	Sin información	Con inspección	Sin información	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	2% unidades		Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica			Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene		No aplica		No aplica			No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene		Inspección de origen							
	Declaraciones adicionales	Existe	Certificación sanitaria en inglés					Certificación sanitaria en inglés			

Fruta / Hortaliza	Requerimientos fitosanitarios	Estados Unidos	China	Japón	Brasil	Holanda	Perú	México	Reino Unido	Colombia	Rusia
Zapallo Italiano Cucurbita moschata	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	Sin información	Sin información	Sin información	Con inspección	Sin información	Sin información	Con inspección	Con inspección	Con inspección
	Nivel de muestreo	2% unidades			2,5 % cajas con lote	Raíz cúbica			Raíz cúbica	Raíz cúbica	Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene			No aplica	No aplica			No aplica	No aplica	No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene						Certificación sanitaria en inglés			
	Declaraciones adicionales	Existe	Certificación sanitaria en inglés				Sin inspección	Con inspección	Con inspección	Sin información	Con inspección
Hortalizas condición seco	Condición de ingreso al país de destino	Inspección conjunta	No autorizado	Con inspección	Sin inspección	Con inspección	Sin inspección	Con inspección	Con inspección		Con inspección
	Nivel de muestreo	2% unidades		Raíz cúbica		Raíz cúbica		Raíz cúbica	Raíz cúbica		Raíz cúbica
	Tratamiento	No tiene		No aplica		No aplica		No aplica	No aplica		No aplica
	Requisitos adicionales	No tiene		Inspección de origen							
	Declaraciones adicionales	No tiene	Certificación sanitaria en inglés					Certificación sanitaria en inglés			



CHILE: UN TEMA NO REGULADO

En Chile, para el reúso de aguas residuales tratadas provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas rurales se requiere cumplir la actual normativa de descarga de estas plantas.

En Chile recién se ha comenzado a abordar el desafío de la regulación del uso de aguas residuales tratadas para fines productivos. La Ley Núm. 21.075 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, publicada el 15 de febrero de 2018, es una primera iniciativa en este sentido, normando el reúso de este tipo de aguas en zonas rurales y urbanas (MinSal, 2017).

Un análisis de las normativas que existen y pudieran ser aplicables al reúso de aguas residuales tratadas, expone que la Corte Suprema facultó en 2011 a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para dirimir respecto de la obligación de las sanitarias

de descargar aguas tratadas a los cauces naturales, pero no se hace una referencia a una regulación expresa al reúso (FCH, 2016). Existen también algunos dictámenes de la Contraloría General de la República o Decretos de Fuerza de Ley, como el 1122/1981 del Código de Agua, que entregan información acerca de algunos conceptos e interpretaciones que pueden tomarse como normativas indirectas para el reúso de aguas residuales tratadas, como la entrega de directrices para mejor uso de los recursos y su conservación, así como también el concepto de derrames, donde se presume el abandono o dejación de las aguas.

Sin embargo, el análisis de los resultados desarrollados por Fundación Chile en el año 2016 indica que la normativa vigente NO regula específicamente el reúso de aguas residuales tratadas, encontrando oportunidades de implementar sistemas de reúso en emisarios submarinos y PTAS rurales. La ausencia de normativas para el reúso de aguas residuales tratadas provenientes de PTAS rurales abre una oportunidad para realizar estas operaciones (FCH, 2016), siendo necesario para

ello cumplir la normativa de descarga de estos sistemas de tratamiento, específicamente el Decreto Supremo 90/2000 Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Esta normativa establece los contaminantes máximos permitidos para la descarga de estos sistemas de tratamiento, regulando el ingreso de residuos líquidos hacia aguas superficiales, subterráneas y marinas (MSGG, 2001). El encargado de fiscalizar su cumplimiento en el caso de las PTAS rurales es el Departamento de Salud Ambiental del Ministerio de Salud.

Teniendo en consideración estos antecedentes, se deben tomar medidas para asegurar que las PTAS rurales funcionen de manera adecuada y, por consiguiente, que los cultivos regados con aguas residuales tratadas sean desarrollados sin riesgo de contaminación para los consumidores, trabajadores agrarios, población aledaña y el medio ambiente.

Para estos efectos, se recomienda aplicar protocolos y recomendaciones internacionales relacionados con la calidad de las aguas reusadas, el cultivo o actividad para las que se reutilizarán y medidas de mitigación como tecnologías de riego, entre otras (ver capítulo 3, sección “Manejo de aguas para el riego de cultivos”). Estas orientaciones plantean evitar el uso de aguas residuales tratadas para el riego de hortalizas de hojas verdes cultivadas a ras de suelo, debido al eventual riesgo de contaminación microbiológica. Además, en producciones agrarias donde algunos procesos se realizan en el terreno -como el empaque, precorte y ensacado-, se recomienda secar el cultivo previo a su empaque para que no permanezcan agentes patógenos que pudieran haber sobrevivido al tratamiento de las aguas residuales.

Entre los referentes internacionales están el Codex Alimentarius (OMS, 1993), que tiene un papel fundamental en la protección de la salud de los consumidores y en facilitar el potencial comercio internacional de estos productos, y los estándares y protocolos de países que han implementado estos sistemas de riego, tales como Israel, Singapur y Australia.

Junto a lo anterior, sería necesario trabajar en una política nacional coherente para el reúso de aguas residuales tratadas provenientes de PTAS rurales en el sector agrícola, definiendo responsabilidades entre los diferentes estamentos gubernamentales y autoridades involucradas. La formación de un comité que represente los principales grupos interesados en el tema es de vital importancia, incluyendo actores de planificación, salud, obras públicas, agricultura, medio ambiente, comercio y representantes de los diferentes sectores productivos interesados. Esto permitirá establecer los mecanismos institucionales para hacer del reúso de las aguas residuales tratadas una práctica segura, tal como ha ocurrido en muchos países donde se ha aplicado.

La vinculación del personal a cargo de los sistemas rurales de tratamiento de agua es fundamental para evaluar, implementar, operar y mantener efluentes que puedan ser reusados y que cumplan con la normativa vigente.

Por su parte, los organismos administrativos involucrados no solo deben hacerse cargo del componente técnico, sino también de la mejora continua de la gestión de los regímenes existentes.

RIEGO SIN RIESGO

Las condiciones de riego y cuidados para los cultivos estudiadas para la producción agrícola de la Región de Coquimbo, pueden ser aplicables a todas las regiones del país, considerando que las condiciones de calidad de las aguas reusadas sean mantenidas bajo los más altos estándares de tratamiento.

Las normas de calidad que aplican a los efluentes provenientes de PTAS rurales (específicamente el D.S. 90/2001), las restricciones de carácter sanitario, las necesidades de inversión en equipos de riego presurizado y la rentabilidad esperada, se presentan, en las siguientes páginas, junto con las recomendaciones para reutilizar aguas tratadas en la producción agrícola para cada tipo de sus principales cultivos.

El cumplimiento de la normativa vigente (D.S. 90/2001) permite, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, obtener aguas con calidad de riego, asegurando la inocuidad del agua tratada en términos de contenidos de patógenos, lo que representa el primer paso fundamental para aprovechar esta nueva fuente de agua en diversas actividades productivas indicadas anteriormente. Para mantener estándares óptimos de calidad y minimizar cualquier posible riesgo de contagio por presencia de patógenos posterior al tratamiento de las aguas se suman al cumplimiento de esta normativa, recomendaciones respecto al manejo de las aguas en caso de aplicación en cultivos y técnicas de riego específicas.

Las condiciones de riego y cuidados para los cultivos estudiadas en forma cuidadosa para la producción agrícola de la Región de Coquimbo, pueden ser aplicables a todas las regiones del país, considerando que las condiciones de calidad de las aguas reusadas sean mantenidas bajo los más altos estándares de tratamiento. Esto permitirá reutilizar esta fuente hídrica con la mayor seguridad, tanto para el cultivo, los trabajadores agrícolas, los residentes aledaños a las plantaciones y el medio ambiente.

El reúso de aguas residuales urbanas y rurales tratadas con procesos sanitarios es posible en áreas regadas con:

- **Sistemas de riego presurizado** de aplicación localizada en cultivos de flores, viñedos y parronales pisqueros, frutales mayores, frutales menores y hortalizas de consumo cocido.
- **Sistemas de riego por aspersión** en el cultivo de alfalfa para fardos y silos, considerando que estos productos deben ser secados previo a la alimentación animal, quedando estrictamente prohibida la práctica de pastoreo directo.
- **Sistemas de riego superficial** en el cultivo de cereales, con precauciones por la eventual contaminación con patógenos por el escurrimiento superficial.

No puede usarse el efluente urbano ni rural después de su tratamiento sanitario como fuente del agua de riego en especies que desarrollan sus frutos al interior del suelo, como papa, zanahoria y betarraga.



Manejo de las aguas para el riego de cultivos

Existen principios generales que rigen y habilitan el reúso de aguas residuales, tales como:

- Los patógenos que puedan estar presentes en el agua de riego nunca deben quedar en contacto directo con cultivos comestibles, personas o animales, lo que debe ser evitado.
- Los patógenos no son absorbidos por las raíces de los cultivos, por lo que no existe riesgo alguno de afectar los cultivos o frutos por esta vía.
- El riego localizado por goteo convencional, enterrado, con cobertura, microaspersión u otro sistema tecnificado, asegura la humectación adecuada del cultivo sin riesgo de afectarlo.
- Productos regados por técnicas de aspersión, surcos, platabandas u otro que permita el contacto del agua con el cultivo, deben ser secados al sol o tener un tratamiento de secado posterior, pudiendo ser utilizados sólo para alimentación animal.
- En ningún caso se puede hacer pastoreo directo de cultivos regados por aspersión convencional, pivote central, surcos, platabandas u otros similares que generen contacto del agua y esta se mantenga presente en el cultivo, tales como empastadas permanentes de consumo directo, soiling de animales y hortalizas de consumo sin cocción.
- Es posible utilizar sistemas de riego presurizado en aplicación localizada, tales como cintas superficiales convencionales para cultivos cuyos frutos no están en contacto directo con el agua tratada, goteo enterrado en raíces del cultivo, o cintas de riego superficial bajo cobertura plástica.
- Sistemas presurizados pueden aplicarse sobre empastados permanentes de

consumo animal después de ser secado al sol (por ejemplo, alfalfa), o en hortalizas consumidas después de cocción permanente (alcachofa, espárrago, arveja, choclo, etc.).

- En cultivos de cereales es posible utilizar sistemas de riego superficiales que usan aguas residuales tratadas, con la precaución de eventual contaminación de patógenos por escurrimiento superficial.
- Cultivos de hortalizas cuyo consumo implica procesos de cocción (por ejemplo alcachofa) o crecen sin contacto con el suelo (por ejemplo tomate y ají), leguminosas y cucurbitáceas (por ejemplo: sandía y melón) pueden ser regados con aguas tratadas en caso de utilizar riego por goteo.
- En cultivos a ras de suelo donde se consume la hoja (por ejemplo: lechuga y apio) o donde se desarrollan frutos al interior del suelo (por ejemplo: papa), no se recomienda regar con aguas residuales tratadas debido al eventual contacto con patógenos presentes.
- El diseño y operación de sistemas de riego superficiales (por tendido, por

surcos, por bordes, por platabanda, entre otros) implican necesariamente que una proporción importante de agua escurre fuera del campo regado y puede contaminar personas o cultivos. Otra proporción significativa de agua puede percolar bajo la zona de raíces de los cultivos y contaminar las napas subsuperficiales (someras o profundas), por lo que se recomienda sistemas de tratamiento que aseguren la calidad del agua utilizada para evitar potenciales efectos ambientales nocivos.

FACTIBILIDAD DE RIEGO CON AGUAS RESIDUALES TRATADAS, SEGÚN TIPO DE CULTIVO

CEREALES Y FORRAJERAS ANUALES



El uso de aguas residuales tratadas para riego superficial (inundación, surco, platabandas, etc.) tiene potencial impacto en el medio ambiente aguas abajo, lo que hace poco recomendable el uso de esta fuente de agua para irrigación. Sumado a lo anterior, la baja rentabilidad que estos cultivos generan desincentiva la instalación de sistema de riego tecnificado.

FORRAJERAS PERMANENTES

El riego con aguas residuales tratadas se recomienda para el cultivo de alfalfa destinada a la producción de fardos de pasto o silos de pasto seco, implementando sistema de riego por aspersión convencional. El secado del forraje al sol permite la destrucción de patógenos potencialmente presentes en el agua.



FLORES



Este tipo de cultivo puede ser regado con aguas residuales tratadas casi sin excepción, ya que las flores no se destinan al consumo alimentario animal ni humano. En este caso, debe preferirse el uso de sistemas de riego presurizados de aplicación localizada, como riego por goteo, microjet o microaspersión.

FRUTALES MAYORES

Estos cultivos pueden ser regados sin excepción con aguas residuales tratadas, ya que en ninguna de las especies los frutos se encuentran en contacto con el suelo ni con el agua de riego. Deben preferirse los sistemas de riego presurizados de aplicación localizada, especialmente el riego por goteo en sus alternativas superficial, enterrado o tapado con un film plástico u orgánico superficial.



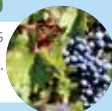
FRUTALES MENORES



En su mayoría pueden ser regados con aguas residuales tratadas, sobre todo utilizando sistemas de riego presurizado de aplicación localizada, principalmente por goteo en sus tres modalidades (superficial, enterrado o cubierto). Las futilas son la excepción, pudiendo ser regadas con esta fuente de agua implementando la técnica de camellones elevados y con cobertura plástica (mulch), evitando con esto el riesgo de que los frutos estén en contacto con el suelo o con el agua de riego.

VIÑAS PARA LA PRODUCCIÓN DE VINOS Y DE PISCO

Su riego con aguas residuales tratadas es totalmente factible sin restricciones, empleando tecnologías de riego presurizado de aplicación localizada, como riego por goteo, microjet o microaspersión.



HORTALIZAS

Existen recomendaciones para el uso de aguas residuales tratadas para riego según el tipo de cultivo del que se trate. Para las alcachofas es posible utilizarlas sin restricciones, ya que la cosecha corresponde a la flor y su consumo siempre implica una cocción prolongada de agua hirviendo. Para hortalizas que crecen sin contacto con el suelo (tomate, ají, choclo, etc.), se deben aplicar sistemas de riego por goteo enterrado o con cubierta superficial, y en casos excepcionales utilizar tecnologías de riego por goteo superficial. Leguminosas (porotos, habas, arvejas) y cucurbitáceas (sandía, melón) pueden regarse con esta fuente de agua, aplicando tecnologías de riego por goteo en sus tres modalidades (superficial, enterrado o tapado). En hortalizas de consumo de hojas (lechuga, apio, repollo, acelga, etc.), no se aconseja el uso de aguas de reúso para su irrigación.



PANORAMA REGIONAL



HUELLA HÍDRICA: LA CARA DE LA DEMANDA

La determinación del consumo de agua de los principales sectores productivos de la Región de Coquimbo se realizó mediante la metodología de Huella Hídrica desarrollada por el Water Footprint Network (WFN). Esta metodología permite cuantificar el agua consumida y contaminada de las principales actividades o sectores productivos y vincularlo al espacio geográfico donde estas tienen lugar.

La huella hídrica es un indicador multidimensional empírico que indica dónde, cuándo y cuánto volumen de agua (m^3) se consume y contamina (Hoekstra, 2011). Esta herramienta puede ser aplicada para cuantificar el consumo de agua directa en los procesos productivos del área estudiada denominada como huella hídrica directa, así como también determinar la huella de la cadena de suministro de los productos importados y utilizados para los diferentes procesos que se dan en la región en estudio, conocida como huella hídrica indirecta o huella hídrica virtual, permitiendo un análisis de cada una de las huellas por separado. Esta información ayuda a identificar los principales usos e impactos del consumo de agua con miras a realizar una gestión eficiente.

La huella hídrica (HH) se compone de tres indicadores: las huellas azul, verde y gris. (Figura 2)

FIGURA 2. COMPONENTES DE LA HUELLA HÍDRICA



Huella hídrica azul: se refiere al volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por:

- 1) **evaporación** o evapotranspiración del agua,
- 2) **incorporación** del agua en el producto,
- 3) agua que **no retorna** a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar.



Huella hídrica verde: es el volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación. Esta agua eventualmente se evapora desde la superficie del suelo, se evapotranspira desde la vegetación o se incorpora en la vegetación.



Huella hídrica gris: es un indicador virtual del grado de contaminación del agua fresca. Se refiere al volumen de agua fresca que se requiere para asimilar la carga de contaminantes de una descarga hasta niveles acordes a los estándares ambientales. .

La suma de estos tres indicadores nos entrega la huella hídrica total del área o sistema en estudio.

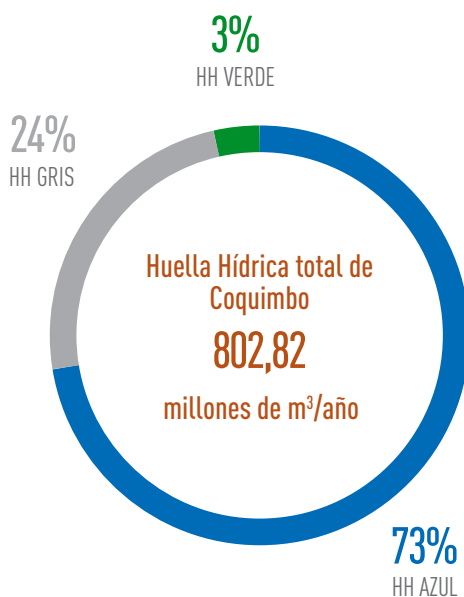


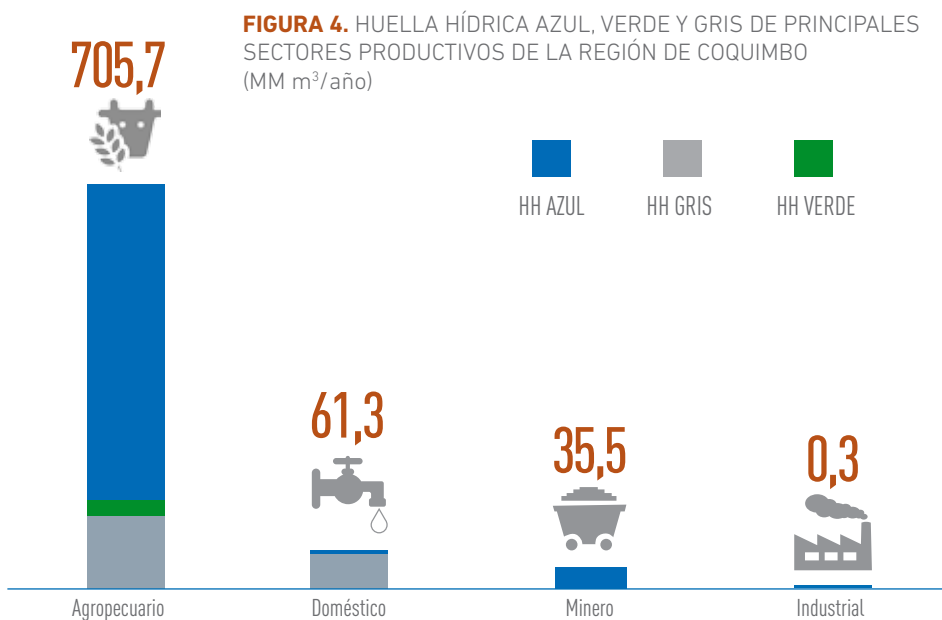
Para la Región de Coquimbo, se evaluó la huella hídrica directa de los principales sectores productivos, de manera de determinar el consumo hídrico de la región dejando fuera del análisis la huella hídrica indirecta proveniente de las diferentes cadenas de suministro (agua importada a través de insumos y otros bienes usados en los procesos productivos). Los cuatro principales sectores productivos analizados son:

- Sector silvoagropecuario
- Sector agua potable y saneamiento
- Sector industrial
- Sector minero

El consumo total de agua o huella hídrica total de la Región de Coquimbo para los cuatro sectores mencionados asciende a 802,82 millones de m³/año, total que se desprende de las tres huellas, como se muestra en la Figura 3.

FIGURA 3. DESGLOSE DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO





A nivel de sectores productivos (Figura 4), la actividad agropecuaria es la que representa el mayor consumo de agua, con aproximadamente el 87,9% del total, mientras que el menor consumo corresponde al sector industrial (0,04%). Más detalles en la Tabla 4.

A nivel territorial (Tabla 5):

- La provincia con mayor consumo de agua es la de Limarí (56%), mientras que las de Elqui y Choapa representan el 26% y 18%, respectivamente.
- Las comunas con mayor consumo de agua son Ovalle, Monte Patria, Salamanca, Vicuña, Coquimbo y La Serena.

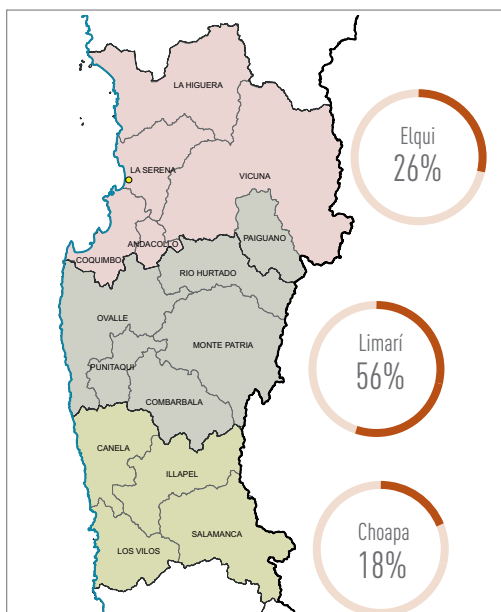


TABLA 4. PARTICIPACIÓN EN LAS HUELLAS HÍDRICAS AZUL, VERDE Y GRIS DE LOS PRINCIPALES SECTORES PRODUCTIVOS, REGIÓN DE COQUIMBO



	Agua Potable y Saneamiento	Agropecuario	Minería	Industrial
HH Azul	1%	78%	100%	31%
HH Verde	0%	4%	0%	0%
HH Gris	99%	18%	0%	69%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

TABLA 5. HUELLA HÍDRICA DE LA REGIÓN DE COQUIMBO POR COMUNA Y TIPO DE HUELLA

Provincias	Comunas	HH Azul (MM m³/año)	HH Verde (MM m³/año)	HH Gris (MM m³/año)	Total (MM m³/año)	Total (MM m³/año)
Elqui	La Serena	43,77	1,50	10,50	55,76	211,00
	Coquimbo	41,59	2,03	20,73	64,35	
	Andacollo	5,81	0,04	1,62	7,46	
	La Higuera	2,07	0,07	0,96	3,09	
	Paihuano	10,75	0,24	2,23	13,21	
	Vicuña	52,23	1,53	13,37	67,13	
Limarí	Ovalle	189,31	9,16	70,09	268,57	447,90
	Combarbalá	20,75	1,09	4,76	26,61	
	Monte Patria	85,48	3,36	16,66	105,50	
	Punitaqui	21,35	0,87	5,19	27,42	
	Río Hurtado	16,44	0,80	2,57	19,80	
Choapa	Illapel	21,77	1,40	9,88	33,05	143,92
	Canela	5,62	1,08	11,86	18,56	
	Los Vilos	4,37	1,62	10,22	16,20	
	Salamanca	65,28	2,01	8,82	76,11	
TOTAL		586,59	26,79	189,44	802,82	802,82



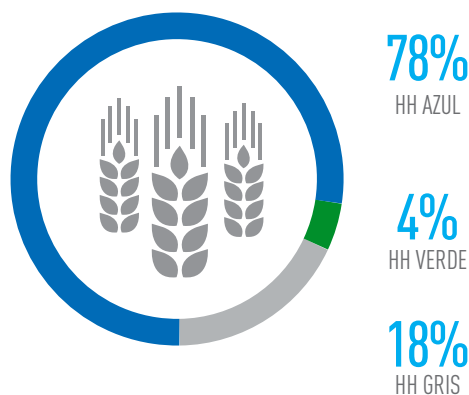
Sector Agrícola

La huella hídrica azul es el componente más importante de la huella hídrica del sector agrícola en la Región de Coquimbo (Figura 5). Esta es comparativamente alta en Ovalle, Monte Patria, Vicuña, Coquimbo, La Serena y Salamanca, debido a que estas comunas agrupan el 80% de la superficie agrícola de la región (Tabla 6).

Los frutales, hortalizas y vides son los cultivos que necesitan mayor suministro de agua, por lo que mejoras en las tecnologías de riego sumado a recambio de especies por cultivos con menor requerimiento hídrico pueden disminuir el agua extraída desde fuentes superficiales y subterráneas. La huella hídrica azul para cada tipo de cultivo se muestra en la Tabla 7.

Dada la gran cantidad de hectáreas dedicadas a frutales y hortalizas y los sistemas de riego que utilizan, estos dos tipos de cultivos son los que mayor huella hídrica azul tienen, representando en conjunto poco más del 60% de esta huella para la región.

FIGURA 5. HUELLAS HÍDRICAS AZUL, VERDE Y GRIS DEL SECTOR AGRÍCOLA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO



Debido a las bajas precipitaciones de la región, la huella verde no es de gran relevancia, lo que implica que se debe cubrir el requerimiento hídrico con aguas superficiales y subterráneas.

TABLA 6. HUELLAS HÍDRICAS AZUL, VERDE Y GRIS PARA EL SECTOR AGRÍCOLA, POR COMUNA

Provincias	Comunas	HH Azul (MM m³/año)	HH Verde (MM m³/año)	HH Gris (MM m³/año)	Total Sector (MM m³/año)
Elqui	La Serena	42,2	1,5	8,8	52,5
	Coquimbo	41,4	2,0	18,9	62,3
	Andacollo	0,7	0,0	0,1	0,9
	La Higuera	1,7	0,1	0,5	2,3
	Paihuano	10,7	0,2	1,9	12,9
	Vicuña	52,2	1,5	7,8	61,6
Limarí	Ovalle	189,3	9,2	38,6	237,0
	Combarbalá	20,7	1,1	3,1	25,0
	Monte Patria	85,5	3,4	12,9	101,7
	Punitaqui	20,5	0,9	3,2	24,6
	Río Hurtado	16,1	0,8	2,1	19,0
Choapa	Illapel	21,4	1,4	4,4	27,2
	Canela	5,6	1,1	10,8	17,5
	Los Vilos	4,0	1,6	9,6	15,3
	Salamanca	38,5	2,0	5,5	46,0
TOTAL		550,6	26,8	128,3	705,7

TABLA 7. HUELLA HÍDRICA AZUL POR TIPO DE CULTIVO

Comunas	HH Azul (MM m³/año)	Aporte a la huella hídrica azul regional (%)
Hortalizas	83,8	15%
Cereales	17,3	3%
Frutales	253,7	46%
Frutales menores	17,0	3%
Vides	89,9	16%
Flores	0,8	0%
Cultivos industriales anuales	0,0	0%
Cultivos industriales permanentes	0,0	0%
Cultivos industriales principales	0,0	0%
Leguminosas y tubérculos	23,6	4%
Praderas anuales	4,5	1%
Praderas permanentes	59,3	11%
Total semilleros	0,7	0%
TOTAL AGRICULTURA	550,1	100%

Sector Agua Potable y Saneamiento

En el caso del sector doméstico, el 99% del consumo hídrico es huella hídrica gris, mientras que el 1% restante corresponde a huella hídrica azul. Lo anterior se debe a que prácticamente la totalidad del agua utilizada por el sector, una vez consumida como agua potable por la población, es descargada como agua servida a los sistemas de alcantarillado, para luego pasar a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y finalmente ser descargada a cuerpos de agua superficiales, donde es devuelta al sistema como agua residual tratada (HH gris). El consumo del agua potabilizada como huella hídrica azul es muy bajo y se produce principalmente por el riego de jardines y evaporación de agua en las casas. Estos datos se muestran en la Figura 6.

La población regional se concentra en La Serena (28%), Coquimbo (30%) y Ovalle (16%). El 79% de la población se considera urbana y solo un 21% rural. La Tabla 8 muestra los resultados de la huella de la población urbana y rural por separado. La captación total de la región se estima en 55 Mm³/año, de los cuales 18 Mm³/año se destinan para la comuna de Coquimbo y 16 Mm³/año para La Serena.

Sector Minero

La huella hídrica de la minería en la Región de Coquimbo asciende a 35,49 millones de m³/año, concentrada principalmente en las comunas de Salamanca y Andacollo, debido al uso intensivo de agua en la minería de cobre y oro que ahí se desarrolla (Tabla 9). Estas extracciones, corresponden solo a huella hídrica azul para este sector, no teniendo huella gris, debido a que este sector productivo informa descarga cero.

FIGURA 6. HUELLAS HÍDRICAS AZUL, VERDE Y GRIS DEL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

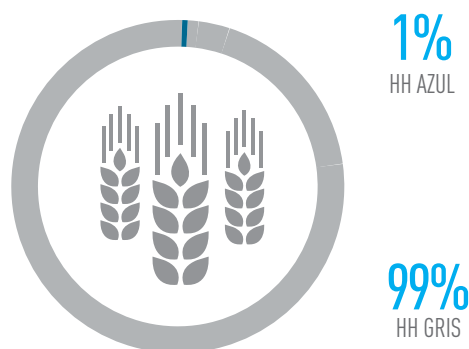


TABLA 8. HUELLAS HÍDRICAS AZUL, VERDE Y GRIS PARA EL SECTOR AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (URBANOS Y RURALES) PARA LA REGIÓN DE COQUIMBO, POR COMUNA. (EN M m³/AÑO)

Comunas	SECTOR URBANO			SECTOR RURAL			AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO		
	CAPTACIÓN	HH Azul	HH Gris	CAPTACIÓN	HH Azul	HH Gris	CAPTACIÓN	HH Azul	HH Gris
La Serena	16.397	0.117	0.363	0.501	0.005	1.374	16.898	0.122	1.737
Coquimbo	18.040	0.123	0.581	0.373	0.004	1.215	18.413	0.126	1.796
Andacollo	0.851	0.009	1.340	0.033	0.000	0.142	0.884	0.009	1.482
La Higuera	0.034	0.000	0.102	0.103	0.001	0.363	0.137	0.001	0.465
Paihuano	0.000	0.000	0.000	0.134	0.001	0.309	0.134	0.001	0.309
Vicuña	1.183	0.008	4.609	0.367	0.004	0.907	1.550	0.011	5.515
Ovalle	7.381	0.040	28.086	0.924	0.009	3.265	8.305	0.050	31.351
Combarbalá	0.506	0.003	0.569	0.273	0.003	1.055	0.779	0.006	1.624
Monte Patria	1.151	0.005	1.855	0.590	0.006	1.939	1.742	0.011	3.795
Punitaqui	0.332	0.002	1.174	0.202	0.002	0.790	0.534	0.004	1.964
Río Hurtado	0.000	0.000	0.000	0.148	0.001	0.469	0.148	0.001	0.469
Illapel	1.894	0.010	4.420	0.294	0.003	1.058	2.188	0.013	5.478
Canela	0.155	0.000	0.195	0.239	0.002	0.909	0.394	0.003	1.104
Los Vilos	1.385	0.008	0.077	0.154	0.002	0.499	1.539	0.009	0.576
Salamanca	1.223	0.009	2.094	0.371	0.004	1.163	1.594	0.013	3.257

TABLA 9. HUELLA HÍDRICA DEL SECTOR MINERO PARA LA REGIÓN DE COQUIMBO, POR COMUNA [MILLONES DE M³/AÑO]

Provincia	Comunas	Captación [MMm³/año]	HH Azul (MM m³/año)
Elqui	La Serena	1,399	1,399
	Andacollo	5,108	5,108
	La Higuera	0,333	0,333
Limarí	Punitaqui	0,840	0,840
	Río Hurtado	0,333	0,333
Choapa	Illapel	0,333	0,333
	Los Vilos	0,333	0,333
	Salamanca	26,812	26,812

Sector Industrial

En la Región de Coquimbo, la huella hídrica del sector industrial es de aproximadamente 0,35 MMm³/año, correspondiendo a un 69% a huella hídrica gris y un 31% a huella hídrica azul. (Figura 7)

La huella hídrica se concentra principalmente en los subsectores de la industria frutícola, vino y cerveza, además de la cárnica y láctea, tal y como se muestra en la Tabla 10.

FIGURA 7. HUELLAS HÍDRICAS AZUL Y GRIS DEL SECTOR INDUSTRIAL, REGIÓN DE COQUIMBO

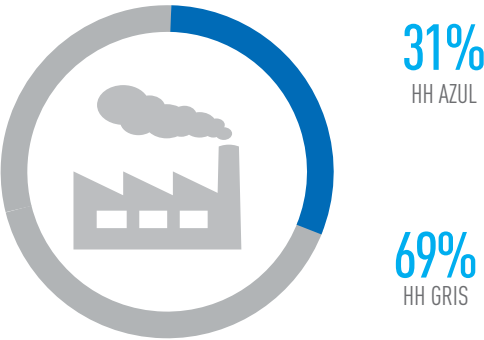


TABLA 10. HUELLA HÍDRICA REGIÓN DE COQUIMBO SUBGRUPOS INDUSTRIALES, POR COMUNA Y TIPO DE HUELLA. [m³/año]

Comunas	INDUSTRIA FRUTÍCOLA			INDUSTRIA VINO Y CERVEZA			INDUSTRIA CÁRNICA Y LÁCTEA		
	Captación	HH Azul	HH Gris	Captación	HH Azul	HH Gris	Captación	HH Azul	HH Gris
La Serena	107	5,0	108	2	85	1.634	-	-	-
Coquimbo	761	463,0	316	-	-	-	123	86	38.943
Andacollo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Higuera	91	40,0	54	-	-	-	-	-	-
Paiguano	532	147,0	408	474	25	477	-	-	-
Vicuña	677	1,0	716	7	390	7.487	-	-	-
Illapel	1	112,0	1.025	474	25	476	38	2	38.570
Canela	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Los Vilos	874	84,0	839	-	-	-	-	-	-
Salamanca	20	5,5	15.509	1	73	1.393	-	-	-
Ovalle	4	1,8	2.719	45	2	45.174	75	7	72.599
Combarbalá	6	3,0	3	389	20	391	-	-	-
Monte Patria	481	25,0	484	183	10	184	-	-	-
Punitaqui	125	5,0	128	8	408	7.830	-	-	-
Río Hurtado	417	105,0	330	215	11	216	-	-	-



AGUAS RESIDUALES DISPONIBLES

La oferta de aguas servidas en la Región de Coquimbo está constituida por la sumatoria de los aportes de los tres sistemas de tratamiento que existen en ella: emisarios submarinos, plantas de tratamiento de aguas servidas urbanas y plantas de tratamiento de aguas servidas rurales.

Las aguas residuales son generadas, como se vio en el indicador de huella hídrica gris, por aportes principalmente de los sectores agua potable y saneamiento e industrial, detallándose a continuación cada una de las fuentes.

Emisarios submarinos

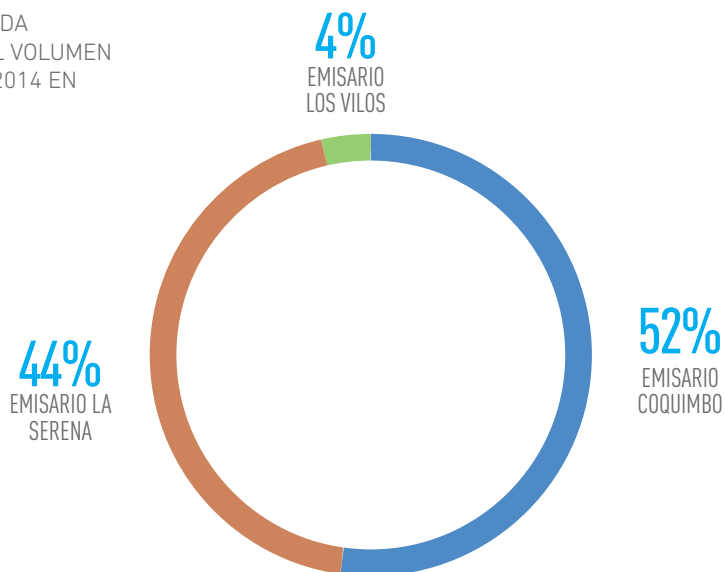
En la región existen tres emisarios submarinos, en las ciudades de La Serena, Coquimbo y Los Vilos (Figura 8), los que descargan al mar las aguas residuales tratadas provenientes del sistema sanitario. El volumen total de descarga el año 2015 fue de 24.621.613 m³/año, lo que equivale a 0,78 m³/s (SISS, 2015).

La normativa vigente sobre descargas de los emisarios está determinada por la Tabla 5 del DS 90/2000, la cual establece los parámetros físico-químicos que deben ser analizados antes de descargar las aguas residuales al mar.

La Figura 8 muestra la ubicación de los emisarios, mientras que en la Figura 9 se informa el aporte porcentual de cada uno de los emisarios a la descarga total de aguas residuales al mar en la Región de Coquimbo.

FIGURA 8. UBICACIÓN DE LOS EMISARIOS SUBMARINOS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

FIGURA 9. APOORTE DE CADA EMISARIO SUBMARINO AL VOLUMEN TOTAL DESCARGADO EN 2014 EN LA REGIÓN DE COQUIMBO



PTAS sector urbano

La Región de Coquimbo cuenta con 20 sistemas de tratamiento de aguas servidas que asisten al sector urbano y que se encuentran autorizados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). La Tabla 11 muestra la clasificación de estas PTAS por comuna y por tipo de tecnología, mientras que la Figura 8 presenta la ubicación georreferenciada de las PTAS urbanas de la región.

De las 20 PTAS urbanas existentes, la mayor cantidad de ellas corresponde a tecnologías de lodos activados y lagunas aireadas, existiendo solo una de ellas que trata sus aguas mediante lagunas facultativas, y una mediante sistema de lombrifiltros (Figura 10).

Para el año 2015, el volumen total de aguas residuales tratadas descargado por las PTAS urbanas de la región fue de 10.117.677 m³, donde la PTAS de Ovalle (45,5%) es la que más agua aporta, seguida por la de Illapel (14,6%) y Salamanca (10,1%). Las otras 17 PTAS urbanas aportan el 29,8% restante.

Para estos casos, la normativa que rige a las descargas de las PTAS urbanas es la señalada en la Tabla 1 del DS 90/2000.

FIGURA 10. TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS URBANAS, REGIÓN DE COQUIMBO

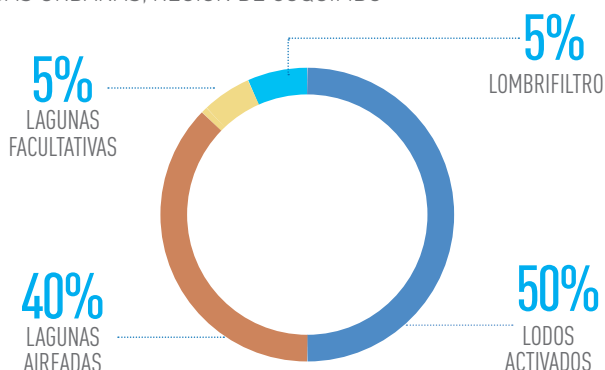


TABLA 11. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DEL SECTOR URBANO, REGIÓN DE COQUIMBO

Comuna	Nombre Plantas de Tratamiento Aguas Servidas	Tecnología
Salamanca	Salamanca	Lagunas aireadas
Combarbalá	Combarbalá	Lagunas aireadas
Canela	Canela Alta	Lodos activados
Canela	Canela Baja	Lodos activados
Illapel	Illapel	Lagunas aireadas
Monte Patria	Chañaral Alto	Lodos activados
Monte Patria	El Palqui	Lagunas aireadas
Ovalle	Ovalle	Lagunas aireadas
Ovalle	Sotaqui	Lodos activados
Punitaqui	Punitaqui	Lagunas aireadas
Coquimbo	El Peñón	Lodos activados
Coquimbo	Tongoy	Lodos activados
Andacollo	Andacollo	Lagunas aireadas
La Serena	Algarrobito	Lodos activados
Vicuña	Vicuña	Lagunas aireadas
Vicuña	Peralillo IV	Lodos activados
Vicuña	Paihuano	Lodos activados
Monte Patria	Monte Patria	Lagunas aireadas
Coquimbo	Guaqueros	Lodos activados
Los Vilos	Pichidanguí	Lombrifiltro

FIGURA 11.UBICACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS URBANAS, REGIÓN DE COQUIMBO



PTAS sector rural

En este sector, el agua potable es tratada y distribuida mediante sistemas de agua potable rural (APR) que son gestionados por comités y cooperativas, los que son fiscalizados por la SISS, el Ministerio de Salud y la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales del Ministerio de Obras Públicas recientemente creado bajo la Ley 20.998 de Servicios Sanitarios Rurales. Esta Ley reglamenta aspectos técnicos, normativos, tarifarios y formas de gestión, tanto para agua potable como para la recolección y tratamiento de aguas servidas, buscando además formalizar y fortalecer el trabajo de los Comités y Cooperativas de Agua Potable Rural (APR).

Según un catastro realizado por la SUBDERE en 2014, en la Región de Coquimbo existen 71 PTAS rurales, con diferentes condiciones de funcionamiento, no cumpliendo en algunos casos con la normativa vigente respecto a sus descargas. En la Tabla 12 se observa el desglose de estas plantas por localidad y tipo de tecnología.

FIGURA 12. VOLUMEN ESTIMADO DESCARGADO POR LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS RURALES EN 2014, REGIÓN DE COQUIMBO

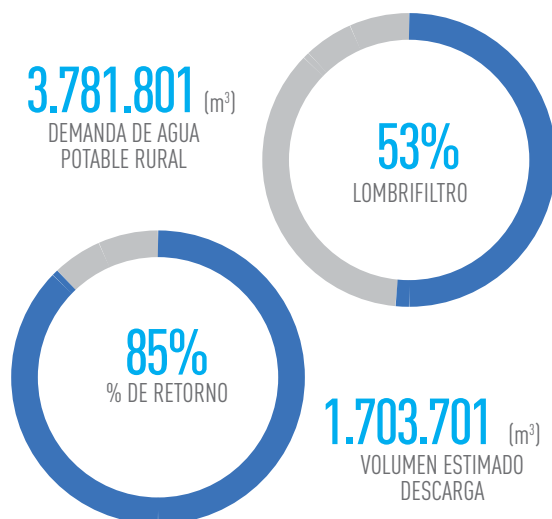


TABLA 12. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS RURALES, REGIÓN DE COQUIMBO

Comuna	Localidad	Tipo de tratamiento
Canela	Huentelauquén	Lodos activados
Illapel	Canelillo	Lodos activados
Illapel	Socavón Centro	Lodos activados
Illapel	Choapa Viejo	Lodos activados
Illapel	Socavón Alto	Lodos activados
Illapel	Cañas I	Lodos activados
Illapel	Cañas de Michío	Lodos activados
Illapel	Asiento Viejo	Lodos activados
Illapel	Peralillo	Lodos activados
Salamanca	Tranquilla	Lodos activados
Salamanca	Chillepin	Lodos activados
Salamanca	Coirón	Lodos activados
Salamanca	Tambo Centro	Lodos activados
Los Vilos	El Esfuerzo de Pichidangui	Lodos activados
Los Vilos	Caimanes	Lodos activados
Coquimbo	Las Tres Villas - Pan de Azúcar	Lodos activados
La Higuera	Caleta Hornos	Lodos activados
La Higuera	Punta de Choros	Lodos activados
La Higuera	El Trapiche	Lodos activados
La Serena	Lambert	Lodos activados
La Serena	El Romero (Villa Los Caliches)	Lodos activados
La Serena	Punta de Teatinos (Villa Santa Elvira)	Lodos activados
La Serena	Altovalsol (Villas El Sol - Los Aromos)	Lodos activados
La Serena	Altovalsol (Villa Nueva Esperanza)	Lodos activados
La Serena	Quebrada de Talca (Villa El Llano)	Lodos activados
La Serena	Islón (Villa Sor Teresita de Los Andes 1)	Lodos activados
La Serena	El Romero (Villa Santa Ana)	Lodos activados
Paihuano	Montegrande	Lodos activados
Vicuña	Punta Azul	Lodos activados
Vicuña	El Tambo	Lodos activados
Vicuña	Gualliguaica	Lodos activados
Vicuña	Rivadavia (Población Brisas Elqui-nas)	Lodos activados
Vicuña	Planta de Tratamiento Villa Puclaro	Lodos activados
Vicuña	La Calera - Villa El Arrayán	Lodos activados
Vicuña	Marqueza -Nueva Talcuna	Lodos activados
Combarbalá	La Isla de Cogotí	Lodos activados
Combarbalá	Cogotí 18	Lodos activados
Combarbalá	El Huacho	Lodos activados

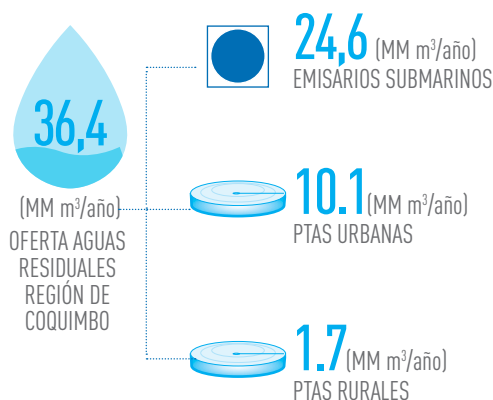
TABLA 12. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS RURALES, REGIÓN DE COQUIMBO

Comuna	Localidad	Tipo de tratamiento
Combarbalá	El Sauce	Lodos activados
Combarbalá	Quilitapia	Lodos activados
Combarbalá	Manquehua	Lodos activados
Combarbalá	Valle Hermoso	Lodos activados
Combarbalá	San Marcos	Lodos activados
Monte Patria	Huatulame	Lombrifiltro
Monte Patria	Las Ramadas	Lodos activados
Monte Patria	Chilecito	Lodos activados
Monte Patria	La Tranquita	Lodos activados
Monte Patria	El Coipo	Lodos activados
Ovalle	Sonora los Acacios	Lagunas aireadas
Ovalle	Santa Cristina Escuela Padre Damián Heredia	Lodos activados
Ovalle	Cerrillos de Tamaya	Lodos activados
Ovalle	Limarí	Lodos activados
Ovalle	Villa Seca	Lodos activados
Ovalle	Villa Seca Escuela Valentín Letelier	Lodos activados
Ovalle	Lagunilla Escuela Elvira del Carmen Ochoa	Lodos activados
Ovalle	Socos Internado Patricio Zeballos	Lodos activados
Ovalle	Carachilla	Lodos activados
Ovalle	San Miguel de Los Nogales	Lodos activados
Ovalle	Sol del Pacífico Talhuén	Lodos activados
Ovalle	Escuela Lucía Núñez de la Cuadra	Lodos activados
Ovalle	Escuela El Trapiche	Lodos activados
Ovalle	Escuela de Tabalí	Lodos activados
Ovalle	Escuela Unión Campesina	Lodos activados
Ovalle	El Guindo	Lodos activados
Ovalle	Huamalata	Lodos activados
Punitaqui	Las Higueras de Punitaqui	Lodos activados
Río Hurtado	Hurtado	Lodos activados
Río Hurtado	Morrillos	Lodos activados
Río Hurtado	Fundina Sur	Lodos activados
Río Hurtado	Tabaqueros	Lodos activados
Río Hurtado	Nueva Esperanza	Lodos activados



La información oficial disponible no cuenta con un registro de los caudales descargados por este sector. En el marco del presente estudio, se estimó que del volumen de agua demandado por el sector doméstico, un 85% retorna a la cuenca mediante las descargas desde las PTAS. Por otra parte, de acuerdo a información de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile y del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la cobertura de alcantarillado sanitario en zonas rurales de la región de Coquimbo para el 2002 fue de un 37%. Con estos antecedentes, la Figura 12 presenta el volumen estimado de descarga de aguas servidas tratadas durante el año 2014 desde las zonas rurales. Por su parte, la Figura 13 muestra el resumen de la oferta de aguas residuales para la Región de Coquimbo.

FIGURA 13. OFERTA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS A PARTIR DE SUS DISTINTAS FUENTES EN LA REGIÓN DE COQUIMBO



5



PLANTAS DE TRATAMIENTO RURALES

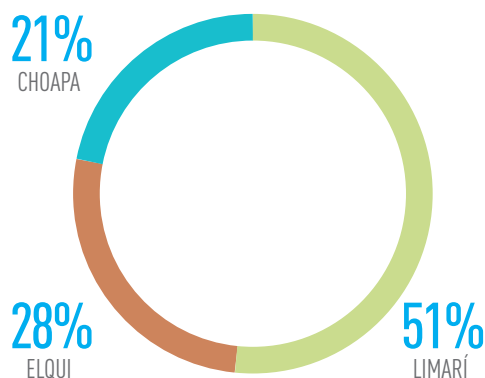


RADIOGRAFÍA A LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RURALES

Ubicadas predominantemente en las comunas de Ovalle, La Serena, Combarbalá, Illapel y Vicuña, más de dos tercios de las plantas de tratamiento de aguas servidas rurales se encuentran en condiciones de operación buenas o regulares. Su gestión en el 69% de los casos está a cargo de cooperativas o comités de APR.

FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS RURALES EN LA REGIÓN DE COQUIMBO, POR PROVINCIA

Fuente: SISS, 2012



Distribución de las PTAS rurales

De acuerdo al documento *Resumen Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas Sector Rural año 2012*, realizado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), en la Región de Coquimbo existen 71 sistemas de tratamiento de aguas servidas en los sectores rurales, información validada de acuerdo a los registros que posee la SISS (SUBDERE, 2012).

De estos sistemas, el 51% se encuentran en la provincia de Limarí, el 28% en la provincia de Elqui y el 21% restante en la provincia de Choapa (Figura 14).

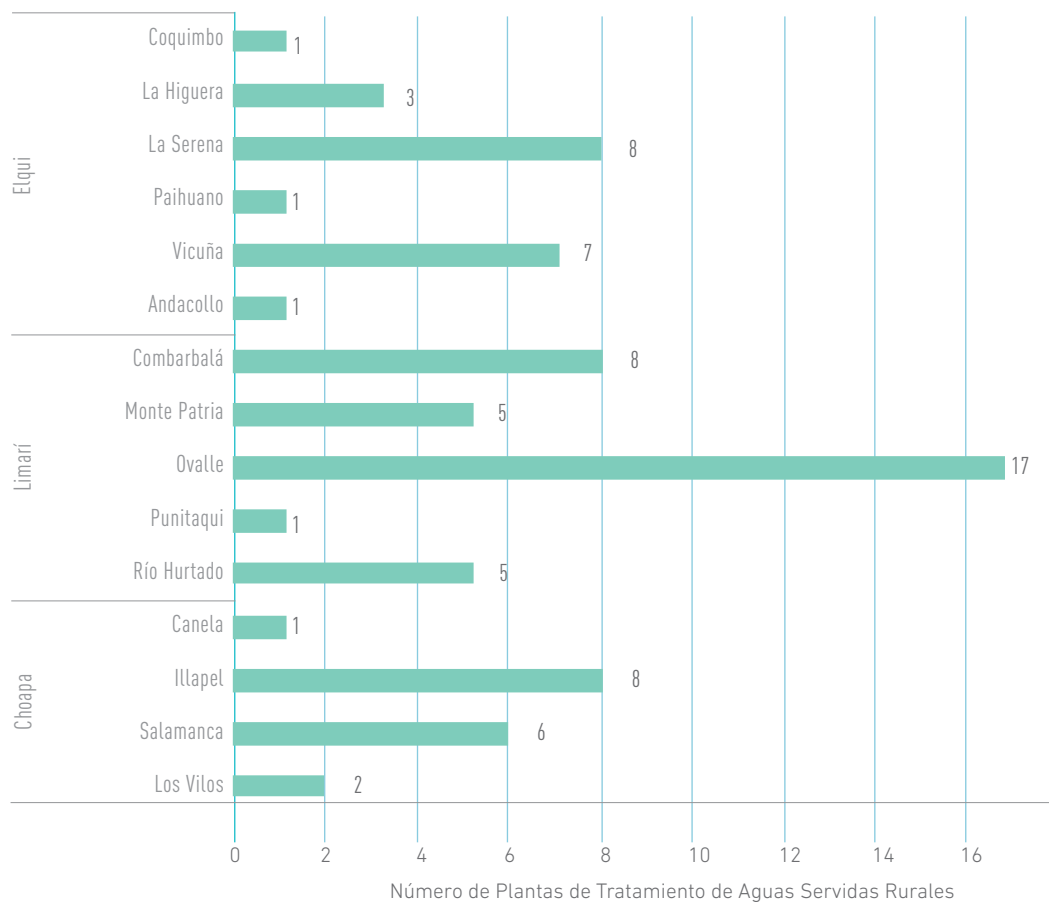
Considerando la distribución a nivel comunal, la mayor cantidad de estos sistemas de tratamiento se encuentran en la comuna de Ovalle, seguidos por La Serena, Combarbalá, Illapel y Vicuña (Figura 15).

Estado de las PTAS rurales

El catastro clasifica las PTAS rurales en tres grandes grupos -buenas, regulares y malas-, de acuerdo a su funcionamiento al momento de la visita y, por tanto, a la cantidad de mejoras que se deben realizar en su infraestructura para lograr su óptimo funcionamiento. Del total de sistemas **27 funcionan en buenas condiciones**, sin necesidad de realizar mayores modificaciones en su infraestructura. **22 en forma regular** con algún tipo de deficiencia, siendo necesario realizar mejoras en su operatividad, ya sea en términos de materiales y equipos o en la operación misma del sistema. **13 están en malas condiciones** de infraestructura y operación, y es necesario realizar arreglos y mejoras que involucran una gran inversión, ya sea cambiando unidades de proceso, ampliando la planta o renovando los equipos. El estado de funcionamiento según comunas y provincias se observa en la Figura 16.

FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN COMUNAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS RURALES, REGIÓN DE COQUIMBO

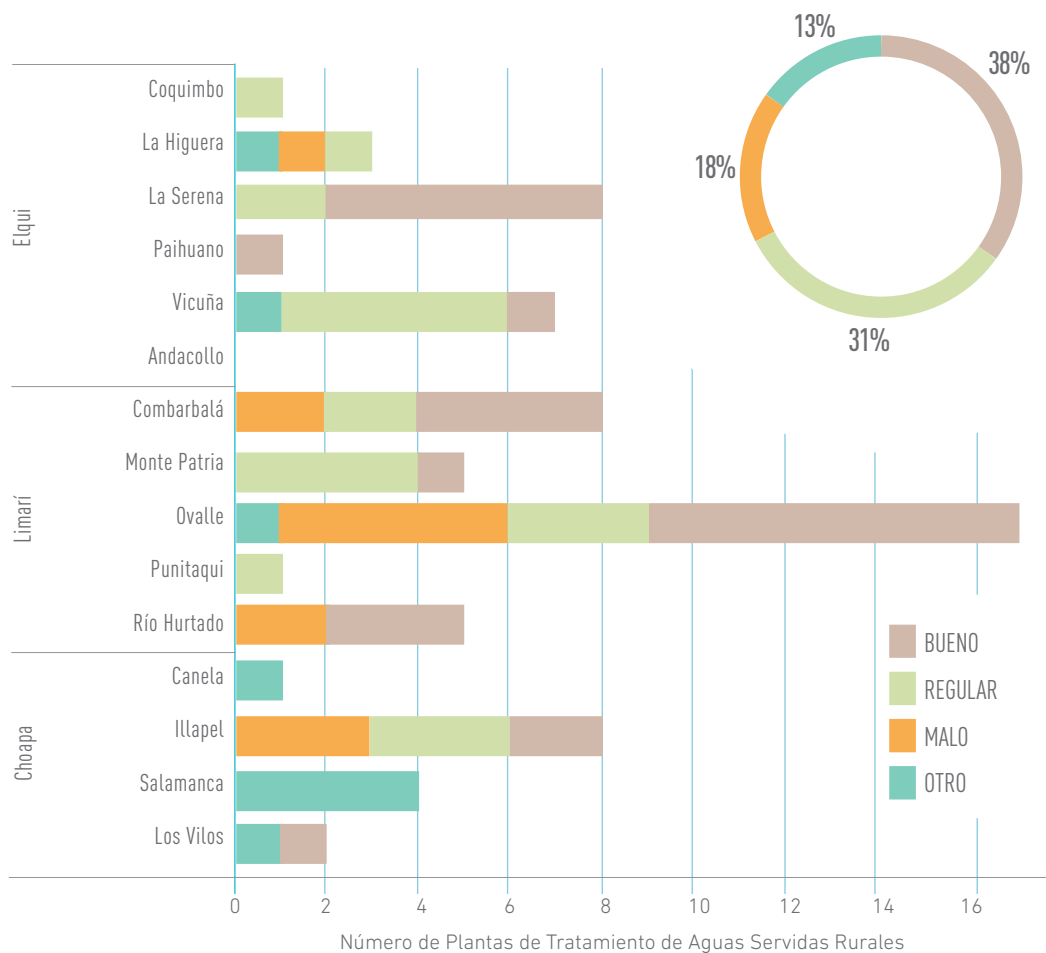
Fuente: SISIS, 2012



Del análisis se desprende que existe una gran cantidad de sistemas de tratamiento (69%) que se encuentran en buenas y regulares condiciones de operación, localizados principalmente en las comunas de Ovalle, La Serena, Vicuña y Combarbalá. Un 18% están en malas condiciones y el resto se categoriza “en otra situación”, ya que están en licitación, construcción o ejecución de sus obras.

FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DE PTAS RURALES POR COMUNAS, REGIÓN DE COQUIMBO

Fuente: SUBDERE, 2012





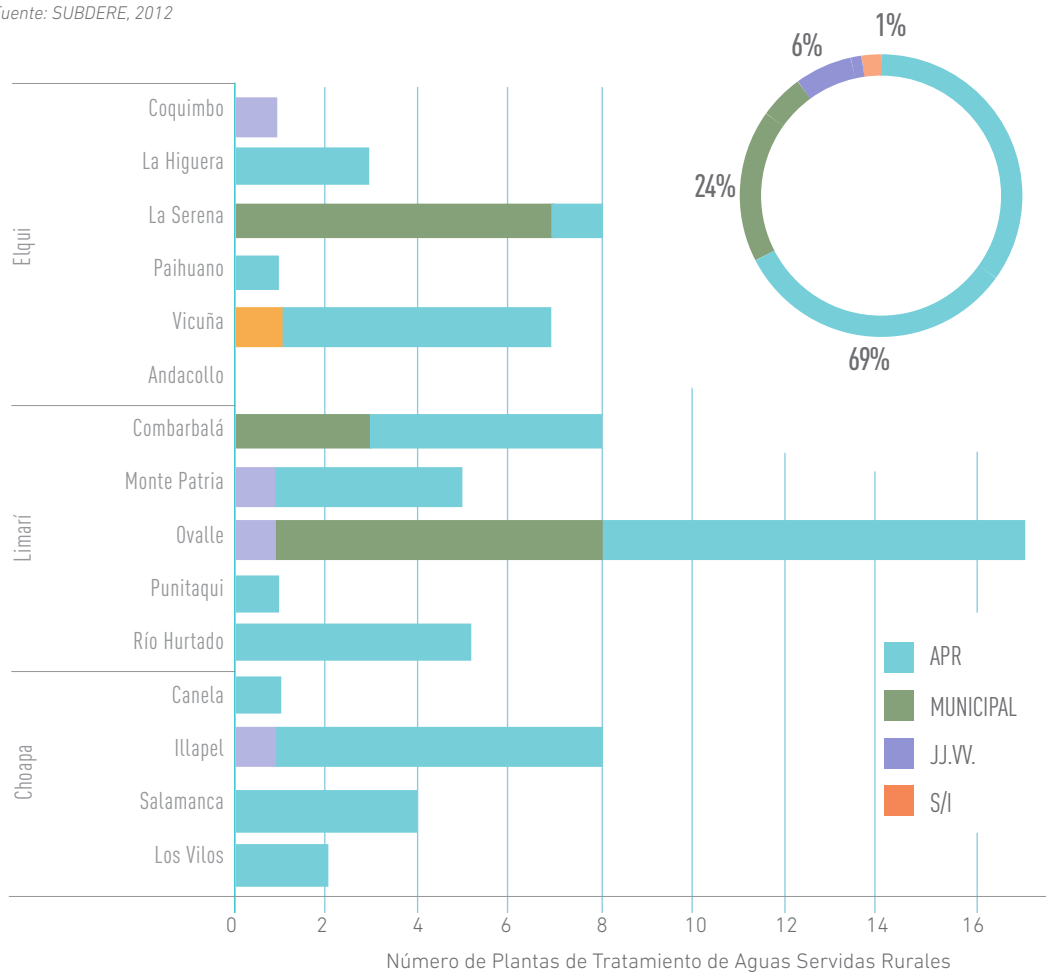
Gestión de las PTAS rurales

En cuanto al tipo de administración bajo el cual se encuentran los sistemas de tratamiento (Figura 17), la situación es la siguiente:

- Un **69% están bajo el régimen de cooperativas y/o comités de agua potable rural (APR)**. Estas son organizaciones comunitarias que se rigen por la Ley de Juntas de Vecinos, las que no persiguen fines de lucro, gozan de personalidad jurídica y sus socios ingresan y participan de forma voluntaria, personal e indelegable. Su objetivo principal es administrar, operar y mantener el servicio de agua potable en cada localidad donde el Ministerio de Obras Públicas ha construido un servicio, junto con la recolección y tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas por la comunidad. Estas organizaciones se hacen cargo de realizar los cobros de tarifa fija y por metro cúbico de agua residual tratada, lo que se utiliza para cancelar los gastos fijos y variables de la PTAS.
- Un **24% se encuentra bajo la administración de municipios**, quienes destinan recursos económicos y profesionales para mantener las PTAS rurales a su cargo en condiciones óptimas de operación, mientras que para los establecimientos educacionales que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas servidas, es el departamento educacional de cada municipalidad el encargado de administrarlos.
- Un **6% son mantenidos por juntas vecinales (JJVV)**, las que son organizaciones comunitarias de carácter territorial, representativas de las personas que residen en un mismo barrio y cuyo objetivo es promover el desarrollo de la comunidad, defender los intereses y velar por los derechos de los vecinos. Se hacen cargo de los cobros correspondientes a los usuarios de estos sistemas, con lo cual se cancelan los gastos para mantener operativo el sistema de tratamiento.
- El 1% restante no posee información en cuanto a su administración.

FIGURA 17. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS PTAS RURALES POR COMUNA, REGIÓN DE COQUIMBO

Fuente: SUBDERE, 2012



ANALIZANDO EL POTENCIAL PARA UN PRIMER SISTEMA DE REÚSO EN LA REGIÓN

Aplicando primeros criterios de alta demanda hídrica, zonas con mayor estrés hídrico y elevado número de PTAS rurales en las distintas localidades, la selección del primer sistema para reúso fue seguida por un análisis de aspectos técnico-estructurales, logísticos y de gestión administrativa, todos estos factores clave que sirven de referencia para el emprendimiento de futuras experiencias de este tipo.

Con el fin de implementar un sistema de reúso de aguas residuales, en noviembre de 2017 se seleccionó una de las 71 PTAS rurales existentes en la Región de Coquimbo. Esta selección se realizó de acuerdo a distintos criterios, comenzando desde aspectos macro hasta consideraciones específicas que garantizaran la utilización segura en el tiempo de las aguas residuales tratadas en los sistemas de tratamiento rural, junto con la viabilidad y mantenimiento de un sistema que aprovechara el agua para fines productivos, el que permitiera obtener resultados positivos para la continuidad y réplica futura.

Para seleccionar las comunas donde existiera mayor factibilidad de instalar el sistema de reúso, se consideraron tres componentes

críticos dentro de la línea base regional:

- **Demanda hídrica.** Debido a que la mayor demanda de agua de la región se da en el sector agrícola y doméstico, estos fueron analizados en detalle. La demanda de ambos sectores se concentra principalmente en las comunas de Ovalle, Monte Patria, Vicuña, Coquimbo y La Serena, y presenta un mayor consumo en las comunas de Ovalle y Vicuña, debido principalmente a la elevada población tanto urbana como rural que estas comunas tienen, junto con la alta vocación agrícola de estas zonas.
- **Zonas de estrés hídrico.** Analizando la situación de las aguas subterráneas, se observó que las zonas con mayor descenso en el nivel de los pozos (donde estos tienen mayor extracción de agua que recarga y por tanto están en riesgo de agotarse) se concentran principalmente en las comunas de Ovalle y Vicuña, lo que se condice con la alta demanda hídrica que estas comunas poseen. Le siguen en la cantidad de pozos con descenso en sus niveles las comunas de Coquimbo y La Higuera.
- **Número de PTAS rurales.** La mayor cantidad de PTAS rurales se concentran principalmente en las comunas de Ovalle, Vicuña, Combarbalá, Illapel y La Serena.

Con estos tres primeros criterios de selección, se concluye que las zonas con mayor potencial y factibilidad para evaluar la instalación de sistemas de reúso de aguas residuales tratadas son las comunas de Ovalle (provincia de Limarí) y Vicuña (provincia de Elqui), dados los elevados consumos hídricos que presentan los sectores productivos agrícola y de agua potable, junto con el estado de descarga en que se encuentran los pozos que en ellas se ubican. De esta forma son 5 PTAS rurales de la comuna de Vicuña y 13 de la comuna de Ovalle (Tabla 13) las que poseen mayor potencial para el reúso de aguas residuales y las que en este estudio fueron analizadas en mayor profundidad.

TABLA 13. PTAS RURALES VISITADAS EN LAS COMUNAS DE OVALLE Y VICUÑA

Fuente: Elaboración propia.

Información				Coordenadas	
Provincia	Comuna	Localidad	Nombre	Este	Norte
Limarí	Ovalle	Cerrillos de Tamaya	Cerrillos de Tamaya	268398	6611697
		Tabalí	Escuela El Tabalí	266980	6607837
		La Torre	Escuela Lucia Núñez de la Cuadra	273000	6610351
		El Trapiche	Escuela El Trapiche	276846	6609122
		Lagunillas	Escuela Elvira del Carmen Ochoa	292189	6618771
		Santa Cristina	Escuela Padre Damián Heredia	265130	6619152
		Villaseca	Escuela Valentín Letelier	293800	6616784
		Unión Campesina	Escuela Unión Campesina	279386	6598614
		Socos	Internado Patricio Ceballos	261542	6599782
		El Guindo	El Guindo	297667	6608312
		Sonora	Sonora Los Acacios	2819987	6603119
		Huamalata	Huamalata - Villa San Antonio	293089	6616725
		Limarí	Lomas de Limarí	282271	6612788
Elqui	Vicuña	Rivadavia	Población Brisas Elquinas (Rivadavia)	349497	6682806
		El Tambo	Población Nueva Aurora	327661	6676703
		Gualliguaica	Gualliguaica	324914	6678935
		La Calera	La Calera	307491	6679155
		Marquesa	Marquesa	309711	6683322

El procesamiento y análisis de la información recolectada permitió conocer la situación real de los sistemas de tratamiento y categorizarlos de acuerdo a su estado de funcionamiento y dependencia administrativa, resultados que se muestran en la Figura 18.

A partir de la visita y las encuestas realizadas, se observó que existen en las comunas de Ovalle y Vicuña nueve PTAS rurales en buenas condiciones de funcionamiento técnico-operacional, cinco en estado regular y cuatro fuera de funcionamiento. Se observó que nueve de estos sistemas se encuentran administrados por municipios, ocho por comités de APR y solo una por juntas vecinales.

Los sistemas que se encontraban fuera de operación eran administrados en su totalidad por municipios, mientras que los que operaban de buena manera eran administrados en su mayoría por comités de APR, lo que permite deducir que la forma de organización y administración que poseen las APR resultan más efectivas para una óptima operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Estos resultados se muestran en la Figura 18, donde se puede ver las plantas de tratamiento catalogadas de acuerdo a la administración bajo la que se encuentran, si se encuentran en buenas, regulares o malas condiciones, y los principales factores evaluados para categorizarlas en estos tres grupos.

FIGURA 18. RESULTADO DE VISITA A PTAS RURALES DE LAS COMUNAS DE OVALLE Y VICUÑA EN LA REGIÓN DE COQUIMBO, DE ACUERDO A SU ESTADO DE FUNCIONAMIENTO Y TIPO DE ADMINISTRACIÓN

Fuente: Elaboración propia.

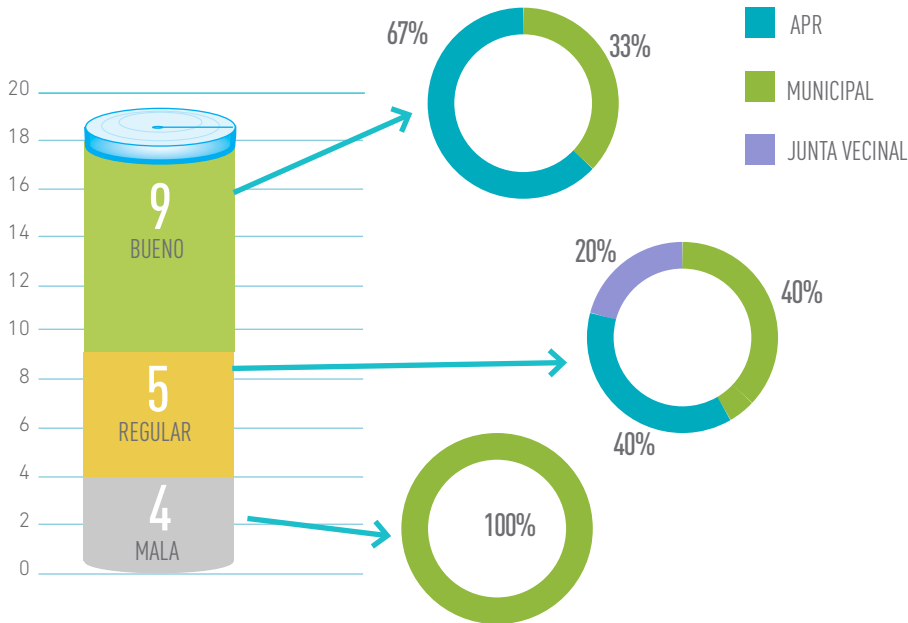
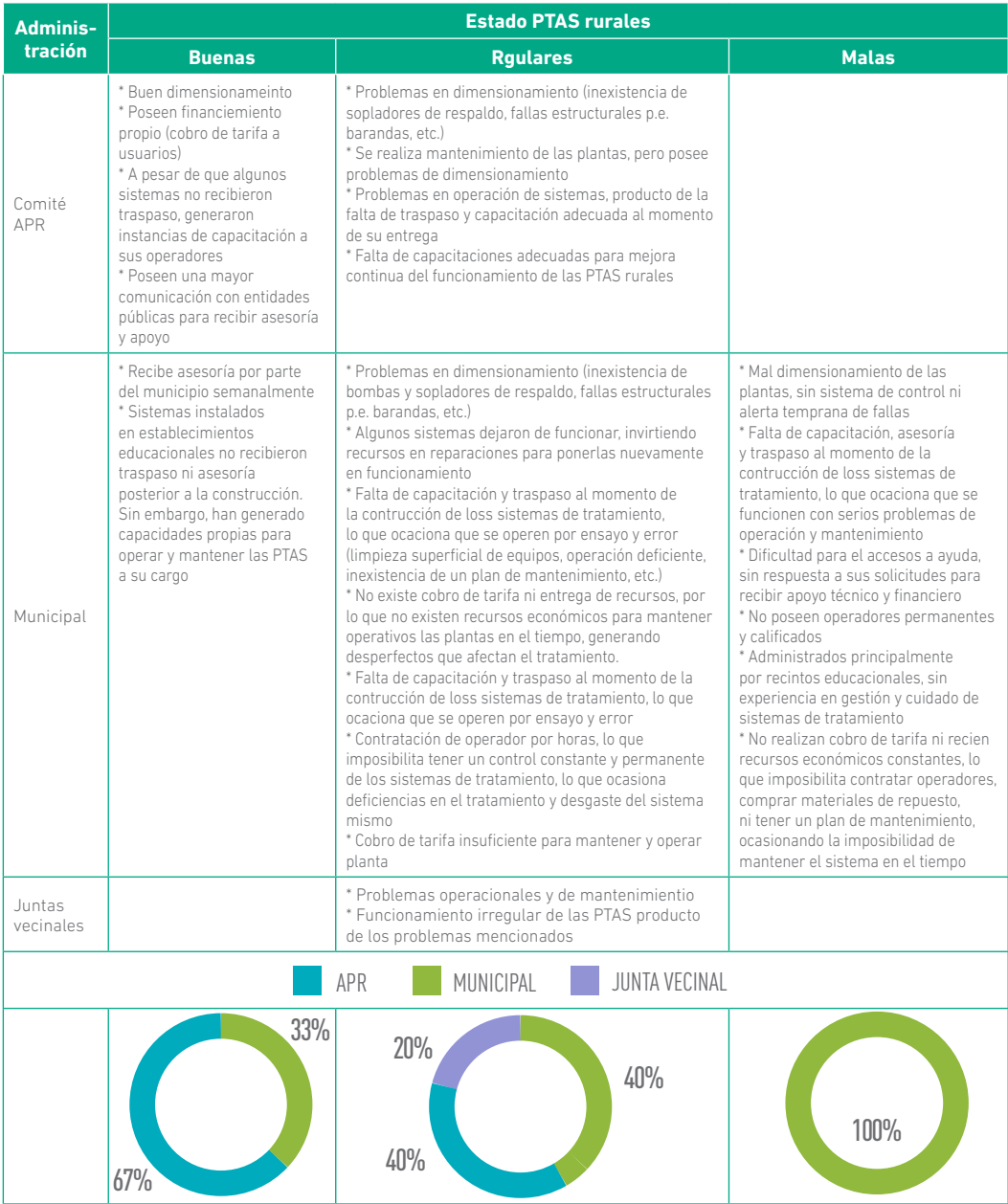


FIGURA 19. ARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PTAS RURALES DE LAS COMUNAS DE OVALLE Y VICUÑA, SEGÚN ESTADO Y SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Fuente: Elaboración propia



CLAVES PARA OBTENER AGUAS CON CALIDAD PARA REÚSO

A partir del análisis, se observa que una mayor proporción de PTAS rurales administradas por comités de APR se encuentra en mejores condiciones de funcionamiento que las administradas por municipios y juntas vecinales.

Un factor relevante a considerar es el financiamiento existente para mantener un operador en forma permanente, realizar las reparaciones de equipos e infraestructura necesaria a tiempo y hacer las mejoras que requieren las PTAS rurales, todos estos aspectos críticos observados para el buen funcionamiento de las plantas. En este sentido, cabe destacar los sistemas de los comités de APR para el cobro de tarifa a los usuarios, los que aseguran el financiamiento permanente y adecuado. En el caso de las juntas de vecinos, el cobro a usuarios no es suficiente para la adecuada mantención del sistema. En el caso de los municipios, no hay cobro de tarifas para la mantención de los sistemas, existiendo una dependencia relevante del presupuesto que pueda ser designado. No todos los sistemas administrados por municipios se encuentran operando, siendo clasificados en estado "malo". La capacidad de los mismos operadores para financiar la operación y mantención de los sistemas resulta el factor fundamental para el funcionamiento bueno o regular de los demás sistemas municipales.

Por otra parte, si bien el adecuado traspaso y desarrollo de capacidades al momento de puesta en marcha de los sistemas de tratamiento es altamente deseable, en la práctica la ausencia de este requisito no ha sido un factor relevante en la buena o mala operación de los sistemas de tratamiento. La mayoría ha logrado mantener el funcionamiento debido a las gestiones que hacen sus administradores

y, en algunos casos, los mismos operadores.

Para evaluar las condiciones de funcionamiento de las PTAS y la factibilidad de desarrollar proyectos de reúso de las aguas tratadas se identifican tres criterios relevantes a considerar los que se describen en detalle a continuación:

Aspectos técnico-estructurales:

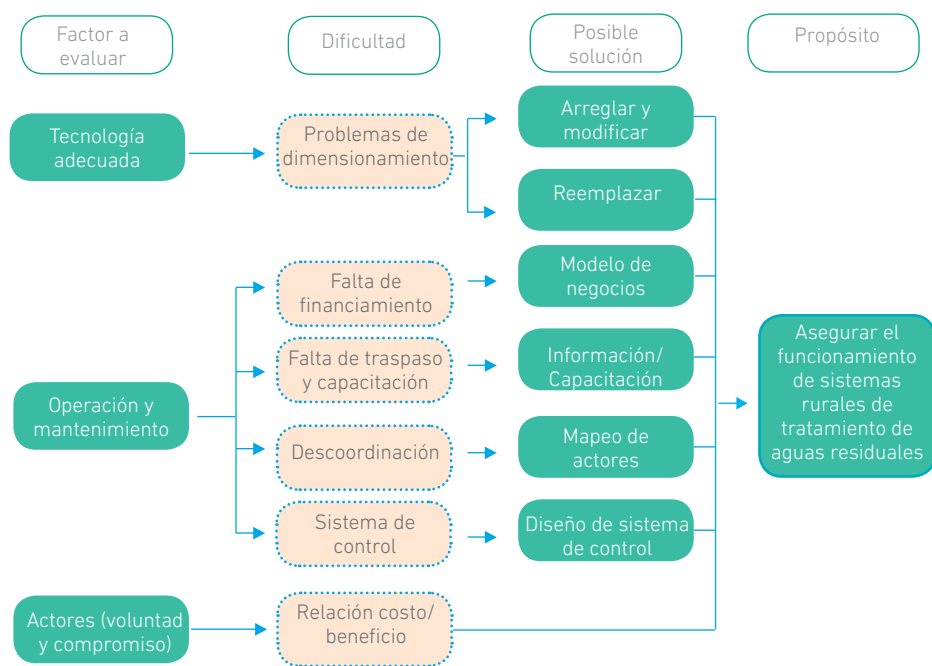
- Operación y mantenimiento óptimo del sistema de tratamiento, cumpliendo el efluente con la normativa de descarga (D.S. 90/2007).
- Dimensionamiento de la PTAS adecuado para el volumen de tratamiento.
- Existencia de un operador a cargo del sistema quien gestiona la operación y mantenimiento en forma permanente con eventual apoyo adicional en caso de ser requerido. .
- Una vez construido el sistema éste es traspasado a la administración capacitando adecuadamente a los operadores a cargo.
- Existencia de un mecanismo de control manual manejado por el operador el que regularmente verifica que el sistema se encuentre operando en óptimas condiciones, lo que permite reaccionar a tiempo para solucionar inconvenientes de operación.

Aspectos de gestión administrativa:

- Comité de APR con una gobernanza y administración organizada, pendiente constantemente de que el sistema de tratamiento opere apegado a la normativa vigente, y gestionando mejoras a tiempo.
- Compromiso por parte de la administración de mantener operando el sistema de tratamiento de forma de obtener aguas de calidad suficiente

FIGURA 20. ASPECTOS TÉCNICO-OPERACIONALES-ADMINISTRATIVOS QUE INFLUYEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS COMUNAS DE OVALLE Y VICUÑA

Fuente: Elaboración propia



para riego, y del agricultor de mantener el sistema de riego para fines productivos.

- Interés constante de la administración de la PTAS de realizar reúso productivo de aguas residuales tratadas.

Aspectos logísticos:

- Proximidad del usuario del agua residual tratada a la PTAS para evitar incurrir en mayores gastos de conducción que encarecen el sistema de reúso.
- Interés importante por parte del nuevo usuario, comprometido en invertir, operar y mantener el sistema implementado en el tiempo.
- Existencia de infraestructura que pueda ser aprovechada y valorizada para el

proyecto (por ejemplo, estanques o tranques para acumulación de aguas, sistema de conducción, terreno/suelo, bombas de impulsión, sistemas de riego, entre otros).

Como se mencionó anteriormente, la factibilidad de realizar reúso de aguas residuales tratadas está condicionada al buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, los que asegurarán la inocuidad y sustentabilidad en el tiempo del reúso productivo. Los factores principales que influyen en el funcionamiento de las PTAS rurales analizados en la región se muestran en la Figura 20. Esta información se puede utilizar para evaluar el estado de las PTAS rurales de la región, estableciendo su situación actual, los principales problemas en su proceso operativo y aspectos que deben solucionarse para un buen funcionamiento, de modo de poder abordarlas para luego replicar el sistema de reúso implementado.

Principales inconvenientes

De acuerdo al análisis realizado en la Región de Coquimbo, los inconvenientes por abordar identificados para los sistemas de tratamiento de aguas residuales son:

- Falta de financiamiento por parte de los sistemas administrados principalmente por municipios y juntas vecinales.
- Descoordinación entre la administración y los actores que pudieran entregar insumos y capacitación a los operadores.
- Aunque no es un factor limitante del buen funcionamiento de los sistemas, se identifica que en general existe una carencia en el traspaso y capacitación de la administración y los operadores al momento de entregar la obra.

Vías de solución

El análisis de las PTAS rurales en condiciones de funcionamiento regulares y malas permite encontrar potenciales soluciones a los problemas que las aquejan, las que en caso de ser implementadas permitirán entregar un servicio de calidad a la población en relación al tratamiento de las aguas servidas rurales, evitar la contaminación de napas subterráneas o recursos hídricos superficiales, y habilitar el reúso de las aguas residuales tratadas para fines productivos locales.

La Tabla 14 presenta la ponderación de los condicionantes que afectan a las PTAS rurales que funcionan de manera regular y mal, mostrando el porcentaje de plantas con cada uno de los déficit identificados.

TABLA 14. PONDERACIÓN DE PRINCIPALES PROBLEMAS QUE AFECTAN A PTAS RURALES EN REGULAR Y MAL FUNCIONAMIENTO

Fuente: Elaboración propia

Situación PTAS rurales	Falta de financiamiento	Problemas en Operación y mantenimiento	Tecnología de tratamiento inadecuado	Mal dimensionamiento
Regulares		19,7%		
Regulares	11,3%			
Malas		5,6%		
Malas	1,4%			
Malas		11,3%		

Nota: No se cuenta con la información acerca del estado de funcionamiento de 13% de las plantas que existen en la Región de Coquimbo. El 38% restante corresponde a las PTAS en buenas condiciones, las que cumplen con todas las condiciones de financiamiento, operación y tecnológicas mencionadas en la tabla.



De esta forma, para el 31% de las PTAS que funcionan de manera regular, el 19,7% se debe principalmente a problemas de falta de capacidades técnicas de los operadores de las PTAS en cuestión, lo que podría ser solucionado implementando planes de capacitación para ellos, eventualmente cofinanciado por entidades públicas y los mismos administradores de las PTAS rurales, lo que permitiría subsanar problemas de operación y mantenimiento. Para esto sería necesario contar con un departamento sanitario a nivel provincial que se hiciera cargo de gestionar la entrega de esta información, ya sea mediante capacitaciones propias o contratando organizaciones que pudieran instruir a los operadores.

También se requiere evaluar sistemas de tratamiento menos sofisticados en términos operacionales, diseñados en base a condiciones bien establecidas (caudal de tratamiento, carga biológica, aumento de población asistida, etc.), los que permitan controlar eficientemente la calidad del efluente y poder reutilizarlo para fines productivos locales. Por tanto, la implementación de sistemas de tratamiento no convencionales

(por ejemplo, lombrifiltros, wetlands, biotreat, etc) puede ser una buena alternativa.

Además, es necesario mejorar el sistema de traspaso de las unidades de saneamiento al momento de su construcción, entregando capacidades a los operadores y administradores para detectar y gestionar a tiempo reparaciones y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, lo que impactaría directamente en reducir el riesgo de desperfectos mayores en las PTAS rurales a futuro, facilitando la generación de aguas residuales tratadas aptas para reúso.

En el 11,3% de las PTAS que funcionan en forma regular, además de los problemas anteriormente mencionados, se presentan deficiencias en los recursos económicos requeridos para realizar reparaciones y mejoras en los sistemas de tratamiento, así como para contratar personal calificado que pueda hacerse cargo de su operación y mantenimiento. Una alternativa sería contemplar ayuda financiera a los sistemas de tratamiento rurales, ya sea a través de subsidios estatales o inversión de privados, apoyando su funcionamiento, lo que habilitaría

la implementación del reúso, con el consecuente beneficio en potenciar el desarrollo local. La habilitación de un reúso productivo de las aguas residuales tratadas permitiría generar recursos económicos extra que podrían paliar el déficit económico en cuestión, además de recuperar la inversión realizada para su establecimiento. Lo anterior se describe en el capítulo 6.

En el caso de las PTAS rurales en mal funcionamiento, las condiciones que mayoritariamente las afectan están relacionadas con el tipo de tecnología, dimensionamiento de la misma y dificultades de operación y mantenimiento (11,3%) y

falta de operadores calificados para operar y mantener los sistemas de buena forma (5,6%). En casos aislados (1,4%), se suma al déficit de operación y mantenimiento, la falta de financiamiento para realizar las mejoras. Los sistemas de tratamiento sofisticados generan complicaciones de operación y mantenimiento, lo que podría ser abordado mediante un adecuado traspaso por parte de los organismos que los entregan, asegurando las capacidades de los operadores que se harán cargo. Esto fomentaría la reducción de eventos de mal funcionamiento, evitando gastos innecesarios en ajustes de mantenimiento.

En el caso de las PTAS rurales en mal funcionamiento, las condiciones que mayoritariamente las afectan están relacionadas con el tipo de tecnología, dimensionamiento de la misma y su dimensionamiento de la misma y dificultades de operación y mantenimiento (11,3%) y falta de operadores calificados para operar y mantener los sistemas de buena forma (5,6%). En casos aislados (1,4%), se suma al déficit de operación y mantenimiento, la falta de financiamiento para realizar las mejoras.

6



EXPERIENCIA EN CERRILLOS DE TAMAYA



EL CASO DE CERRILLOS DE TAMAYA

Para la primera experiencia de reúso en la Región de Coquimbo, se escogió la PTAS de Cerrillos de Tamaya, a la cual cuenta con la mayor cantidad de requisitos habilitadores para la implementación de esta iniciativa.

La planta de tratamiento de aguas servidas de Cerrillos de Tamaya se emplaza en la localidad del mismo nombre, en la provincia del Limarí, Región de Coquimbo. La planta fue construida en 2005, financiada por un Fondo Nacional de Desarrollo Regional, utilizando un terreno de aproximadamente 1.000 m². Es administrada por el Comité de Agua Potable Rural (APR) de Cerrillos de Tamaya, organización comunitaria sin fines de lucro con participación voluntaria por parte de sus socios. Este comité administra, opera y mantiene el servicio de agua potable en la localidad, además del sistema de tratamiento construido para depurar las aguas servidas que la comunidad genera.

La localidad posee un sistema de alcantarillado que transporta las aguas servidas domiciliarias de aproximadamente 2.900 habitantes hacia la PTAS de Cerrillos de Tamaya, generando un caudal de aguas servidas tratadas constante de aproximadamente 6 l/s. La planta es un sistema de tratamiento secundario de lodos activados, el que corresponde a una serie de procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, consistente en el desarrollo de un cultivo bacteriano en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado continuamente con aguas residuales, siendo capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos

presentes en el afluente (Ramalho, 1990).

El efluente generado por la PTAS de Cerrillos de Tamaya cumple con la norma de emisión establecida en la tabla 1 del Decreto Supremo 90/2000, la cual regula las descargas de residuos líquidos a cuerpos o masas de aguas superficiales y marinas, estableciendo límites permisibles que deben ser cumplidos antes de la descarga del efluente al punto establecido por la autoridad. Como se mencionó anteriormente, esta norma de calidad es suficiente para generar aguas con calidad de riego.

La PTAS cuenta con un operador permanente, el que se encarga de operar, mantener y velar por que la calidad de las aguas residuales tratadas cumpla con la normativa establecida, alertando de forma temprana en caso de generarse problemas para solucionarlos a tiempo.

El sistema de tratamiento se encuentra al lado de aproximadamente 50 metros de terrenos agrícolas aptos para cultivo, el que cuenta con un sistema de acumulación (tranque) de aproximadamente 3.000 m³ de capacidad además de una caseta de riego, posibles de utilizar para la implementación del proyecto de reúso. El agricultor dueño del terreno es un poblador con amplia experiencia en temas de manejo agrícola, quien expresó interés en hacerse cargo del sistema. Las positivas condiciones del sistema sumado al interés de la comunidad de desarrollar el proyecto llevó a generar un acuerdo entre el agricultor y la administración de la PTAS, estableciendo un modelo de distribución de ganancias con compromisos de ambas partes. Por un lado, la administración de la PTAS se hace responsable de operar de manera óptima el sistema de tratamiento, generando aguas con calidad de riego (cumplimiento de DS90/2000), mientras que el agricultor adquiere el compromiso de hacerse cargo íntegramente de la operación y funcionamiento del sistema de reúso, además de gestionar la venta del producto

FIGURA 21. TERRENO AGRÍCOLA ALEDAÑO A PTAS DE CERRILLOS DE TAMAYA, UTILIZADO PARA CULTIVO UTILIZANDO AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Fuente: Elaboración propia



agrícola generado, entregando un porcentaje de las ventas a la administración para que esta invierta los recursos en mejoras de la planta. Estos acuerdos fueron planteados en asamblea a un grupo representativo de la localidad de Cerrillos de Tamaya, además de los beneficios que el reúso implica a nivel económico, ambiental y social para la comunidad, siendo aprobada la implementación del proyecto de reutilización de aguas residuales tratadas.

FIGURA 22. TRANQUE DE ACUMULACIÓN UTILIZADO PARA ACUMULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS, UBICADO EN TERRENO AGRÍCOLA CERCANO A PTAS DE CERRILLOS DE TAMAYA

Fuente: Elaboración propia.



SELECCIÓN DEL CULTIVO Y TECNOLOGÍA DE RIEGO

La evaluación de factibilidad de alternativas productivas haciendo uso de aguas residuales tratadas para riego, obedeció al análisis de información en cuanto a los estándares internacionales de riego y cultivos que pueden producirse utilizando este tipo de aguas.

Tras el análisis de los principios generales que rigen y habilitan el reúso de aguas residuales tratadas, se seleccionó un cultivo que se utilizaría en este primer caso de reúso productivo. Tomando en consideración las normas de inocuidad que estos principios establecen (ver "Manejo de las aguas para el riego de cultivos"), se optó por la producción de alfalfa, debido a que el establecimiento de este cultivo es rápido y de bajo costo, y es utilizado para alimentación animal, por

lo que, tomando las medidas de secado, se resguardan las condiciones de inocuidad para este uso. Junto a esto, la localidad de Cerrillos de Tamaya posee una población importante de caprinos, lo que permite que la comercialización del producto agrícola sea rápida y económica en cuanto a su transporte, reduciendo gastos en los que debe incurrir el agricultor.

También se encuentra establecido un sistema de riego por aspersión para la alfalfa, cuya ventaja principal es que puede ser controlado en base a la demanda máxima de agua para riego, el coeficiente de cultivo y la eficiencia de aplicación, lo que entrega condiciones operacionales de bien establecidas que permiten un uso aún más eficiente de esta nueva fuente de agua. Se tomaron además en consideración las recomendaciones establecidas en el análisis de esta tecnología para riego con aguas de reúso, principalmente en relación a la exposición de los trabajadores y la distancia que este tipo de riego debe tener de la población aledaña.

De esta forma, el proyecto ejecutado optó por instalar un sistema de riego por aspersión de 6 hectáreas de un cultivo de alfalfa para la producción de fardos secos en la localidad de Cerrillos de Tamaya, en un terreno que se encuentra 50 metros al oriente de la PTAS de la localidad que produce diariamente un caudal de agua continuo de 6 l/s.

FIGURA 23. VALORES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO*Fuente: Elaboración propia.*

Para una demanda máxima de agua de riego equivalente a 7,8 mm/día, con un coeficiente de cultivo de 1,05 y una eficiencia de aplicación de 75% (riego por aspersión), se requiere un aporte de 82,3 m³/ha/día para satisfacer los requerimientos de riego de un campo de alfalfa. Estos valores determinan la posibilidad de regar:

$$(492,48 \text{ m}^3/\text{día} / 82,30 \text{ m}^3/\text{ha/día}) = 5,98 \text{ hectáreas de este cultivo}$$

Una frecuencia adecuada de riego para las características de retención de agua del suelo y las condiciones climáticas presentes en el campo seleccionado para establecer el piloto es de 3 días y se considera dividir el campo en 12 sectores de 0,5 hectáreas cada uno. De esta manera, en cada evento de riego se requiere aplicar:

$$(82,3 \text{ m}^3/\text{ha/día} * 3 \text{ días} * 0,5 \text{ ha}) = 123,45 \text{ m}^3 \text{ por sector}$$

La descarga del equipo de riego en el sector es 7,5 L/s = 27,0 m³/h, con 30 aspersores funcionando simultáneamente, con descarga unitaria de 0,25 L/s. El tiempo de riego para recuperar la evapotranspiración del cultivo desde el riego anterior es:

$$123,45 \text{ m}^3 / 27,0 \text{ m}^3/\text{h} = 4 \text{ horas con } 34 \text{ minutos}$$

Se riega dos sectores del campo cada día en forma consecutiva, repitiendo el riego en un mismo sector al cuarto día desde el riego anterior.

El diseño de cada sector de 0,5 hectáreas para el sistema de riego por aspersión se muestra en la Figura 24 junto con las especificaciones técnicas consideradas para este caso.

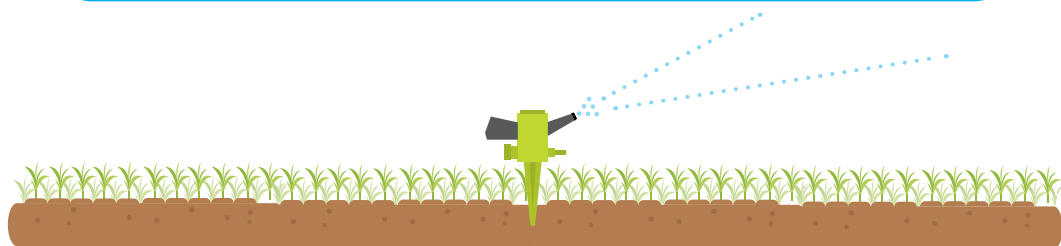
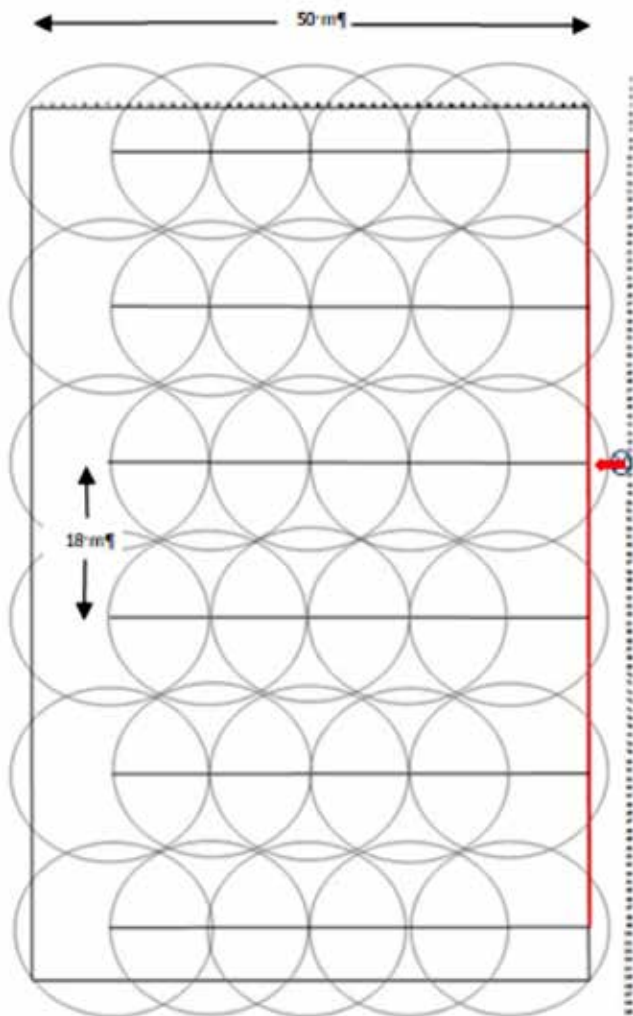


FIGURA 24. DISEÑO SECTOR DE RIEGO PARA 0,5 HECTÁREAS, REPLICABLE PARA LOS DEMÁS SECTORES EN EL SISTEMA DE REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS IMPLEMENTADO EN CERRILLOS DE TAMAYA

Fuente: Elaboración propia



Solio Set para 0,5 Ha

1 matriz 110 mm * 90 m

6 laterales 110 mm * 43 m

Diámetro de tiro = 18 m;
Traslape 30%

Q aspersor = 0,25 l/s; 18 m.c.a.

Flujo entrada en el lateral = 1,25 l/s

Flujo máximo en matriz = 3,75 l/s

Descarga del equipo = 7,5 l/s = 27,0 m³/h

Bomba impulsora: 450 l/min; 28 m.c.a.

7 Tees de conexión 110 mm * 110 mm

30 Tees para elevadores 110 * 50 mm

30 Elevadores 50 mm * 1,25 m

30 Acoples rápidos 50 mm



EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA ELEGIR EL CULTIVO

La evaluación económica consideró los principales cultivos que se generan en la Región de Coquimbo, analizando diferentes factores para seleccionar finalmente la alfalfa como producto para esta experiencia, tales como los costos de producción (mano de obra, maquinaria, insumos, etc.), los rendimientos de cada cultivo y los precios de venta de mercado, entre otros.

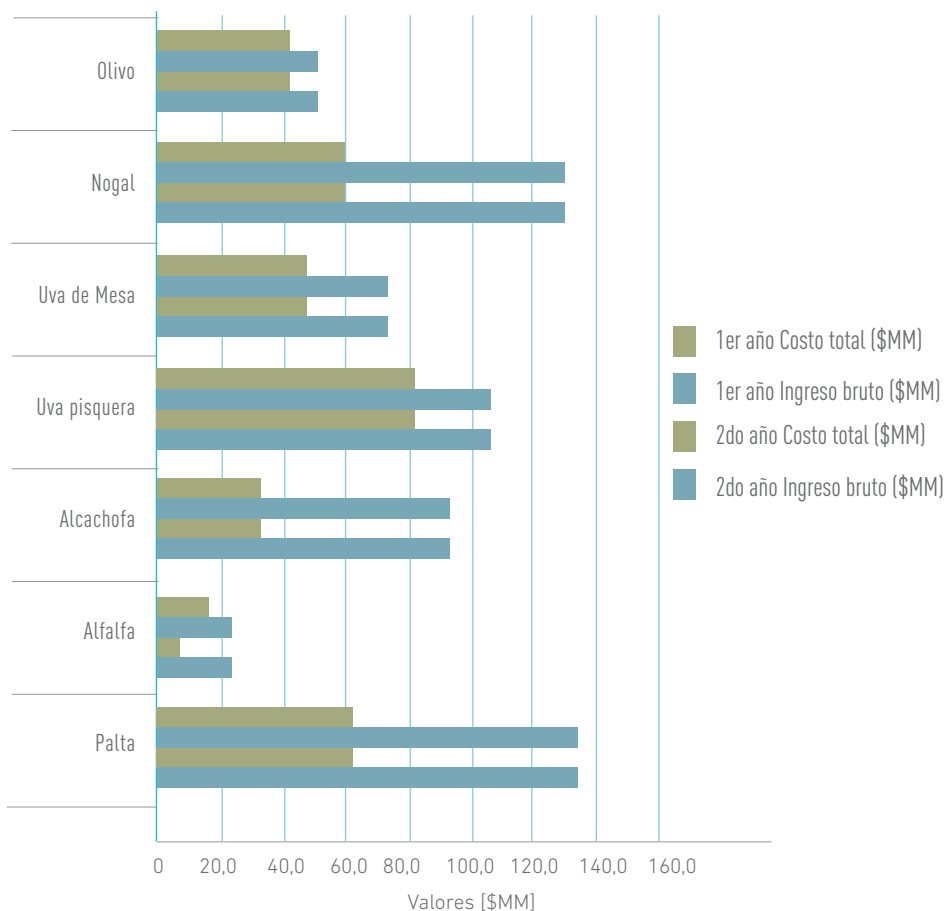
Para analizar la factibilidad económica, se utilizaron fichas técnico-económicas elaboradas por ODEPA y adaptadas en algunos casos con datos de fichas de INDAP (ODEPA.b, 2017) (INDAP, 2017). Estas fichas identifican los costos asociados y valoración de sus requerimientos según rendimiento esperado para cultivos de la Región de Coquimbo, las que permiten modificar los valores predefinidos, obteniendo mediante la actualización de los datos costos más ajustados a la realidad de la agricultura en la región.

Los cultivos evaluados fueron:

- Olivo
- Nogal
- Uva de mesa
- Uva pisquera
- Alcachofa
- Alfalfa
- Palto

FIGURA 25. COSTOS E INGRESOS BRUTOS ASOCIADOS A 7 DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS GENERADOS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO DURANTE LOS 2 PRIMEROS AÑOS DE CULTIVO.

Fuentes: INE, 2007; ODEPA_b, 2017; INDAP, 2017



Los costos asociados a su producción durante el primer y segundo año de labores agrícolas tomaron en consideración:

- El caudal de aguas residuales tratadas descargadas por la PTAS de Cerrillos de Tamaya (6 l/s).
- El consumo promedio hídrico de cada uno de los cultivos, expresado como el volumen

utilizado [m³] para regar una hectárea durante un periodo de un año [m³/ha/año].

- Los datos aportados por la fichas técnico-económicas para cada uno de los cultivos preseleccionados.

Estos resultados se muestran en la Figura 25

Los resultados muestran que para todos los cultivos los costos de inversión son iguales en todos los años a excepción de la alfalfa, la cual durante el segundo año presenta costos sustancialmente menores, representando solo un 35% del costo del primer año. La razón es que la alfalfa es un cultivo perenne, lo que significa que tiene una vida reproductiva de varios años, pudiendo alcanzar los seis años o más. Esto permite amortizar los costos que genera su establecimiento y cultivo durante el primer año, pudiendo distribuirlo incluso en más temporadas.

De esta forma, los costos de desarrollo de la alfalfa se pueden dividir en dos etapas de su ciclo productivo que representan claramente los costos de inversión y producción de esta forrajera (INIA, 2003):

- Etapa de establecimiento: incluye todos los costos de preparación de suelo, siembra, plaguicidas, aplicación de enmiendas calcáreas o acidez, fertilización, sistema de riego, etc., hasta que la pradera está en condiciones de ser utilizada por primera vez.
- Etapa de utilización y mantención: abarca los costos involucrados desde la primera utilización de la pradera hasta el término de su vida útil, los cuales son resiembra, enmiendas nutricionales, control de plagas y enfermedades en caso de existir algún ataque de ellas.

Al existir un menor costo en labores agronómicas para la alfalfa durante el segundo año, la rentabilidad de este cultivo se eleva por sobre la de los demás, comparando el primer y segundo año de cultivo, donde la rentabilidad en ambos casos es igual debido a que los costos para las labores agronómicas son iguales en todos los años. Esto hace que la alfalfa, aun cuando no es un cultivo que genera altos

réditos económicos en comparación con otros (presenta una rentabilidad de un 9% respecto a los costos de inversión para el primer año), sí genera alta retribución económica para los años siguientes. Esto hace que se genere un elevado aumento en el ingreso neto por concepto de su comercialización en comparación a cultivos que requieren labores agronómicas anuales.

La Tabla 15 muestra los valores de inversión en sus diferentes ítems, las consideraciones que se tomaron sobre productividad y los rendimientos económicos para los dos primeros años de desarrollo del proyecto de cultivo de alfalfa utilizando aguas residuales tratadas en la localidad de Cerrillos de Tamaya. Mediante el análisis del flujo de caja para el cultivo de alfalfa, se pueden determinar algunos indicadores económicos.

Mediante el análisis de estos resultados, se obtiene que el VAN es de 91 millones de pesos, con una tasa del 10%, mientras que el TIR fue del 39%, lo que al ser superior a la tasa exigida considera aconsejable la inversión en este sistema productivo bajo las características en las que se desarrolla, ya que este valor indica una alta rentabilidad del proyecto.

El payback del proyecto, que corresponde al número de años que necesita la inversión para que el valor actualizado de los flujos netos de caja igualen al capital invertido, es de 2 a 2 años y medio, dependiendo mucho de la productividad de alfalfa que se logre y los precios de venta de los fardos, entregando información complementaria para valorar los riesgos de inversión, la que de acuerdo a estas consideraciones sería devuelta de forma rápida. Todos estos cálculos fueron realizados para una vida útil del proyecto de 10 años plazo.

Tabla 15. ANÁLISIS ECONÓMICO DE GANANCIAS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE ALFALFA DURANTE LOS DOS PRIMEROS AÑOS DE CULTIVO, CONSIDERANDO VARIABLES DE PRODUCTIVIDAD ESTÁNDAR

Fuente: Elaboración propia

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión sistemas de riego y eléctrico (\$)	55.000.000		-	-	-	-
Inversión labores agronómicas (\$)	4.900.000		-	-	-	-
Nº cortes /año		8	8	8	8	8
Hectáreas cultivadas (ha)		6	6	6	6	6
Productividad (fardos/ha)		120	120	120	120	120
Precio venta fardos (\$/fardo)		4.250	4.250	4.250	4.250	4.250
Rendimiento económico total (\$)		24.480.000	24.480.000	24.480.000	24.480.000	24.480.000
Ingreso neto (\$/año)		-35.420.000	-10.940.000	13.540.000	38.020.000	62.500.000

Este proyecto fue financiado por GORE a través del FIC, por lo que la ganancia en este primer sistema es de 24 millones anuales. En caso que esto fuera íntegramente financiado por un privado, el costo de inversión sería recuperado luego de 2 años.

PROYECCIONES FUTURAS DEL REÚSO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

Bajo el supuesto de rehabilitar y dejar en óptimas condiciones de funcionamiento la totalidad de las PTAS rurales que existen en la Región de Coquimbo, el aprovechamiento del caudal que todas ellas descargan (53,9 l/s, aproximadamente) en el cultivo de dos productos

—uno con baja rentabilidad (alfalfa) y otro con alta rentabilidad (palto)—, generaría un ingreso anual de aproximadamente 203 millones de pesos para el caso de alfalfa y 1227 millones de pesos, para el caso de cultivar palto (Tabla 16)¹, sin considerar los gastos de inversión en los sistemas de riego.

Esto generaría un ingreso extra para los sistemas de depuración rurales, invirtiendo en mejoras tanto de la planta como en cobertura para la comunidad, impactando directamente tanto en la calidad de vida de las localidades que ellos asisten, como en el medio ambiente.

1. Estos ingresos no consideran costos de inversión.

Tabla 16. PROYECCIÓN DE INGRESOS POR CONCEPTO DE COMERCIALIZACIÓN DE DOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS (ALFALFA Y PALTO), APROVECHANDO LA TOTALIDAD Y EL 50% DE LAS PTAS RURALES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO.

Fuente: Elaboración propia.

Caudal (l/s)	Ingreso neto		
	Caudal descargado (%)	Escenario conservador Alfalfa (\$/año)	Escenario optimista Palto (\$/año)
26	50%	\$ 97.551.000	\$ 590.693.000
53	100%	\$ 202.608.000	\$ 1.226.824.000

EVALUACIÓN EMISARIOS SUBMARINOS: POTENCIAL NUEVA FUENTE DE AGUA PARA LA REGIÓN DE COQUIMBO

Para el análisis equivalente de las aguas residuales descargadas a través de los emisarios submarinos en la región, el reúso de 1 m³/s podría ser aprovechado para el cultivo de 3400 hectáreas de palto. Lo anterior, significaría una

ganancia anual de 37,8 millones de dólares por venta de paltas². En este análisis se determinó que la inversión total (CAPEX) de un sistema de lodos activados y un sistema de conducción, para llevar las aguas desde los emisarios submarinos hasta su tratamiento y luego al punto de entrega en el embalse Puclaro , es de 100 millones de dólares mientras que el costo de operación (OPEX) es USD 0,36/m³. Mayores detalles de este análisis serán incluidos en el informe final del Proyecto FIC “REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA USO PRODUCTIVO EN ZONAS RURALES DE LA REGIÓN DE COQUIMBO”.

2. Se determinó que el CAPEX de este proyecto (tratamiento y conducción) sería de \$MM 100, el OPEX de 0,36 USD/m³. Estos costos incluyen energía eléctrica, mantenimiento, recursos humanos, operación, instalación y piping, equipos, servidumbre de paso, rotura y pavimentación, y permisos.

NUEVA FUENTE DE AGUA, NUEVA FUENTE DE RECURSOS

Las comunidades rurales de la Región de Coquimbo realizan grandes esfuerzos por mantener los servicios de tratamiento locales en buen funcionamiento, en la medida que sus recursos y capacidades lo permiten. En algunos casos, la organización comunitaria alcanzada, junto con el compromiso de los comités, cooperativas, juntas vecinales y otros entes administrativos, hacen que varias de las PTAS rurales se encuentren operando de buena forma. Sin embargo, aún existen brechas que deben superarse en aspectos técnicos y administrativos para que el 100% de ellas funcionen en óptimas condiciones, requiriéndose ayuda y soporte por parte de las entidades relacionadas de la región.

En muchos casos el mal funcionamiento se debe a que los sistemas de tratamiento son demasiado sofisticados para las capacidades operacionales de quienes los mantienen, generando además elevados costos de operación y mantenimiento que no pueden ser sostenidos a través del cobro que realizan por la prestación de este servicio. Esto desemboca en que los sistemas funcionen con deficiencias en su tratamiento, o simplemente dejen de funcionar, no cumpliendo con el propósito para el cual fueron construidos, pudiendo ocasionar problemas ambientales por contaminación de recursos hídricos naturales, además de la pérdida de la inversión realizada.

El reúso del efluente rural descargado por las PTAS rurales de la Región de Coquimbo se presenta como una alternativa que permite aprovechar un recurso cada vez más escaso en la región como lo es el agua y a la vez generar recursos financieros a través del aprovechamiento de esta fuente de agua en una actividad productiva. Las proyecciones

demuestran que la inversión para implementar este tipo de sistemas se puede recuperar en un corto periodo de tiempo, donde la réplica de un modelo de beneficios compartidos, como el desarrollado en Cerrillos de Tamaya, permite generar nuevo desarrollo económico y recursos para mantener los sistemas de tratamiento rurales en óptimas condiciones. .

Para el caso del sector agrícola, el reúso de la totalidad de las aguas residuales tratadas que actualmente se descargan a través de PTAS rurales (53,2 l/seg) podría utilizarse para el cultivo de aproximadamente 184 hectáreas de palto, generando al primer año de cosecha un ingreso neto de 1.224 millones de pesos, ganancias que podrían por ejemplo ser invertidas en la contratación de personal calificado que opere y mantenga los sistemas de tratamiento, e incluso en el recambio por otras tecnologías de menor costo de tratamiento y más fácil operación.

La experiencia internacional indica que los sistemas de reúso generan un impacto de gran magnitud en las economías locales. En Chile, para que esta nueva fuente de agua sea aprovechada, se requiere incorporar una hoja de ruta que permita trabajar con todas las instituciones involucradas, las que puedan entregar recursos técnicos y económicos para implementar plantas de reúso, sumado a una cultura nueva de los sectores para considerar esta fuente de agua segura y aprovechable. Tomando las consideraciones de inocuidad, el reúso de aguas residuales puede instaurarse como una real alternativa de nueva fuente de agua para la Región de Coquimbo y el resto del país, contribuyendo a ser una solución al problema del déficit hídrico regional y nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angelakis, A. (1999). The status of wastewater reuse practice in the mediterranean basin: Need for guidelines. Pergamon, 2201 - 2217.
- CDWR. (2004). Water recycling. Water Facts.
- CEPAL-OCDE. (2016). Evaluaciones del desempeño ambiental, Chile 2016. Santiago.
- EH2030. (2018). Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile
- EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. Washington.
- FAO. (2013). Reutilización del agua en la agrocultura: ¿Beneficios para todos?
- FCH. (2016). Aguas residuales como nueva fuente de agua.
- Galleguillos, C. (2017). Jornada de Régimen Jurídico de las Aguas.
- GORE.a, C. (2015). Plan Estratégico para Enfrentar la Escasez Hídrica 2015 - 2025.
- GWl. (2010). Municipal Water Reuse Markets 2010. Oxford: Media Analytics Ltd.
- Hoekstra, A. C. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard.
- INDAP. (2017). <https://www.indap.gob.cl/fichas-productivas-afc-arica/fichas-productivas-afc-coquimbo>.
- INE. (2007). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Santiago.
- INIA. (2003). Informativo agropecuario; Alfalfa de Secano en la Precordillera Andina, Producción y Aspectos Económicos.
- Interior. (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015. Santiago.
- León, G. (1995). Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales. Guías de calidad de efluentes para la protección de la salud.
- Miller, W. (2006). Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs. Desalination, 65-75.
- MinSal. (2017). Cámara de Diputados de Chile. Retrieved from <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=103909&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>
- MMA. (2017). Plan de acción nacional del cambio climático 2017-2022. Santiago.
- MOP.a. (2011). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 - 2025. Santiago.
- MOP.b. (2016). Minuta de Embalses de Riego, Región de Coquimbo.
- MSGG. (2001). Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de

Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.

ODEPA.a. (2013). Estudio: "Cambio Climático" Impacto en la Agricultura. Heladas y Sequías. Santiago.

ODEPA.b. (2017). <http://www.odepa.cl/?s=ficha>.

ODEPA.c. (2018). Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Retrieved from <http://www.odepa.cl/Certificado%20fitosanitario/>

Ortega-Gaucin, D. (2013). Sequía: Cuasas y efectos de un fenómeno global. Research Gate.

Ramalho, R. (1990). Tratamiento de Aguas Residuales.

Reznik, A. e. (2017). Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective.

SAG.a. (2005). Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego.

SAG.b. (2018). Servicio Agrícola y Ganadero. Retrieved from <https://www2.sag.gob.cl/reqmercado/default.asp>

SAG.c. (2018). Servicio Agrícola y Ganadero. Retrieved from http://www2.sag.gob.cl/reqmercado/consulta_agricola.asp

Seah, H., & Woo, C. H. (2012). The multi-barrier safety approach for indirect potable use and direct nonpotable use of NEWATER. En G. f. Reuse. Singapur.

SUBDERE. (2012). Resumen Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, Sector Rural.

UE. (2017). european Commission, Environment. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm>

UNESCO. (2003). Water for people, water for life. En: Executive Summary of the UN World Water Development Report. París.

UnWater. (2013). Safe use of wastewater in Agriculture.

UN-Water.b. (2013). Water Security & the Global Water Agenda. Hamilton: United Nations University.

WMO. (2014). Atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970 - 2012). Geneva.

WWAP (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas París, UNESCO.



FCH
FUNDACIÓN CHILE