



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU REUTILIZACIÓN PARA RIEGO
AGRÍCOLA EN CHILE**

ADRIÁN CLAUDIO PÉREZ ULLOA

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU REUTILIZACIÓN PARA RIEGO
AGRÍCOLA EN CHILE**

**MUNICIPAL WASTEWATER AND ITS REUSE FOR AGRICULTURAL
IRRIGATION IN CHILE**

ADRIÁN CLAUDIO PÉREZ ULLOA

**Santiago, Chile
2022**



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

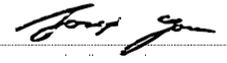
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y SU REUTILIZACIÓN PARA RIEGO AGRÍCOLA EN CHILE

Memoria para optar al título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

ADRIÁN CLAUDIO PÉREZ ULLOA

| | | Calificaciones |
|--|--|----------------|
| PROFESOR GUÍA Sra. Yasna Tapia Ing. Alimentos, Dra. Química Agrícola. |  | 6,4 |
| Sr. Joseph Govan BA (Mod). PhD. |  | 6,5 |
| PROFESORES EVALUADORES Sr. Osvaldo Salazar. Ingeniero Agrónomo MS. PhD. |  | 6,0 |
| Sr. Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr. |  | 6,5 |

Santiago, Chile
2022

INDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN. | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| 1. PROBLEMÁTICA DEL USO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN AGRICULTURA | 5 |
| 1.1. Calidad de aguas residuales municipales | 6 |
| 1.2. Requerimiento de calidad de agua para uso en riego agrícola | 9 |
| 1.2.1. Salinidad | 11 |
| 1.2.2. Infiltración | 12 |
| 1.2.3. Iones específicos | 13 |
| 1.2.4. Nitrógeno | 16 |
| 1.2.5. Elementos traza | 17 |
| 1.2.6. pH | 18 |
| 1.3. Caracterización del servicio de tratamiento de aguas residuales municipales en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío | 19 |
| 1.3.1. Funcionamiento | 21 |
| 1.3.2. Plantas por región | 21 |
| 1.3.2. Legislación aplicable | 22 |
| 1.4. Calidad de aguas residuales municipales tratadas en Chile | 23 |
| 1.4.1. Salinidad | 25 |
| 1.4.2. Infiltración | 26 |
| 1.4.3. Iones específicos | 26 |
| 1.4.4. Nitrógeno | 26 |
| 1.4.5. Elementos traza | 27 |
| 1.4.6. pH | 27 |

| | |
|--|----|
| 2. MARCO REGULATORIO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS EN AGRICULTURA | 28 |
| 2.1 Gobernanza internacional | 29 |
| 2.2. Gobernanza nacional | 32 |
| 2.2.1. Política | 32 |
| 2.2.2. Legislación | 32 |
| 2.2.3. Institucionalidad | 34 |
| 2.3. Desafíos para Chile | 37 |
| 2.3.1. Gobernanza nacional | 37 |
| 2.3.2. Consideraciones sanitarias | 38 |
| 3. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS EN AGRICULTURA | 40 |
| 3.1. China, Italia e Israel | 41 |
| 4. CONCLUSIONES | 45 |
| 5. BIBLIOGRAFIA | 46 |
| 6. ANEXOS | 51 |
| 6.1. Unidades y términos | 51 |
| 6.1.1. Nombre y abreviación de unidades | 51 |
| 6.1.2. Equivalencias de unidades | 52 |
| 6.1.3. Transformación de $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ a mg L^{-1} | 52 |
| 6.1.4. Glosario de términos | 53 |
| 6.1.5. Definiciones | 55 |
| 7. APÉNDICES | 59 |
| 7.1. Institucionalidad del agua en Chile | 59 |

AGRADECIMIENTOS

Llegando al final de mi carrera universitaria doy gracias a mis padres Paola y Claudio por su paciencia y apoyo incondicional, por siempre tener un consejo en los momentos de flaqueza, por siempre impulsarme a dar más de mí mismo y por sobre todas las cosas su amor.

Agradezco a mis amigos, compañeros de carrera y familiares que compartieron esta etapa junto a mí y, a mis profesores Yasna y Joseph por su guía.

RESUMEN

El actual contexto de cambio climático y sequías sostenidas en regiones áridas y semiáridas del planeta durante las últimas décadas, hacen que la preocupación por la disponibilidad del agua se convierta en una temática relevante en la gestión política, institucional, privada y cívica del recurso. Esta realidad se suma a proyecciones internacionales que estiman un aumento de la demanda hídrica general, producto del aumento de la población mundial. Con esto se prevé que el acceso al agua será una limitante para el desarrollo de la agricultura en un futuro con menor oferta de agua para el sector.

La reutilización de aguas residuales generadas por actividades humanas, en procesos productivos, especialmente en agricultura, se ha convertido en una estrategia cada vez más común a nivel mundial como alternativa sustentable para enfrentar el panorama hídrico. La reutilización de aguas residuales en el riego de cultivos hace necesario conocer su composición, dinámica en el suelo, plantas y consumidores; efectos en la producción agrícola, salud pública e impacto ambiental.

El uso de aguas residuales tratadas en la agricultura es un tema complejo, de amplios alcances, que amerita la participación del Estado para su uso seguro y eficiente, con un marco regulatorio que gestione el desarrollo correcto de esta práctica.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las principales consideraciones para la reutilización de aguas residuales en riego agrícola, revisando el marco regulatorio de Chile, bajo una visión analítica que vislumbre los desafíos en esta temática de cara al futuro.

Palabras clave. Calidad de agua, Marco político, Sequia, Sustentabilidad.

ABSTRACT

In the current context of climate change and a global record of sustained drought in the arid and semi-arid regions of the planet in recent decades, the availability has become an increasingly important issue in the political, institutional, private, and civic management of water resources. In addition, international projections estimate an increase in general water demand as a result of an increase in the world's population in coming decades. With this, it is estimated that access to water will be a limitation for the development of agriculture in the future with a lower supply available for this productive sector.

The reuse of domestic wastewater in productive activities, especially agriculture, has become an increasingly common activity worldwide as a sustainable alternative to face the hydric panorama. The use of wastewater as a new source of water for agricultural irrigation makes it necessary to know its composition, dynamics of these with the soil, plants and consumers; the effects that these can have on production, public health and environment.

The use of wastewater in agriculture corresponds to a complex issue of great scope, which deserves the active participation of the State for its safe and efficient use, with a regulatory framework that manages their correct development.

This research consists of a bibliographic review of the main considerations for the reuse of wastewater in agricultural irrigation and how these apply to the current Chilean regulatory framework under an analytical vision that envisions potential challenges for the future.

Keywords. Water quality, Political framework, Drought, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, del inglés Food and Agriculture Organization of the United Nations) estima que al 2050 el crecimiento de la población humana mundial se traducirá en un aumento del 70% en la demanda de productos agrícolas. Según estas proyecciones, el aumento de producción se derivará principalmente de una explotación más intensiva de las actuales tierras cultivadas en base a riego (FAO, 2011).

Esta mayor demanda hídrica por parte de la agricultura y de otros sectores está impulsando la competencia por agua, desencadenando estrés ambiental y tensiones socioeconómicas en zonas con precipitaciones insuficientes, donde la producción agrícola será limitada por la escasez de agua y no por la disponibilidad de suelo (FAO, 2011).

La competencia más agresiva por agua, inter e intra sectorial, posiblemente desplace asignaciones de recurso previstas para la agricultura, hacia otros sectores como el consumo humano (FAO, 2011).

Las aguas residuales, ocuparán un lugar destacado en la gestión hídrica, como se demuestra en los países avanzados que plantean el impacto ambiental de esta nueva fuente de agua (AQUAEspaña, 2011), ayudando a satisfacer la demanda hídrica del sector agrícola; reduciendo la extracción hídrica desde cuerpos de agua naturales y la contaminación de estos con la descarga de aguas residuales tratadas (FCH, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (WHO, del inglés World Health Organization) señala que aguas residuales corresponden a una fuente de agua y nutrientes constante, para el crecimiento y desarrollo de cultivos, una alternativa sustentable para la agricultura (WHO, 2006a).

Objetivo general

Evaluar la reutilización de aguas residuales municipales para riego agrícola en Chile.

Objetivos específicos

Caracterizar efluentes residuales municipales en parámetros de calidad de agua.

Definir requerimientos de calidad de agua para riego agrícola recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Analizar el estado actual de aguas residuales municipales tratadas en Chile, considerando las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío.

1. PROBLEMÁTICA DEL USO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN AGRICULTURA

La agricultura es el mayor usuario de agua, usando un promedio mundial del 70% del agua superficial disponible, y es, al mismo tiempo, usuario de un recurso muchas veces de mala calidad para esta actividad (Suh, 2018). Esto provoca, estrés en las plantas y reducción del rendimiento de cultivos, situación que hace a agricultores vulnerables a mermas en sus producciones; realidad que se prevé se agudizará en el contexto de cambio climático, donde se esperan aguas de menor calidad para la agricultura en zonas de escasas hídrica (Suh, 2018).

La FAO (1994) define calidad de agua, como características de un suministro de agua que influirán en su aptitud para un uso específico, es decir, qué tan bien esta calidad satisface las necesidades del usuario. Por lo tanto, la calidad del agua para riego está definida por las características físicas, químicas y biológicas de la fuente; y los requisitos específicos del agricultor para su uso, que dependerán de factores agronómicos como cultivo, variedad, patrón y tipo de suelo (Garrido, 1996).

Hay muchas razones por las que agricultores, utilizan directa o indirectamente, aguas residuales para riego.

La llegada de aguas residuales tratadas, hasta un predio agrícola, varía según su ubicación, temporada y disponibilidad de otras fuentes de agua, pudiendo campos agrícolas ser en diferentes niveles, usuarios de estas aguas, que normalmente, una vez tratadas se devuelven a cursos naturales de agua. Agricultores ubicados en áreas periurbanas son los principales usuarios de cursos de agua contaminado con la descarga de efluentes residuales tratados provenientes de poblados cercano (FAO, 2019).

La reutilización de aguas residuales municipales en riego de cultivos confronta la calidad de estas aguas con los requerimientos de la agricultura, este capítulo se centra en la revisión de este tema y en como esto se aplica al contexto nacional.

1.1. Calidad de aguas residuales municipales

La FAO define aguas residuales como volumen anual de agua de desecho generada; y las separa según su origen (AQUATAST, 2015).

- **Aguas residuales industriales.** Volumen de agua generado fuera de áreas urbanas o por procesos industriales.
- **Aguas residuales municipales.** Volumen de agua domésticos, comerciales e industriales, y escorrentía de aguas pluviales, proveniente de áreas urbanas.

Aguas residuales municipales corresponden al mayor volumen generado por año, se componen en un 99,9% de agua, junto con concentraciones relativamente pequeñas de sólidos orgánicos e inorgánicos suspendidos y disueltos, provenientes de fuentes domésticas e industriales; elementos potencialmente tóxicos para seres humanos y causantes de fitotoxicidad en cultivos (FAO, 1992).

Dependiendo la concentración de sus componentes las aguas residuales municipales producidas se pueden clasificar en débiles, medias y fuertes (Cuadro 1).

Las características químicas de las aguas residuales municipales pueden variar ampliamente de un lugar a otro dependiendo de las cualidades propias de la población, sus hábitos, características de la red de alcantarillado, consumo de agua potable y disponibilidad hídrica. Es así como las aguas residuales municipales clasificadas como débiles en general se encuentran en lugares con altos consumos de agua potable y disponibilidad hídrica; al contrario de aguas residuales municipales fuertes (SAG, 2005).

Cuadro 1. Clasificación de aguas residuales municipales típicas.

| Parámetros de calidad de agua | Agua residual | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Unidad | Débil | Media | Fuerte |
| Índice sanitario | | | | |
| Coliformes fecales | NMP 100 mL ⁻¹ | 10 ⁶ -10 ⁷ | 10 ⁷ -10 ⁸ | 10 ⁷ -10 ⁹ |
| DBO5 | mg L ⁻¹ | 110 | 220 | 400 |
| DQO | mg L ⁻¹ | 250 | 500 | 1000 |
| Sólidos totales | mg L ⁻¹ | 350 | 720 | 1200 |
| TSS | mg L ⁻¹ | 100 | 220 | 350 |
| Salinidad | | | | |
| TDS | mg L ⁻¹ | 250 | 500 | 850 |
| N | mg L ⁻¹ | 20 | 40 | 85 |
| P | mg L ⁻¹ | 4 | 8 | 15 |
| Iones específicos | | | | |
| Cl ⁻ | mg L ⁻¹ | 30 | 50 | 100 |
| SO ₄ ²⁻ | mg L ⁻¹ | 20 | 30 | 50 |
| Otros | | | | |
| Aceites y grasas | mg L ⁻¹ | 50 | 10 | 150 |

Fuente: Metcalf y Eddy (2003).

Para el Cuadro 1 se definen los siguientes términos:

- **Coliformes fecales.** Indicador de material fecal procedente de animales de sangre caliente, incluye todos los coliformes que pueden fermentar la lactosa a 43,5-5,5°C y con capacidad de crecer en presencia de sales biliares. El grupo de los coliformes fecales comprende bacterias como *E. coli* o *Klebsiella pneumoniae* (Gonzales, 2008). Su unidad de medida es NMP 100 mL⁻¹.
- **DBO5, Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C.** Cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar o biodegradar la materia orgánica y/o inorgánica contenida en el agua. Indicador biológico de calidad de agua (INN, 1994). Se expresa en mg de O₂ L⁻¹.
- **DQO, Demanda química de oxígeno.** Medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica en la muestra, y que es susceptible de ser oxidada por un agente químico fuerte (INN, 1994). En unidades de mg de O₂ L⁻¹.
- **Sólidos totales.** Suma de sólidos suspendidos y sólidos disueltos de una muestra de agua (INN, 1994). Unidad de medida mg L⁻¹.
- **TDS, Sólidos disueltos totales.** Material residual que queda después de la evaporación y secado de una muestra de agua que previamente ha pasado a través de un filtro con tamaño de poro de 2,0 µm o menor (INN, 1994). Expresado en unidades de mg L⁻¹.
- **TSS, Sólidos suspendidos totales.** Material residual de una muestra de agua, retenido por un filtro de tamaño de poro de 2,0 µm o menor, después de su evaporación y secado (INN, 1994). Medido en mg L⁻¹.

Sustancias inorgánicas disueltas en aguas residuales municipales, no controladas durante su proceso de tratamiento experimentarían un incremento en sus concentraciones respecto al agua potable, debido a su uso doméstico (SAG, 2005).

El Cuadro 2 indica los incrementos esperados en algunos parámetros de calidad de aguas residuales municipales, respecto al agua potable, este aumento esperado en la concentración de aniones y cationes implica por tanto un aumento en la salinidad del agua.

Cuadro 2. Incremento típico de compuestos disueltos en agua potable por uso doméstico.

| Parámetro de calidad de agua | Incremento |
|-------------------------------------|--------------------|
| Salinidad | mg L ⁻¹ |
| TDS | 150-380 |
| Iones específicos | |
| Na ⁺ | 40-70 |
| Cl ⁻ | 25-50 |
| CO ₃ ²⁻ | 0-10 |
| HCO ₃ ⁻ | 50-100 |
| B | 0,1-0,4 |
| SO ₄ ²⁻ | 15-30 |
| Ca ²⁺ | 6-16 |
| Mg ²⁺ | 4-10 |
| NO ₃ ⁻ | 20-40 |
| PO ₄ ³⁻ | 5-15 |
| K | 7-15 |
| Elementos traza | |
| Al | 0,1-0,2 |
| Fe | 0,2-0,4 |
| Mn | 0,2-0,4 |
| Si | 2-10 |

Fuente: Metcalf y Eddy (2003).

1.2. Requerimiento de calidad de agua para uso en riego agrícola

La WHO (2006a) afirma que aguas residuales corresponden a una fuente de agua y elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de cultivos.

En este sentido los criterios establecidos por Arnold y Stout (1939) definen elemento esencial para las plantas como:

1. Elemento cuya ausencia haga imposible completar el ciclo vital de la planta.
2. La deficiencia específica del elemento solo puede ser corregida mediante su suministro.
3. Elemento que debe estar directamente implicado en la nutrición de la planta.

Los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas presentes en el suelo según Xinhui et. al (2018) se dividen en:

- **Macroelementos.** Requeridos en cantidades relativamente grandes por la planta, estos son N, P, K, Ca, Mg, S.
- **Microelemento.** Requeridos en cantidades relativamente pequeñas por la planta, estos son B, Cl, Cu, Mo, Fe, Mn, Ni, Zn.

Los macronutrientes son mucho menos tóxicos que micronutrientes y su concentración en la solución del suelo puede superar ampliamente niveles óptimos sin que el crecimiento de las plantas se vea aparentemente afectado. Por su parte los micronutrientes presentan márgenes de niveles óptimos y toxicidades muy cercanos entre sí (García y Navarro, 2013).

Los efectos de toxicidades por estos elementos dependerán de la sensibilidad del cultivo, variedad, portainjerto, tipo de suelo y factores agronómicos (García y Navarro, 2013).

Según la FAO (1994) la interpretación del efecto de los compuestos disueltos en el agua de riego se basa en los siguientes parámetros de calidad:

1. Salinidad.
2. Infiltración.
3. Iones específicos: Ca^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} y B.
4. Nitrógeno.
5. Elementos traza.
6. pH.

Cuadro 3. Directrices para la interpretación de calidad de agua para riego.

| Parámetro de calidad de agua | Unidades | Grado de restricción en uso | | |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------|--------|
| | | Ninguno | Moderado | Severo |
| Salinidad | | | | |
| CE | dS m ⁻¹ | <0,7 | 0,7-3 | >0,3 |
| TDS | mg L ⁻¹ | <450 | 450-2000 | >2000 |
| Infiltración | | | | |
| RAS | CE | | | |
| 0-3 | | >0,7 | 0,7-0,2 | <0,2 |
| 3-6 | | >1,2 | 1,2-0,3 | <0,3 |
| 6-12 | | >1,9 | 1,9-0,5 | <0,5 |
| 12-20 | | >2,9 | 2,9-1,3 | <1,3 |
| 20-40 | | >5 | 5-2,9 | <2,9 |
| Iones específicos | | | | |
| Na ⁺ | | | | |
| Riego superficial | meq L ⁻¹ | <3 | 3-9 | >9 |
| Riego por aspersión | meq L ⁻¹ | <3 | >3 | |
| Cl ⁻ | | | | |
| Riego superficial | meq L ⁻¹ | <4 | 4-10 | >10 |
| Riego por aspersión | meq L ⁻¹ | <3 | >3 | >3 |
| HCO ₃ ⁻ | | | | |
| | meq L ⁻¹ | <1,5 | 1,5-8,5 | >8,5 |
| B | | | | |
| | mg L ⁻¹ | <0,7 | 0,7-3 | >3 |
| NO ₃ ⁻ | | | | |
| | mg L ⁻¹ | <5 | 5-30 | >30 |
| Elementos traza | | | | |
| pH | | | 6,5-8,4 | |

Fuente: FAO (1994).

Los principales compuestos inorgánicos disueltos en el agua son los aniones Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ y cationes Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺. La concentración total de aniones de una muestra debe ser semejante a la sumatoria de cationes, indicador de un buen análisis de laboratorio (Zaman et al., 2018).

1.2.1. Salinidad

Salinidad se define como la cantidad de sales minerales disueltas en el agua referidas a una unidad de volumen (Arce 2017). Una alta concentración de iones disueltos en el agua de riego y, por tanto, en la solución del suelo, es una condición restrictiva para el crecimiento de cultivos debido al alto potencial osmótico de la solución, que restringe la absorción de agua por la planta produciendo estrés osmótico en cultivos e induciendo el efecto de iones específicos en el suelo, provocando desequilibrios nutricionales (Shahid, et. al. 2013).

La salinidad del agua se mide por dos parámetros de calidad, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica.

Sólidos disueltos totales (TDS). Compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentra disuelto en el agua que haya pasado a través de un filtro con un tamaño de poro de 2,0 μm o menor. La concentración de sólidos disueltos se expresa en mg L^{-1} (INN, 1994).

Conductividad eléctrica (CE). Capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica. Indicador de componentes ionizados totales del agua, directamente relacionado con la suma de los cationes o aniones, expresado en unidades de dS m^{-1} (Zaman et al., 2018).

La relación entre concentración total de cationes o aniones disueltos en el agua y la CE según Zaman et al. (2018) se describe en la ecuación 1:

$$\text{Total de cationes o aniones } \left(\frac{\text{mmol}_e}{\text{L}} \right) = 10 \times \text{CE} \left(\frac{\text{dS}}{\text{m}} \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

el cumplimiento de esta relación es otro indicador de un correcto análisis de laboratorio (Zaman et al. 2018).

La CE es la medida más utilizada de salinidad, por su rápida determinación y razonable precisión (Zaman et al. 2018). La CE se expresan a una temperatura estándar de 25 °C que permite la comparación de lecturas tomadas en diferentes condiciones climáticas, considerando que la CE de una solución aumenta aproximadamente un 2% por cada °C más de temperatura.

1.2.2. Infiltración

La infiltración de agua se define como el proceso de entrada de agua al suelo, generalmente, por flujo descendente a través de toda o parte de la superficie del suelo (Angulo-Jaramillo et al., 2016).

La presencia de Na^+ forma soluble de Na, produce modificaciones en las propiedades físicas del suelo particularmente en su estructura dispersando las arcillas, haciendo que el suelo se vuelva duro, costroso y compacto cuando esté seco, volviéndolo impermeable a la penetración del agua (Angulo-Jaramillo et al., 2016). La relación de adsorción de sodio es la principal herramienta usada para evaluar el riesgo del sodio en aguas para riego.

Relación de adsorción de sodio (RAS). Indicador adimensional del efecto de la concentración de Na^+ en el suelo, respecto a las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el mismo. La relación de adsorción de sodio según Zaman et al. (2018) se define en la ecuación 2 como:

$$\text{RAS} = \sqrt{\frac{\text{Na}}{\text{Ca}+\text{Mg}}} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde, concentraciones iónicas son expresadas en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Cuando el Na^+ está presente en el suelo en altas concentraciones en forma intercambiable por encima de un cierto valor umbral, en relación con la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , reduce la permeabilidad del suelo y la penetración del agua al sistema, producto de su acción dispersante causada por la menor fuerza de adsorción a que es sometido este ion respecto a otros cationes y su mayor radio de hidratación, lo que determina una mayor expansión y, en consecuencia, una mayor presión de hinchamiento entre láminas de arcilla (Angulo-Jaramillo et al., 2016). Los suelos de texturas finas están especialmente sujetos a los efectos del Na^+ (Zaman et al., 2018).

1.2.3. Iones específicos

La presencia de Ca^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} y B en altas concentraciones en el agua de riego además de disminuir el potencial osmótico del agua, genera un escenario propicio de desbalances nutricionales, producto de la interferencia en la absorción normal de elementos nutricionales por competencia iónica dentro de la solución suelo (Sierra, et. al, 2001).

La toxicidad normalmente produce reducción de crecimiento, cambios en la morfología de la planta e incluso su muerte. El grado de daño depende del cultivo, su etapa de crecimiento, concentración de iones específicos en el suelo, clima y condición de suelo (FAO 1994).

Indicadores para describir el efecto de estos iones en la calidad del agua para riego se describen a continuación.

Dureza. Ca y Mg son macroelementos esenciales para la planta, en solución estos se encuentran como Ca^{2+} y Mg^{2+} , toxicidades por niveles excesivos de estos iones el en suelo no se reportan en la literatura (Shahid, et. al., 2013). El principal indicador de los niveles de estos iones en el agua es la dureza.

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes alcalino térreos presentes en el agua, generada casi en su totalidad por Ca^{2+} y Mg^{2+} (Arce, 2017). Según Julian-Soto (2010) la dureza se calcula de acuerdo con la ecuación 3 como:

$$\text{Dureza} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde, concentraciones iónicas son expresadas en mg L^{-1} (Julian-Soto, 2010).

La interpretación de la dureza del agua se resume en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Interpretación de la dureza.

| Característica | Concentración |
|----------------|--------------------|
| | mg L^{-1} |
| Blanda | 0-75 |
| Muy blanda | 75-200 |
| Dura | 200-300 |
| Muy dura | >300 |

Fuente: Julian-Soto (2010).

Carbonato de sodio residual (CSR). Los CO_3^{2-} y HCO_3^- disueltos en el agua tenderán a precipitar Ca^{2+} y Mg^{2+} formando CaCO_3 y MgCO_3 , cuando estos cationes se presenten en altas concentraciones a pH alcalino. Esto significa que el RAS aumentará su valor y la proporción relativa de iones de Na^+ será mayor (Zaman et al., 2018). Para predecir el peligro de sodio residual, asociado a la precipitación de CaCO_3 y MgCO_3 se emplea el cálculo del CSR.

El CRS es un indicador de la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} con los aniones CO_3^{2-} y HCO_3^- y la concentración de carbonatos y bicarbonatos exceden a las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} . A esta diferencia se le denomina CSR y según Zaman et al. (2018) se calcula mediante la ecuación 4 como:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (\text{Ec. 4})$$

donde, concentraciones iónicas son expresadas en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Las restricciones de agua para riego, según rangos de CSR en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, se muestran dentro del Cuadro 5.

Cuadro 5. Interpretación del CRS.

| Aptitud de agua para riego | CSR |
|----------------------------|-------------------------------|
| | $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ |
| Segura | <1,25 |
| Marginal | 1,25-2,5 |
| No apta | >2,5 |

Fuente: Zaman et al. (2018).

Boro (B). El B es un microelemento esencial, este en solución se encuentra como B(OH)_4 o H_3BO_3 y reaccionan de preferencia con arcillas, Al y Fe en el suelo (Rojas, 2004). Su rango óptimo de concentración en el suelo es estrecho y fácilmente puede alcanzar rangos desfavorables, el exceso en los niveles de B producen toxicidades en la planta, provocando clorosis de la punta de la lámina que se extiende por el borde y entre los nervios, necrosis de la hoja, exudaciones resinosas, defoliación y hasta muerte del árbol (Shahid, et. al., 2013).

Índice de Scott. El Cl es un microelemento, su estado en solución es Cl^- , las altas concentraciones de Cl^- genera toxicidad, muerte de tejidos del borde y ápice de las hojas. SO_4^{2-} es el principal estado iónico de S en el agua y en el suelo; altas concentraciones de este macroelemento junto con Cl^- afectara la absorción de NO_3^- y H_2PO_4^- por competencia de iones. Por último, altas concentraciones de Na^+ , en el suelo afectara la absorción de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Sierra, et. al, 2001). El peligro de desbalances nutricionales generados por concentraciones de Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} y su relación dentro del suelo se calculan mediante el índice de Scott (CADAHIA, 2000).

El índice de Scott es un coeficiente adimensional, que valora la calidad del agua en función de las concentraciones de Cl^- , Na^+ y SO_4^{2-} . Este se define como altura de agua expresada en pulgadas, que después de la evaporación dejaría en un suelo de 1,2 m de espesor, iones suficientes para imposibilitar el desarrollo de las especies vegetales más sensibles. Es decir, la toxicidad que pueden producir las concentraciones de Cl^- , Na^+ y SO_4^{2-} , aportadas con el agua de riego y que permanecen en el suelo tras la evaporación. Este propone 3 ecuaciones dependiendo la relación de concentraciones entre Cl^- , Na^+ y SO_4^{2-} disueltos en el agua, como muestra el Cuadro 6 (CADAHIA, 2000).

Cuadro 6. Ecuaciones del índice de Scott.

| Caso $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ | Ecuación aplicable mg L^{-1} |
|--|--|
| 1. $\text{Cl}^- \geq \text{Na}^+$ | $\text{I. Scott} = \frac{2040}{\text{Cl}^-}$ |
| 2. $\text{Cl}^- < \text{Na}^+ \leq (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ | $\text{I. Scott} = \frac{6620}{2,6 \text{Cl}^- + \text{Na}^+}$ |
| 3. $\text{Na}^+ > (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$ | $\text{I. Scott} = \frac{662}{\text{Na}^+ - 0,32 \text{Cl}^- - 0,43 \text{SO}_4^{2-}}$ |

Fuente: CADAHIA (2000).

La interpretación de calidad de agua según el índice de Scott se resume en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Interpretación del índice de Scott.

| Aptitud de agua para riego | Rango |
|--|-----------|
| Agua buena, uso sin precauciones | ≥ 18 |
| Agua tolerable, uso con precauciones | 6-18 |
| Agua peligrosa, uso solo en suelos con muy buenas condiciones de drenaje | 1,2-6 |
| Agua no utilizable | $< 1,2$ |

Fuente: CADAHIA (2000).

1.2.4. Nitrógeno

N, P y K son los macroelementos más absorbidos por la planta, el N mineral en solución se encuentra como NO_3^- o NH_4^+ , el exceso de N en las plantas las vuelve suculentas, con menor desarrollo de la parte leñosa y de maduración tardía. Exceso de N puede dar lugar a mayor susceptibilidad de enfermedades y a sufrir estrés; peor postcosecha y calidad de la fruta (Shahid, et. al., 2013).

El P mineral del suelo en solución se encuentra como H_2PO_4^- o HPO_4^{2-} , toxicidades por exceso de este elemento se presentan solo en cultivos establecidos en medios líquidos experimentales.

El K mineral del suelo se encuentra en solución como K^+ , los efectos provocados por su concentración excesiva son poco comunes y son causados principalmente por antagonismo con Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , $\text{B}(\text{OH})_4^-$ o H_3BO_3 ; cuando el K^+ en altas concentraciones disminuye la absorción de estos elementos (Shahid, et. al., 2013).

1.2.5. Elementos traza

Elementos presentes en una concentración igual o inferior a $1 \mu\text{g L}^{-1}$ (INN, 1994) y que se han demostrado presentan un peligro para la salud de las personas y plantas cuando están en altas concentraciones, estos son Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Li, Mn, Ni, Mo, Pb, Se, V, Zn (FAO,1994).

Normalmente no se incluyen en el análisis de agua de riego regulares, pero se debe prestar atención a ellos, especialmente si se sospecha contaminación de la fuente de agua con descargas residuales municipales tratadas. Los límites de elementos trazan para aguas de riego se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Concentración máxima recomendada de elementos traza en el agua de riego.

| Parámetro de calidad de agua | Concentración máxima recomendada |
|-------------------------------------|---|
| | mg L ⁻¹ |
| Al | 5,0 |
| As | 0,1 |
| Be | 0,1 |
| Cd | 0,01 |
| Co | 0,05 |
| Cr | 0,1 |
| Cu | 0,2 |
| F | 1,0 |
| Fe | 5,0 |
| Li | 2,5 |
| Mn | 0,2 |
| Mo | 0,01 |
| Ni | 0,2 |
| Pd | 5,0 |
| Se | 0,02 |
| V | 0,1 |
| Zn | 2,0 |

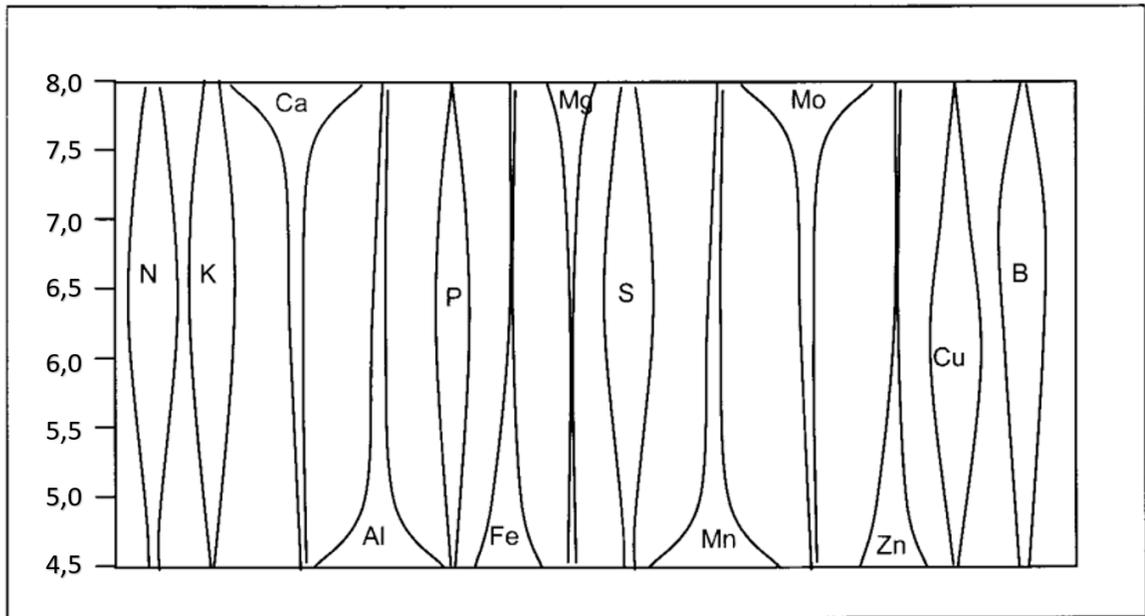
Fuente: FAO (1994).

1.2.6. pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución. Se mide utilizando una escala de 0 a 14, donde a soluciones ácidas con mayor concentración de H^+ disueltos se les asignan valores bajos. El rango de pH normal para el agua de riego es de 6,5 a 8,4 (FAO, 1994).

El pH de la solución suelo condiciona de forma decisiva la disponibilidad de elementos esenciales para la planta. La Figura 1 muestra como varia la disponibilidad de estos elementos para la planta según el pH del suelo (Shahid et. al., 2013).

Figura 1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.



Fuente: Shahid, et. al. (2013).

De la Figura 1 Shahid, et. al. (2013) destaca que el pH óptimo del suelo es entre 6-7 ya que es el rango que presenta mayor facilidad para la absorción de nutrientes.

1.3. Caracterización del servicio de tratamiento de aguas residuales municipales en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío.

Chile ocupa una posición aventajada respecto al mundo en recursos hídricos. La escorrentía per cápita promedio, medida de disponibilidad hídrica, se cifra en $51.218 \text{ m}^3\text{persona}^{-1}\text{año}^{-1}$, reporta la Dirección General de Aguas (DGA) (2016), valor ampliamente superior a la media mundial de $5.925 \text{ m}^3\text{persona}^{-1}\text{año}^{-1}$. Sin embargo, esta media no representa la gran variación en la disponibilidad de los recursos hídricos que existe entre zonas geográficas del país; donde se estima que, desde la región Metropolitana hacia el norte, la media de escorrentía per cápita está por debajo de los $800 \text{ m}^3\text{persona}^{-1}\text{año}^{-1}$; y desde la región de O'Higgins hacia el sur se superan los $7.000 \text{ m}^3\text{persona}^{-1}\text{año}^{-1}$, llegando a $2.950.168 \text{ m}^3\text{persona}^{-1}\text{año}^{-1}$ en la región de Aysen (DGA, 2016).

Las aguas residuales municipales en Chile se caracterizan por un servicio nacional de tratamiento de alta operatividad de plantas de tratamiento, con una cobertura para la población del 97% sobre el territorio operacional (MOP, 2020).

Para la caracterización de las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales en Chile, se evaluaron tres regiones estratégicas, Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío, por albergar grandes ciudades del país, Antofagasta, Santiago y Concepción, respectivamente, estar ubicadas en zonas geográficas distintas y población censada (Cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Catastro promedio de plantas tratadoras de aguas residuales municipales en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío (2015-2020).

| Criterio | Promedio (2015 - 2020) | |
|------------------------------|------------------------|-----|
| | Nº | % |
| TP | 85,8 | 100 |
| Funcionamiento | | |
| CO | 79,4 | 92 |
| NC/NI/NO | 6,4 | 8 |
| Plantas por región | | |
| Antofagasta | 8 | 10 |
| Metropolitana | 35 | 41 |
| Bío Bío | 42 | 49 |
| Legislación aplicable | | |
| D.S. 90 | 81,2 | 95 |
| Tabla Nº1 | 62,4 | 73 |
| Tabla Nº2 | 4,2 | 5 |
| Tabla Nº3 | 1,4 | 2 |
| Tabla Nº4 | 1 | 1 |
| Tabla Nº5 | 12,2 | 14 |
| NCh 1333 | 4,6 | 5 |

Fuente: SISS (2021).

Cuadro 10. Catastro por año de plantas tratadoras de aguas residuales municipales en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío (2015-2020).

| Criterio | Año | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | 2015 | | 2016 | | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
| | N° | % |
| TP | 90 | 100 | 92 | 100 | 93 | 100 | 77 | 100 | 77 | 100 |
| Funcionamiento | | | | | | | | | | |
| CO | 83 | 92 | 88 | 96 | 88 | 95 | 69 | 90 | 69 | 90 |
| NC/NI/NO | 7 | 8 | 4 | 4 | 5 | 5 | 8 | 10 | 8 | 10 |
| Plantas por región | | | | | | | | | | |
| Antofagasta | 8 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 9 | 12 | 9 | 12 |
| Metropolitana | 33 | 37 | 35 | 38 | 36 | 39 | 36 | 47 | 36 | 47 |
| Bío Bío | 49 | 54 | 49 | 53 | 49 | 53 | 32 | 41 | 32 | 41 |
| Legislación aplicable | | | | | | | | | | |
| D.S. 90 | 87 | 97 | 87 | 94 | 88 | 94 | 72 | 94 | 72 | 94 |
| Tabla N°1 | 68 | 76 | 69 | 75 | 69 | 74 | 53 | 69 | 53 | 69 |
| Tabla N°2 | 5 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| Tabla N°3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| Tabla N°4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tabla N°5 | 13 | 14 | 12 | 13 | 12 | 13 | 12 | 16 | 12 | 16 |
| NCh 1333 | 3 | 3 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 |

Fuente: SISS (2021).

Para los Cuadros 9 y 10 se definen los siguientes términos:

- **TP.** Total de plantas inscritas.
- **CO.** Cumple/opera.
- **NC/NI/NO.** No cumple/no informa/no opera.
- **Tabla N°1.** Tabla del D.S. 90 aplicable para receptor Fluvial.
- **Tabla N°2.** Tabla del D.S. 90 aplicable para receptor Fluvial/ dilución.
- **Tabla N°3.** Tabla del D.S. 90 aplicable para receptor Lacustre.
- **Tabla N°4.** Tabla del D.S. 90 aplicable para receptor Marino/protección litoral.
- **Tabla N°5.** Tabla del D.S. 90 aplicable para receptor Marino/fuera de protección litoral.

En los Cuadros 9 y 10 no se consideró el año 2017 por inconsistencia en los datos registrados por el SISS.

Los resultados del catastro de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, de las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío durante 2015 a 2020 calcula un promedio de 86 sucursales totales inscritas por año, alcanzando un máximo de 93 registrado en 2018 a un mínimo de 77 el 2020.

1.3.2. Funcionamiento

El SISS declara un funcionamiento promedio del 92% de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales inscritas, operativas y cumpliendo con la normativa vigente, ubicadas dentro de las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío, con valores bastante estables durante la temporada 2015–2020 mostrando un funcionamiento igual o superior al 90 % cada año (Cuadros 9 y 10).

1.3.2. Plantas por región

La distribución del número de plantas de tratamiento, entre regiones, muestra una marcada heterogeneidad, con Antofagasta teniendo en promedio 10% del total plantas declaradas entre 2015-2020, muy por debajo de RM y Bío Bío con 41 y 49% en promedio del total de plantas para el mismo periodo de tiempo respectivamente, como se puede ver en el Cuadro 9, reflejo de la disponibilidad hídrica y consumo de agua, entre regiones ubicadas en macrozonas geográficas diferentes del país (DGA, 2016).

La disminución del total de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales registrada entre 2015-2020 ocurrió principalmente en la región de Bío Bío, que presentó la mayor variación en su número de plantas por región, pasando de contabilizar 49 sucursales entre 2015 y 2018 a 32 los años restantes; mientras que RM y Antofagasta, mantuvieron valores estables en su número de plantas registradas por región, durante todo el periodo evaluado (Cuadro 10).

1.3.3. Legislación aplicable

Del cumplimiento de la normativa nacional, se desprende que, del total plantas de tratamiento de aguas residuales municipales evaluadas en las tres regiones, en promedio entre 2015-2020 un 95% del total de plantas inscritas ampara la declaración de sus emisiones al cumplimiento del D.S. 90 y solo un 5% al cumplimiento de la NCh 1333, para el mismo periodo evaluado (Cuadro 9).

El D.S. 90 (Decreto Supremo 90) que regula las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continental superficiales, define criterios de calidad de agua específicos para efluentes municipales tratados en función al cuerpo de agua receptor, como muestran los Cuadros 9 y 10. La NCh 1333 (Norma Chilena Oficial 1333) de requisitos de calidad del agua para riego, aplica a plantas de tratamiento de aguas residuales municipales que descarguen sus efluentes a causes destinados a riego.

Finalmente, cuerpos de agua receptores de descargas residuales municipales tratadas, declarados por el catastro de plantas tratamiento en las regiones evaluadas, correspondieron principalmente a origen fluvial (Tabla N°1 del D.S. 90) siendo en promedio un 73% del total, en segundo lugar, de origen marino, con descargas fuera de las zonas de protección litoral (Tabla N°5 del D.S. 90) con un 14% del total entre los años 2015-2020, dejando porcentajes menores a otras fuentes de agua como cuerpos receptores.

Según la distribución de los cuerpos de aguas receptores declarados durante 2015-2020, entre las 3 regiones de estudio se señala lo siguiente, plantas ubicadas en la RM declaran en su totalidad de emisiones a cursos fluviales y fluviales/dilución, Bío Bío se reparte principalmente en receptores de origen fluvial (Tabla N°1), segundo lugar marinos fuera de zona de protección litoral (Tabla N°5) y proporciones menores a efluentes de otro origen; en Antofagasta el total de plantas registradas declara solo efluentes marinos fuera de zona de protección litoral y causes destinados a riego, como fuentes de agua receptores, ambos en proporciones similares.

1.4. Calidad de aguas residuales municipales tratadas en Chile

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales son diseñadas para cumplir con la normativa chilena aplicable en vigencia; por tanto, la calidad de estas aguas tratadas se puede caracterizar analizando dicho marco regulador, compuesto en términos generales por el Decreto Supremo 90 (D.S. 90) y la Norma Chilena Oficial 1333 (NCh 1333).

El factor que determinará la calidad final de aguas residuales tratadas será el cuerpo de agua receptor de las descargas definido por cada sucursal de tratamiento de aguas residuales municipales y no la disponibilidad hídrica de la zona, según establece la normativa chilena; lo cual estará fuertemente ligado a las características cada región.

Con el fin de caracterizar la calidad de aguas residuales tratadas en las regiones de estudio, a continuación, se presentan los parámetros de calidad mínimos establecidos por la normativa chilena aplicable a descargas de aguas residuales municipales tratadas a cursos de agua, D.S.90 para los dos principales cuerpos de agua receptores declarados por plantas tratadoras de aguas residuales municipal entre 2015-2020 en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío, fluvial (Tabla N°1) y marino fuera de la zona de protección literal (Tabla N°5) ver Cuadro 9; NCh 1333 para cursos de agua con fines de riego; y como estos se comparan con las recomendaciones de calidad de agua para riego agrícola de la FAO (1994).

Dichas exigencias de calidad de agua se resumen a continuación dentro del Cuadro 11.

Cuadro 11. Requerimientos de calidad de agua establecidos en el D.S. 90, NCh 1333 y FAO.

| Parámetro de calidad de agua | Unidad | D.S. 90 | | NCh 1333 | FAO |
|-------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|-------------|
| | | Tabla N°1 | Tabla N°5 | | |
| Índice sanitario | | | | | |
| Coliformes fecales | NMP 100mL ⁻¹ | 1000 | - | 1000 | - |
| DBO5 | mg L ⁻¹ | 35 | - | - | - |
| TSS | mg L ⁻¹ | 80 | - | - | - |
| Salinidad | | | | | |
| CE | dS m ⁻¹ | - | - | 0,75-3 | 0,7-3 |
| TDS | mg L ⁻¹ | - | - | 500-2000 | 450-2000 |
| Infiltración | | | | | |
| RAS | | - | - | - | 0,2-2,9 |
| Iones específicos | | | | | |
| Na ⁺ | mg L ⁻¹ | - | - | 207 | 69-207 |
| Cl ⁻ | mg L ⁻¹ | 400 | - | 200 | 106,3-356,4 |
| HCO ₃ ⁻ | mg L ⁻¹ | - | - | - | 91,5-183 |
| B | mg L ⁻¹ | 0,75 | - | 0,75 | <0,7-3 |
| SO ₄ ²⁻ | mg L ⁻¹ | 1000 | - | 250 | - |
| S ²⁻ | mg L ⁻¹ | 1 | 5 | - | - |
| N | mg L ⁻¹ | 50 | - | - | <5-30 |
| P | mg L ⁻¹ | 10 | - | - | - |
| Elementos traza | | | | | |
| Ag | mg L ⁻¹ | - | - | 0,2 | - |
| Al | mg L ⁻¹ | 5 | 10 | 5 | 5 |
| As | mg L ⁻¹ | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| Ba | mg L ⁻¹ | - | - | 4 | - |
| Be | mg L ⁻¹ | - | - | 0,1 | 0,1 |
| Cd | mg L ⁻¹ | 0,01 | 0,5 | 0,01 | 0,01 |
| Co | mg L ⁻¹ | - | - | 0,05 | 0,05 |
| Cu | mg L ⁻¹ | 1 | 3 | 0,2 | 0,2 |
| Cr | mg L ⁻¹ | - | 10 | 0,1 | 0,1 |
| F | mg L ⁻¹ | 1,5 | 6 | 1 | 1 |
| Fe | mg L ⁻¹ | 5 | - | 5 | 5 |
| Hg | mg L ⁻¹ | 0,001 | 0,02 | 0,001 | - |
| Li | mg L ⁻¹ | - | - | 2,5 | 2,5 |
| Mn | mg L ⁻¹ | 0,3 | 4 | 0,2 | 0,2 |
| Mo | mg L ⁻¹ | 1 | 0,5 | 0,01 | 0,01 |
| Ni | mg L ⁻¹ | 0,2 | 4 | 0,2 | 0,2 |
| Pb | mg L ⁻¹ | 0,05 | 1 | 5 | - |
| Pd | mg L ⁻¹ | - | - | - | 5 |
| Se | mg L ⁻¹ | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Sn | mg L ⁻¹ | - | 1 | - | - |

Continua en la siguiente página.

| | | | | | |
|----|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| V | mg L ⁻¹ | - | - | 0,1 | 0,1 |
| Zn | mg L ⁻¹ | 3 | 5 | 2 | 2 |
| pH | | 6-8,5 | 5,5-9 | 5,5-9 | 5,5-9 |
| T° | °C | 35 | - | - | - |

Fuente: INN (1987), BCN (2001), FAO (1994).

Directrices de calidad de agua para riego agrícola de la FAO (1994) no considera índices sanitarios en su redacción. El marco legislativo chileno aplicable del D.S. 90 Tabla N°1 exige mayores estándares sanitarios para la descarga de efluentes residuales municipales tratados a cuerpos de agua fluviales, considerando parámetros de coliformes fecales, DBO5, TSS. Por su parte, la Tabla N°5 del D.S. 90 no exige estándares sanitarios para la descarga de efluentes tratados; y finalmente, la NCh 1333 solo considera coliformes fecales como estándar sanitario de calidad de agua para su uso en riego.

1.4.1. Salinidad

Del análisis del Cuadro 11 se desprende que el D.S. 90 (Tablas N°1 y 5) no menciona parámetros máximos de salinidad como TDS y CE. Esto supondría un problema para usuarios agrícolas indirectos de efluentes residuales municipales provenientes de plantas de tratamiento diseñadas para el cumplimiento del D.S. 90 que descarguen aguas residuales tratadas a cursos de agua fluviales (Tabla N°1); que se estima corresponde un 73% promedio de total de plantas registradas entre 2015 y 2020 en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío; y se concentran principalmente en las zonas centro y sur del país (ver Cuadro 10). Cursos de agua que se prevé experimenten un aumento en su salinidad, disminuyendo el potencial hídrico del agua y por tanto su disponibilidad para las plantas haciendo a estas propensas a sufrir estrés osmótico (Sierra et. al., 2001).

Por su parte la NCh 1333 establece parámetros de calidad de agua para riego en función a la salinidad muy similares a los establecidos en las directrices para la evaluación de calidad de agua para riego de la FAO (1994), resumido en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Requerimientos de salinidad de agua establecidos en NCh 1333 y FAO.

| Fuente | Restricción de uso para riego | Parámetro de calidad de agua | |
|--------|--|------------------------------|--------------------|
| | | CE | TDS |
| | | dS m ⁻¹ | mg L ⁻¹ |
| | Sin efectos | < 0,75 | < 500 |
| NCh | Perjudica cultivos sensibles | 0,75 - 1,5 | 500 - 1000 |
| 1333 | Perjudica a la mayoría de los cultivos | 1,5 - 3 | 1000 - 2000 |
| | Uso en plantas tolerantes | > 3 | > 2000 |
| FAO | Ninguno | < 0,7 | < 450 |
| 1994 | Moderado | 0,7 - 3 | 450 - 2000 |
| | Severo | > 3 | > 2000 |

Fuente: INN (1987), FAO (1994).

1.4.2. Infiltración

Dentro de la normativa chilena aplicable para la reutilización de aguas residuales municipales tratadas, NCh 1333 y D.S. 90 (Tabla N°1), solo la primera se refiere a parámetros relacionados con la infiltración del agua como son RAS y controla el Na^+ porcentual dentro de los límites recomendados por la FAO (1994); se destaca que ninguna normativa chilena controla Ca^{2+} y Mg^{2+} en aguas residuales tratadas (Cuadro 11). Riego agrícola indirecto con aguas residuales municipales tratadas descargadas a cursos fluviales (Tabla N°1), donde se espera un aumento en las concentraciones de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} harán a campos agrícolas propensos a sufrir pérdida de estructura e infiltración de sus suelos. Tabla N°5 del D.S.90 no controla RAS ni Na^+ .

1.4.3. Iones específicos

De los principales aniones y cationes solubles que constituyen el agua, la Tabla N°1 del D.S. 90 considera B , Cl^- , SO_4^{2-} , como parámetros de control de aguas residuales municipales tratadas, de estos el B es el más estrictamente controlado; La Tabla N°5 del D.S. 90 no controla ningún ion específico en aguas residuales municipales tratadas (excepto S^{2-}); por último, la NCh 1333 controla B , Cl^- , SO_4^{2-} y Na^+ , con límites dentro de lo establecido por las recomendaciones de la FAO (1994), (Cuadro 11). Se señala que la normativa de Chile no utiliza indicadores del efecto de iones específicos en el suelo como dureza, CSR o índice de Scott en el agua dentro de su redacción (Cuadro 11).

Aguas de riego provenientes de cuerpos de agua fluviales intervenidos con descargas de aguas residuales municipales tratadas se espera aumenten su concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} y HCO_3^- soluble; haciendo a cultivos agrícolas regados indirectamente con estas aguas a sufrir pérdida de estructura de suelo y desbalances nutricionales por la interacción de iones específicos. Aguas residuales municipales tratadas destinadas a cumplir la NCh 1333 por su parte se prevé presenten altos niveles de CO_3^{2-} y HCO_3^- .

1.4.4. Nitrógeno

La Tabla N°1 del D.S. 90 es el único cuerpo legal del marco regulatorio chileno aplicable a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura que considera el control de N y P en su redacción (Cuadro 11). Campos agrícolas usuarios de agua de riego enriquecida con N (Tabla N°1 y NCh 1333) deberán considerar el aporte de N del agua en su plan de fertilización para evitar efectos en las plantas, especialmente en casos de descargas aplicables al cumplimiento de la NCh 1333 que no controla niveles de N en sus emisiones. Se señala que aguas residuales municipales tratadas cuya descarga apliquen al cumplimiento de la Tabla N°5 del D.S.90 no controlan N ni P en sus aguas de descarga; contribuyendo a procesos de eutrofización del agua (Bruning, 2018).

1.4.5. Elementos traza

Del total de 17 parámetros de concentración límite de elementos traza en el agua considerados por la FAO (1994), la normativa chilena, D.S. 90 Tabla N°1 considera 12 parámetros de calidad de agua, de los cuales 5 se mantiene dentro de los rangos recomendados por la FAO, mientras tanto el D.S. 90 Tabla N°5 rescata 11 de estos parámetros de los cuales ninguno se encuentran dentro de los límites establecidos por la FAO; por último, la NCh 1333 incorpora 16 elementos establecidos por la FAO a excepción del Pd, todos los elementos incorporados por la NCh 1333 se detallan con los mismos rangos de exigencia de agua para riego que los recomendados por la FAO (Cuadro 11).

Cuerpos fluviales intervenidos con aguas residuales municipales tratadas esperaran un aumento de elementos traza, volviendo a campos agrícolas susceptibles a toxicidades. Por su parte, aguas residuales municipales tratadas que apliquen al cumplimiento de la NCh 1333 para su descarga no presentan mayores restricciones para su reutilización en riego agrícola por la concentración de elementos traza.

1.4.6. pH

El pH considerado por la normativa chilena aplicable a la reutilización indirecta de aguas residuales municipales tratadas en agricultura D.S. 90 Tabla N°1 y NCh 1333 presentan límites de pH con rangos de 6-8,5 y 5,5-9 respectivamente, para la descarga de efluentes residuales municipales tratados a cursos de agua; umbrales máximos tolerables menos estrictos que los recomendados por la FAO (1994) con rangos entre 6,5-8,4 de pH para el agua de riego (Cuadro, 11). Por tanto, se espera que campos usuarios de aguas residuales municipales tratadas que apliquen específicamente al cumplimiento de la NCh 1333 para su descarga sean más susceptibles a experimentar cambios en la disponibilidad de macro y microelementos esenciales, ya que cada uno de estos elementos tiene un rango característico de pH en la solución suelo de mayor disponibilidad para las plantas como muestra la Figura 1.

2. MARCO REGULATORIO DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS EN AGRICULTURA

Durante años la comunidad científica ha elaborado criterios de calidad para aguas residuales municipales en diferentes niveles, abordando aspectos potencialmente nocivos para la salud humana y el medio ambiente. La WHO recopila los principales criterios reportados para evitar potenciales riesgos del uso de aguas residuales en el riego de productos de consumo humano. Estos criterios han sido usados como directrices internacionales en materia de reutilización de aguas residuales, seguidas por muchos países como guía para la formación de proyectos nacionales (FCH, 2018).

La diversidad de normativas para la reutilización de aguas residuales tratadas se explica por la amplia heterogeneidad en las características de las fuentes de aguas residuales municipales entre países; variedad en su composición, origen, sectores productivos potencialmente usuarios de estas aguas y sus requerimientos de calidad para la reutilización del recurso; tecnologías de tratamiento, costo asociado y nivel de inversión dispuesto por cada Estado (FCH, 2018).

Según la DGA (2016) la capacidad de aumentar el acceso al agua y de adaptarse a condiciones más adversas, significa ampliar la cantidad de recursos al que tradicionalmente se ha tenido acceso. Si bien esto seguirá ligado a la capacidad económica y financiera del país, también dice relación con la voluntad política de tomar acciones e impulsar las medidas necesarias.

Este capítulo se centra en la revisión de aspectos destacados por las recomendaciones internacionales para la implementación exitosa de un plan de reutilización de aguas residuales a nivel país; y como estos se contrastan con el marco regulador nacional vigente que aplica para la reutilización de aguas residuales municipales tratadas para la agricultura.

2.1 Gobernanza internacional

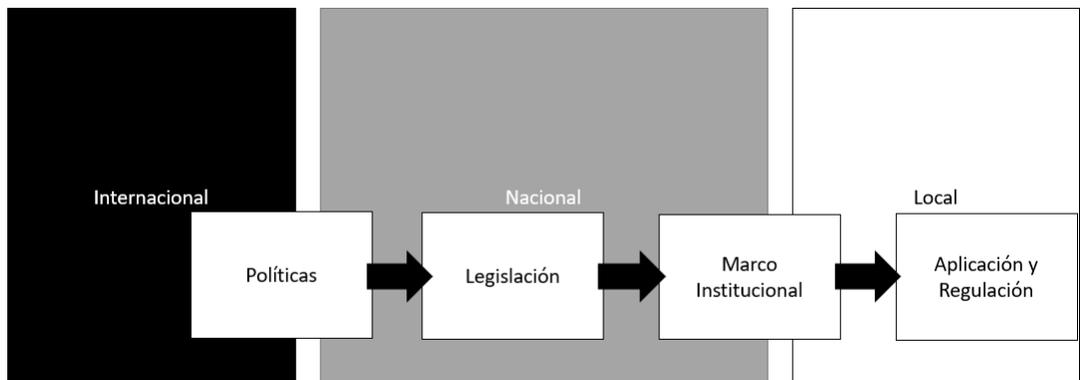
El marco regulatorio establecido para la reutilización de aguas residuales municipales, a nivel mundial, varían dependiendo de cada país. La WHO plantea que políticas internacionales, afectan la creación de políticas nacionales enfocadas en el uso de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, producto de las numerosas obligaciones a la que países se someten al contraer tratados internacionales, consecuencia del mercado internacional. Las políticas nacionales para la reutilización de aguas residuales municipales deben ser consecuente con los requerimientos internacionales, tratándose de productos agrícolas destinado al consumo humano, en donde existe una especial preocupación por la salud pública (WHO, 2006a).

La WHO (2006a, b y c) presenta una serie de publicaciones llamadas “Directrices para el Uso Seguro de Aguas Residuales, Excreta y Aguas grises” donde abordan diferentes aspectos de la reutilización de aguas residuales. Estas directrices son ampliamente aceptadas internacionalmente y aplicadas como guía en la gobernanza interna de países en camino a la reutilización de sus aguas residuales en agricultura.

El desarrollo de un marco de política nacional para el uso seguro de las aguas residuales municipales en la agricultura requiere definir objetivos, evaluar el entorno político, formular nuevas políticas o ajustar las existentes y desarrollar una estrategia nacional para su implementación. La WHO destaca la salud pública, protección ambiental y seguridad alimentaria, como principales objetivos país en la reutilización de aguas residuales para la agricultura (WHO, 2006a).

El cumplimiento de los objetivos propuestos para la reutilización segura de aguas residuales municipales se lleva a cabo a través de un marco político. El marco político de un país constituye una declaración de prioridades nacionales de desarrollo (WHO, 2006c). La estructura del marco político de un país se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Estructura del marco político general aplicable a la reutilización de aguas residuales en agricultura.



Fuente: WHO (2006c).

Las políticas deben proporcionar criterios para tomar decisiones y guiar el proceso de desarrollo nacional, en equilibrio con las obligaciones internacionales del país. Las políticas pueden concluir en la creación de legislaciones, donde se establecen responsabilidades y derechos transversalmente aplicables a todos los actores involucrados a nivel nacional, se definen entidades responsables de crear regulaciones y autoridades para implementar éstas a escala local.

Dentro de sus directrices para la reutilización de aguas residuales municipales en agricultura, la WHO (2006a, b y c) recopila los estándares calidad de agua para riego publicados por la FAO (1994), dado el potencial efecto de estos efluentes en el suelo y cultivos. La adhesión a las directrices de la WHO en la aplicación de aguas residuales para la producción de productos alimenticios destinados a la exportación ayudará a garantizar un comercio internacional sin trabas y de productos alimenticios inocuos.

La WHO (2006c) propone las siguientes recomendaciones para implementar un plan nacional de reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura.

Establecimiento de un mecanismo de diálogo político. La identificación de las partes interesadas definirá los mecanismos para iniciar y mantener un diálogo político productivo e integral. Deberán establecerse mecanismos de retroalimentación efectivo, que asegure una participación significativa en la toma de decisiones políticas en niveles administrativos, provinciales y locales. La participación de la sociedad civil en el debate político es un punto clave para crear una plataforma sólida de apoyo a las nuevas políticas, mediante mecanismos como foros, discusiones de grupos locales y consultas comunitarias, que aseguren que la opinión cívica se refleje en el marco de político.

Definición de objetivos. Pueden ser los siguientes:

- Incrementar el desarrollo económico nacional o local.
- Incrementar la producción agrícola, en base a mejores prácticas.
- Incrementar el suministro de agua dulce y aprovechar al máximo el valor de los recursos de las aguas residuales.
- Eliminar las aguas residuales de manera rentable y respetuosa con el medio ambiente.
- Mejorar los ingresos familiares, la seguridad alimentaria y/o la nutrición.
- Salvaguardar la salud y el medio ambiente, mediante estrategias de gestión.

Análisis de situación, valoración de políticas y evaluación de necesidades. En la mayoría de los países, ya existe una variedad de políticas, que influirán en la toma de decisiones sobre el uso de aguas residuales municipales tratadas en la agricultura. La evaluación de las políticas existentes debe llevarse a cabo considerando que políticas nacionales, legislación asociada y marco institucional cumplan con los objetivos impuestos por el país en este ámbito y que las actividades de uso actuales y futuras puedan cumplir de manera realista con el marco regulador.

Los efectos potenciales en la salud e impactos en la producción agrícola por el uso de aguas residuales municipales tratadas en agricultura establecen una guía para evaluar las necesidades del país, estas determinarán el ajuste y/o formulación de nuevas políticas, que puedan llenar vacíos dentro del marco regulatorio aplicable. Los vacíos identificados dependiendo de sus dimensiones puede que requieran la formulación de nuevas políticas o una reestructuración de las actuales.

Respaldo político, participación en el diálogo y legitimación de productos. El respaldo político desde etapas tempranas contribuirá a asegurar una aceptación e integración sin problemas de propuestas de modificación política. Este respaldo legitimará la participación de todos los involucrados y garantizará que el producto final sea acorde a las expectativas asegurando un proceso sin trabas.

Investigación. Todo el desarrollo de políticas debe basarse en pruebas, por lo tanto, las investigaciones para minimizar los impactos en la salud asociados con el uso de aguas residuales municipales tratadas en agricultura deben realizarse en instituciones nacionales, universidades u otros centros de investigación. Es importante realizar esta investigación a nivel nacional o subnacional, ya que el conjunto de datos sobre evaluación, gestión de riesgos y sobre medidas efectivas de protección de la salud serán valiosos en el proceso de formulación de políticas.

2.2. Gobernanza nacional

2.2.1. Política

La Constitución Política de la Republica o Carta Magna de Chile de 1980, es la Ley fundamental de la organización del Estado y forma del Gobierno, siendo el cimiento sobre el cual las demás leyes descansan, con miras a alcanzar el bien común de los integrantes del Estado, fijando límites y definiendo las relaciones entre los poderes del Estado, además es misión de esta reconocer y garantizar los derechos fundamentales de todas las personas (Olguín y Ghigliotto, 2019).

La actual Constitución chilena carece de una definición precisa de agua, y dispone que derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos en conformidad a la ley, otorgarán a sus titulares la propiedad sobre ellos (BCN, 1980), concediendo al agua una entidad de bien económico.

2.2.2. Legislación

El Código de Aguas de Chile de 1981, cuerpo legal que compila sistemática y metódicamente, leyes y normas de aguas del país en un único ordenamiento (Ugarte, 2003) define el agua como un bien nacional de uso público y otorga a particulares el derecho para su aprovechamiento. La redacción del Código se centra en establecer el dominio y aprovechamiento, adquisición de derechos y jurisprudencia aplicada a aguas nacionales, reafirmando la visión del agua como un bien de posesión transable, definido ya por la Constitución de Chile (BCN, 1981).

La calidad del agua es un aspecto ausente dentro del Código de Aguas de Chile, incluso dentro de su Artículo 4, Título 10 Protección de Agua y Cauces, centrado básicamente en la descripción escueta de caudales mínimos ecológicos, sin mencionar la presencia de contaminación o hacer alusión a requerimiento de calidad de agua mínimos para cuerpos de agua nacionales (BCN, 1981).

Dentro de la ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente (BCN, 1994) se definen:

- **Contaminación.** Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a lo establecido en la legislación vigente.
- **Contaminante.** Elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

La Ley chilena 21.075 de 2018 que regula recolección, reutilización y disposición de aguas grises, marca un hito en materia de reutilización de aguas residuales municipales tratadas. Aguas residuales municipales se componen por aguas grises y aguas negras; las primeras son aguas residuales provenientes de las tinajas y duchas, lavatorios y lavaplatos; por su parte las aguas negras se definen como aguas residuales provenientes de la población compuestas de excretas humanas (INN, 1994). Dentro de su artículo 9 la ley 21.075 prohíbe la reutilización directa de aguas grises tratadas en el riego de frutas y hortalizas destinadas a su consumo humano o que sirvan de alimento a animales que puedan transmitir enfermedades (BCN, 2018).

Actualmente la normativa chilena vigente, aplicable para la descarga de aguas residuales municipales tratadas a cursos de agua; y, por ende, aplicable a su reutilización indirecta se sustenta bajo el Decreto Supremo 90 y la Norma Chilena Oficial 1333.

Ambas normativas establecen requerimientos de calidad de agua mínimos, en función de los objetivos a los que cada una está enfocada y características de los cuerpos de agua receptores de las descargas. En función a su objetivo de regulación, las normativas aplicables para la reutilización indirecta de aguas residuales tratadas en agricultura en Chile se pueden clasificar.

i. Normas aplicables a la descarga de aguas residuales tratadas

D.S. 90 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continental superficiales (2000). Este decreto tiene como objetivo la protección ambiental y prevención de la contaminación de aguas marinas y continental superficiales, mediante el control de contaminantes asociados a residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Buscando que cuerpos de agua naturales mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, conforme a la Constitución y leyes de la república. Su campo de aplicación abarca todos los cuerpos de agua superficiales de Chile; este decreto establece diferentes parámetros de calidad en función del origen del cuerpo de agua receptor (BCN, 2001).

ii. Normas aplicables a aguas para riego

NCh 1333 Requisitos de calidad del agua para diferentes usos (1987). Norma que fija un criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado, aplicable para cursos destinados a riego. Estos criterios tienen por objeto proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos y la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo. Su campo de aplicación abarca cursos de agua destinados a riego intervenidos con la descarga de efluentes municipales tratados (INN, 1987).

Actualmente en Chile no existe un instrumento legal que defina claramente obligaciones y responsabilidades respecto a la calidad de agua para su uso en agricultura, existiendo solo la NCh 1333. Esta normativa señala algunos criterios de calidad de agua para su uso en riego de cultivos, sin indicar o sugerir responsabilidades para resguardar ese criterio y las obligaciones de los diversos actores para llegar a ese objetivo, es por ello, que la aplicación concreta por parte de la institucionalidad resulta poco funcional (CNR, 2018).

2.2.3. Institucionalidad

La institucionalidad de la gestión del agua en Chile se compone de 43 organismos que interactúan entre sí y se encargan de cumplir 11 macro funciones en la administración del recurso hídrico nacional (Word Bank, 2013). Estas principales macro funciones son:

1. **Operar el sistema de información, establecer mecanismos de comunicación, desarrollo y tecnología del agua.** Obtención, análisis y difusión de información hidrológica referente a cantidad y calidad de agua.
2. **Formular y dar seguimiento a la implementación de políticas y planes hídricos.** Elaboración de planes de gestión, infraestructura, políticas de regulación de la contaminación agrícola, desarrollo de nuevas fuentes de agua, estrategias de adaptación al cambio climático.
3. **Administrar los derechos y el mercado del agua.** Regularización de títulos de aprovechamiento de agua, mercado, constitución y modificación de estos mismos; además de regular el agotamiento de fuentes naturales y su cuidado.
4. **Prevenir y atender emergencias.** Gestión de riesgos de eventos hidrometeorológicos extremos; implementación y monitoreo de planes de contingencia en caso de riesgos a la salud y al medio ambiente.
5. **Diseñar, construir, operar y mantener la infraestructura hidráulica.** Desarrollo de proyectos de infraestructura, autorización y construcción de nuevas obras; y el mejoramiento de las existente.
6. **Gestionar los cauces naturales y limitar la explotación de áridos.** Administración de cuerpos naturales de agua.
7. **Vigilar y promover la incorporación de aspectos multisectoriales, sociales y ambientales en la gestión del agua.** Conservación de los recursos hídricos, planificación de riego y uso de suelo, gestión de aguas residuales; vigilar la distribución del agua e impactos negativos sobre comunidades y medio ambiente.
8. **Desarrollar e implementar instrumentos participativos para la gestión del agua.** Fomento a instancias de agrupación por cuenca instancias de diálogo y acuerdo entre organizaciones.
9. **Desarrollar e implementar instrumentos económicos para la gestión del agua.** Establecimiento de tarifas adecuadas al mercado de agua en Chile y sanciones por malas prácticas e incumplimiento del marco regulatorio.
10. **Ejercer funciones de fiscalización y control de la gestión hídrica nacional.** Auditoria, aprobación y seguimiento de proyectos hidráulicos, empresas agroforestales, usos de derechos de agua y normas de impacto ambiental.
11. **Ejercer acciones judiciales, y administrativas.** Juicios y procedimientos sobre constitución y ejercicio del marco regulatorio vigente.

El marco institucional de Chile en la gestión del agua tiene en el centro a la Dirección General de Aguas (DGA) organismo del Estado encargado de la gestión, administración y supervigilancia del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público con el objetivo de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas (Word Bank, 2013).

Junto a la DGA existen diversas instituciones involucradas en la gestión nacional del agua, con competencias y rangos diferentes, cuyas funciones complementan y/o compiten con las de la DGA.

El marco institucional del recurso hídrico en Chile distingue 43 actores involucrados en la gestión nacional del agua, caracterizados por ser de naturalezas y jerarquías diferentes entre sí (Word Bank, 2013).

De las 11 macro funciones de administración del recurso hídrico en Chile las 1, 2, 3, 7, 8 y 10 aplican a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, todas estas funciones se ejercen necesariamente con participación de más de una institución.

Los 43 organismos que conforman el marco institucional del agua en Chile (ver Apéndices 7.1), distribuyen el cumplimiento de las 11 macro funciones de administración del recurso hídrico nacional como muestra el Cuadro 13.

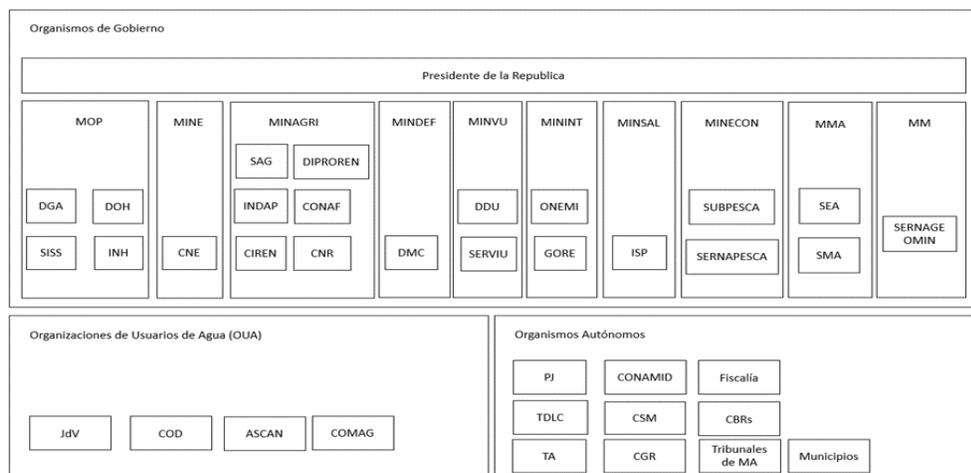
Cuadro 13. Distribución de macro funciones de gestión del agua en Chile entre instituciones involucradas.

| Macro funciones | Instituciones involucradas |
|---|-----------------------------------|
| | N° |
| 1. Operación de sistemas de información, comunicación ciencia y tecnología del agua | 21 |
| 2. Formulación y seguimiento de políticas y planes hídricos | 15 |
| 3. Administración de Derechos de agua y sus mercados | 16 |
| 4. Prevención y atención de emergencias | 14 |
| 5. Diseño, construcción, operación y mantención de infraestructura hidráulica | 8 |
| 6. Obras y mejoramiento en cause naturales y explotación de áridos | 3 |
| 7. Coordinación intersectorial y objetivos sociales y ambientales | 20 |
| 8. Instrumentos participativos para la gestión hídrica | 11 |
| 9. Instrumentos económicos para la gestión hídrica | 6 |
| 10. Fiscalización y control | 24 |
| 11. Acciones Judiciales | 4 |

Fuente: Word Bank (2013).

La distribución de los organismos que conforman el marco institucional del agua en Chile se esquematiza en la Figura 3.

Figura 3. Mapa de Actores Institucionales para la gestión de los recursos hídricos en Chile.



Fuente: Word Bank (2013).

Del total de 43 entidades vinculadas con la gestión del recurso hídrico en Chile 24 tienen un grado de intervención dentro del marco institucional aplicable a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, los organismos identificados en la regulación de esta actividad son:

1. Ministerio de Obras Públicas (MOP).
2. Dirección General de Aguas (DGA).
3. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
4. Ministerio de Agricultura (MINAGRI).
5. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
6. División de Protección de Recursos Naturales Renovables (DIPROREN).
7. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).
8. Comisión Nacional de Riego (CNR).
9. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).
10. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).
11. División de Desarrollo Urbano (DDU).
12. Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU).
13. Gobierno Regional (GORE).
14. Ministerio de Salud (MINSAL).
15. Instituto de Salud Pública (ISP).
16. Ministerio de Medio Ambiente (MMA).
17. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).
18. Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).
19. Tribunales de Medio Ambiente.
20. Consejo de ministros para la Sustentabilidad (CMS).
21. Municipios.
22. Juntas de vigilancia (JdV).
23. Asociaciones de Canalistas (ASCAN).
24. Comunidades de Aguas (COMAG).

2.3. Desafíos para Chile

2.3.1. Gobernanza nacional

Política. Agudizar el debate en torno a la gestión hídrica de Chile, siguiendo las recomendaciones de la WHO (2006a, b y c) estableciendo mecanismo de diálogo político y de retroalimentación con la comunidad, definición de objetivos, valoración de políticas vigentes y evaluación de necesidades, fomentar la participación de centros científicos y educacionales certificados en la investigación del uso de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, su efecto en suelo y consumidores permitirá validar estas como una fuente de recursos segura para la agricultura y mantener las actividades productivas en equilibrio con las obligaciones de Chile en el mercado internacional, para la exportación segura de productos agrícolas.

Chile atraviesa un contexto de activos cambios políticos desde el 2019 a la fecha, tal como lo expresó la ciudadanía en el Plebiscito Nacional del 25 de octubre de 2020, fallando a favor de la redacción de una nueva Constitución. El proceso constituyente que vive Chile es la oportunidad para reestablecer las políticas de gestión del agua en Chile con una Constitución que redefina el concepto de agua actual de bien público de uso privado y ampare la protección del recurso en términos de calidad de agua, asegurando su uso sustentable y persistencia en el tiempo. Considerar estos puntos durante la redacción de la nueva Constitución será clave para obtener una nueva carta magna que dote al Estado con un mayor poder de control sobre la gestión del agua en Chile.

Legislación. Chile debe avanzar hacia un marco legislativo aplicable a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en riego de cultivos que considere la realidad hídrica nacional y su heterogeneidad entre macrozonas del país.

Aumentar estándares de calidad de aguas residuales municipales tratadas exigidos por la normativa nacional en base a directrices internacionales de la FAO (1994).

Formación de nuevos proyectos de ley que fomenten el uso directo de aguas residuales municipales tratadas en riego agrícola que cambien las tendencias restrictivas para su reutilización en estos fines y regulen su uso indirecto.

Según la normativa chilena revisada se destacan los siguientes desafíos:

- i. **NCh 1333.** Un 5% del total de plantas tratadoras de aguas residuales municipales consultadas amparan la calidad de sus descargas bajo esta normativa, aplica a receptores de agua destinados a riego de la zona norte del país y exige estándares de calidad de agua similares a los descrito por la FAO.
Mejorar la efectividad de aplicación de esta normativa, considerando los escenarios de reutilización indirecta de aguas residuales municipales tratadas en riego agrícola reportados durante esta investigación.

ii. **D.S. 90.**

- **Tabla N°1.** Principal cuerpo legal declarado por plantas tratadoras de aguas residuales municipales consultadas para la emisión de sus efluentes a cursos de agua en Chile, aplica para receptores fluviales de la zona centro y sur del país, se caracteriza por la ausencia de parámetros de salinidad, infiltración; bajos requerimientos respecto a la concentración de iones específicos, elementos traza y N. Aumentar en estos estándares prevendrá a agricultores periurbanos de la zona centro-sur del país, usuarios indirectos de estas aguas a daños en sus cultivos.
- **Tabla N°5.** Segundo cuerpo legal declarado por plantas tratadoras de aguas residuales municipales consultadas para la emisión de sus efluentes a cursos de agua en Chile, aplica para receptores marinos de la zona centro y sur del país, reportan niveles de calidad de agua altamente restrictivos para su uso en riego agrícola, si bien estas no constituyen un peligro para cultivos, a de evaluarse el impacto ambiental de estas emisiones en ecosistemas acuáticos con descargas que no consideran índices sanitarios, no controlan niveles de salinidad, iones específicos (excepto S^{2-}), N ni P.
Recambio de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales suscritas al D.S 90 Tabla N°5 para su funcionamiento a sucursales que operen bajo la NCh 1333 permitirá la reutilización de aguas residuales municipales tratadas de buena calidad para la agricultura, en sectores áridos y semiáridos de escasez hídrica.

Institucionalidad. Fortalecimiento de la DGA como entidad coordinadora general del marco institucional del agua en Chile, con herramientas del Estado que le permitan a este organismo regular la operación eficiente y coordinada del total actores involucrados en la gestión hídrica nacional, evitando la competencia jerárquica entre instituciones, que la mayoría de las veces presentan superposiciones entre sus tareas específicas, generando complementariedades, duplicidades y vacíos dentro del marco institucional del agua en Chile.

2.3.2. Consideraciones sanitarias

La FAO (1994) no considera índices sanitarios en sus directrices de calidad de agua para riego, sin embargo, la WHO (2006a, b y c) enfatiza en la importancia de la calidad sanitaria de aguas residuales tratadas para su reutilización segura en la agricultura.

Los índices sanitarios de calidad de agua considerados por la normativa chilena aplicable a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en riego agrícola son coliformes fecales, DBO5, TSS, además de pH. Estos índices según la WHO (2006b) son efectivos para el control de *E. coli* y huevos de helmintos. Sin embargo, además de estos se ha documentado un amplio abanico de patógenos causantes de enfermedades presentes en aguas residuales municipales tratadas. La WHO (2006b) sostiene que el control de *E. coli*, no necesariamente significa la ausencia de otros patógenos en aguas tratadas. Monitorear microorganismos más resistentes en aguas residuales municipales tratadas, como *Ascaris* o bacteriófagos como indicadores de otros grupos microbiológicos presentes en estas aguas asegurara conseguir un recurso de mayor inocuidad.

La exposición a patógenos asociados con aguas residuales municipales tratadas por su uso en riego agrícola puede ocurrir por diferentes formas, las principales son contacto directo con efluentes residuales o cultivos regados, inhalación de aerosoles, consumo de productos regados con aguas residuales o consumo indirecto de estas; consumo de productos animales expuestos a aguas residuales tratadas y transmisión por vectores. De esta forma la exposición a patógenos asociados a aguas residuales municipales tratadas afecta tanto a consumidores, trabajadores y comunidades (WHO, 2006b).

El Cuadro 14 resume algunos patógenos reportados en aguas residuales tratadas y sus enfermedades asociadas.

Cuadro 14. patógenos detectables en aguas residuales municipales tratadas y enfermedades asociadas.

| Patógeno | Enfermedades vinculadas |
|------------------------------------|--|
| <i>Acinetobacter baumannii</i> | Bacteriemia y meningitis |
| <i>Aeromonas hydrophila</i> | Gastroenteritis |
| <i>Aeromonas spp.</i> | Gastroenteritis, infección de heridas |
| <i>Arcobacter butzleri</i> | Diarrea |
| <i>Ascaris lumbricoides</i> | Ascariasis |
| <i>Bacillus</i> | Carbunco/toxicidad de comida |
| <i>Bordetella pertussis</i> | Tos ferina |
| <i>Brucella suis</i> | Brucelosis |
| <i>Enterococci faecalis</i> | Endocarditis |
| <i>Enterococcus faecium</i> | Meningitis neonatal |
| <i>Escherichia coli.</i> | Síndrome urémico hemolítico |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i> | Neumonía |
| <i>Lysinibacillus</i> | Formación de úlceras |
| <i>Microbacterium</i> | Bacteriemia |
| <i>Microbacterium tuberculosis</i> | Tuberculosis |
| <i>Pasteurella multocidae</i> | Colera aviar, septicemia hemorrágica, rinitis atrófica |
| <i>Proteus spp.</i> | Infecciones del tracto urinario |
| <i>Providencia spp.</i> | Infecciones urinarias |
| <i>Pseudomona aeruginosa</i> | Sepsis |
| <i>Salmonella spp.</i> | Salmonelosis |
| <i>Serratia</i> | Infecciones nosocomiales |
| <i>Shigella flexneri</i> | Diarrea |
| <i>Stanphylococcus aureus</i> | Varias |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Colera |

Fuente: Nnadozie et al. (2017).

Chile tiene por desafío avanzar a un marco regulador integral que proteja a la sociedad de riesgos a la salud por patógenos presentes en aguas residuales municipales tratadas, en todas sus escalas de aplicación, que considere diferentes formas de exposición a patógenos e incorpore el monitoreo de los microorganismos resistentes presentes en el agua.

3. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES TRATADAS EN AGRICULTURA

Dada la creciente necesidad por una administración más eficiente de los recursos hídricos la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales ha aumentado a nivel mundial. La distribución de estas instalaciones entre cada localidad varía de acuerdo con el nivel de tecnología, recursos invertidos y la voluntad política de países, localidades y/o regiones (FCH, 2018).

La calidad de efluentes tratados generados y su aptitud para riego agrícola es una característica específica de cada región del mundo y dependerá de la normativa que regule la recolección, tratamiento, descarga y gestión de aguas residuales municipales; exigencias de calidad establecidas por su marco político, la articulación y aplicación de este. Volviendo el contexto mundial de reciclaje de aguas residuales, una situación con gran variabilidad de escenarios (FCH, 2018).

Este capítulo recopila antecedentes de China, Italia e Israel en la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, para contextualizar el panorama internacional de esta actividad.

3.1. China, Italia e Israel

La Organización de Naciones Unidas (UN, del inglés United Nations) (2016) señala que la reutilización de aguas residuales a nivel mundial carece de una autoridad política general que regule esta actividad. Marcos regulatorio establecido para la reutilización de aguas residuales varían dependiendo de cada país, su contexto hídrico, nivel inversión y voluntad política.

Cuando se compara con más detalles, se hace evidente que marcos regulatorios aplicables a la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en riego varía significativamente entre países y dentro de estos mismos; en la consideración o ausencia de parámetros de calidad de aguas tratadas; exigencias entre parámetros incorporados por cada normativa, y forma molecular de parámetros exigidos (Shoushtarian y Negahban-Azar, 2020).

Estados Unidos es un buen ejemplo de esta realidad, en donde no existe un reglamento general que regule la práctica de reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura, por tanto cada uno de los Estados que conforman este país establecen su propias normativas en torno a esta actividad; de los 48 Estados que conforman este país 28 establecen un marco regulatorio a la reutilización de aguas residuales, 12 definen un marco regulatorio aplicable a la reutilización indirecta, mientras que 8 Estados no tienen ningún tipo de regulación (Shoushtarian y Negahban-Azar, 2020).

Las diferencias en experiencias internacionales en materia de reutilización de aguas residuales tratadas para la agricultura, hace necesario un sondeo que entregue una visión más clara del estado de esta práctica a nivel mundial. Se seleccionaron China, Italia e Israel como países de estudio por su marcada diferencia en georreferenciación, gobernanza nacional y grado de tecnificación; permitiendo una visión integral de este tema en Asia, Europa y Medio Oriente respectivamente.

China. Se caracteriza por la amplitud de climas dentro de su territorio producto de su gran extensión, encontrando climas templados, áridos y subtropicales (Juneja et. al., 2021). Las aguas residuales de este país se han caracterizado por un aumento en la cobertura de tratamiento, pasando de contabilizar 481 plantas de tratamiento de aguas residuales inscritas el año 2000 a 3910 sucursales el 2016. Este crecimiento en el manejo de aguas residuales de China se centró en áreas urbanas, principalmente en ciudades. Sin embargo, grandes secciones de las áreas rurales en China hasta ahora no cuentan con cobertura de tratamiento de aguas residuales generadas. China se compone 2,79 millones de aldeas rurales aproximadamente, la cuales albergan al 57% de su población. Al 2015 Juneja et. al. (2021) estima que un 64% de la población de áreas rurales de China no tiene acceso a servicio de tratamiento de aguas residuales; y es común que en áreas rurales de China se riegue con aguas residuales municipales crudas diluidas, por falta de servicios de tratamiento (Juneja et. al., 2021).

Italia. Posee en un clima mediterráneo caracterizado por la abundancia de recursos hídricos señala Molle et. al. (2019); el alto grado de tecnificación, conectividad e infraestructura hidráulica se cimentan en una gestión del agua enfocada en prevenir la contaminación del recurso hídrico, con un marco político fuertemente influenciado por la Directiva del Agua Europea. La reutilización de aguas residuales municipales tratadas en agricultura se realiza de forma regulada con un marco legislativo que establece altos estándares de calidad de agua para efluentes municipales tratados y un marco institucional descentralizado eficiente en el control y cumplimiento del marco regulatorio (Molle et. al., 2019).

Israel. Se caracteriza por componerse de dos regiones climáticas; las regiones norte y costera de clima mediterráneo y los desiertos de Negev y Judea caracterizados por un clima árido, con precipitaciones muy bajas (Molle et. al., 2019). Israel ha logrado impulsar la agricultura con medidas que reciclaje de aguas residuales a gran escala, convirtiéndose en un líder mundial en esta práctica (Molle et. al., 2019). Los enfoques principales de la política del agua de Israel son mejorar la eficiencia del uso del agua mediante mayor uso de instrumentos económicos y de mercado, fomentar la reutilización de aguas residuales municipales tratadas en actividades productivas, además, de apoyar la investigación, desarrollo, y formación de tecnología (Molle et. al., 2019). La agricultura de Israel depende estrictamente de riego, por lo que su producción agrícola se cimienta en la alta inversión en tecnología de riego, conectividad e infraestructura hidráulica, sustitución de agua dulce por aguas residuales de alta calidad y un cambio a cultivos tolerantes a la salinidad, como el algodón (Molle et. al., 2019).

Los principales parámetros de calidad de agua descritos por las normativas de reutilización de aguas residuales municipales tratadas de los países ejemplo y la principal normativa aplicable de Chile (Tabla N°1 del D.S.90) se resumen dentro del Cuadro 15.

Cuadro 15. Normativas aplicable reutilización de aguas residuales municipales tratadas en riego agrícola de China, Italia, Israel y Chile.

| Paramero de calidad de agua | Unidad | País | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|--------|---------|-------|
| | | China | Italia | Israel | Chile |
| Índice sanitario | | | | | |
| Coliformes fecales | NMP100 mL ⁻¹ | - | - | - | 1000 |
| Coliformes fecales | UFC100 mL ⁻¹ | 20.000-40.000 | 10 | 10 | - |
| DBO5 | mg L ⁻¹ | 40-100 | 20 | 10 | 35 |
| TSS | mg L ⁻¹ | 60- 100 | 10 | 10 | 80 |
| Salinidad | | | | | |
| CE | dS m ⁻¹ | - | 3 | 1,4 | - |
| TDS | mg L ⁻¹ | 2000 | - | - | - |
| Infiltración | | | | | |
| RAS | | - | 10 | 5 | - |
| Iones específicos | | | | | |
| Na ⁺ | mg L ⁻¹ | - | - | 150 | - |
| Cl ⁻ | mg L ⁻¹ | 350 | 250 | 250 | 400 |
| B | mg L ⁻¹ | 1 | 1 | 0,4 | 0,75 |
| N | mg L ⁻¹ | - | - | 25 | 50 |
| NH ₄ ⁺ | mg L ⁻¹ | - | 2 | 20 | - |
| NO ₃ ⁻ | mg L ⁻¹ | - | 15 | - | - |
| P | mg L ⁻¹ | - | - | 5 | 10 |
| PO ₄ ³⁻ | mg L ⁻¹ | - | 2 | - | - |
| Elementos traza | | | | | |
| Al | mg L ⁻¹ | - | 1 | 5 | 5 |
| As | mg L ⁻¹ | 0,05 | 0,02 | 0,1 | 0,5 |
| Be | mg L ⁻¹ | 0,002 | 10 | 0,1 | - |
| Cd | mg L ⁻¹ | 0,01 | 0,005 | 0,01 | 0,01 |
| Co | mg L ⁻¹ | 1 | 0,05 | 0,05 | - |
| Cr | mg L ⁻¹ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Cu | mg L ⁻¹ | 1 | 1 | 0,2 | 1 |
| Fe | mg L ⁻¹ | 1,5 | 2 | 2 | 5 |
| Hg | mg L ⁻¹ | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| Li | mg L ⁻¹ | - | - | 2,5 | - |
| Mn | mg L ⁻¹ | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| Mo | mg L ⁻¹ | 0,5 | - | 0,01 | 1 |
| Ni | mg L ⁻¹ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Pb | mg L ⁻¹ | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Se | mg L ⁻¹ | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| V | mg L ⁻¹ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | - |
| Zn | mg L ⁻¹ | 2 | 0,5 | 2 | 3 |
| pH | | 5,5-8,5 | 6-9,5 | 6,5-8,5 | 6-8,5 |

Fuente: Shoushtarian y Negahban-Azar (2020).

Del análisis general del Cuadro 15 se confirma lo reportado a nivel internacional, en donde normativas establecida por cada país presenta diferencias entre parámetros de calidad de agua exigido.

Los principales parámetros sanitarios de calidad de agua reportados para monitorear el estado sanitario de aguas residuales municipales tratadas a nivel internacional son coliformes fecales, DBO5 y TSS; mostrando grandes diferencias entre límites máximos exigidos por China e Israel. Por su parte Chile reporta el monitoreo de coliformes fecales en unidades de NMP 100mL^{-1} a diferencia del resto de países consultados que monitorean este parámetro en unidades de UFC 100mL^{-1} ; respecto a DBO5 y TSS Chile reporta niveles de exigencia de calidad de aguas residuales municipales tratadas semejantes a la normativa China y más bajas que lo declarado por Israel.

Salinidad. La CE resalta como el principal parámetro de salinidad de agua monitoreado por países experimentados en la reutilización de aguas residuales municipales tratadas Italia e Israel, a diferencia de China que controla niveles de salinidad en efluentes municipales tratados en parámetros de TDS; por último, Chile no reporta el monitoreo de parámetros de calidad de agua respecto a salinidad.

Infiltración. RAS corresponde a un parámetro de calidad de agua considerado en la regulación de países avanzados en reutilización de aguas residuales en agricultura como Italia e Israel; por otra parte, China y Chile no consideran parámetros de infiltración en la calidad de sus aguas residuales municipales tratadas.

Iones específicos. Niveles de Cl^- y B son considerados a modo general por países ejemplo, con China reportando las exigencias más bajas de calidad de agua, Chile también controla estos iones con estándares más bajos de calidad que lo exigido por Israel, además solo este último controla los niveles de Na^+ en agua residuales municipales tratadas dentro de los países evaluados.

Nitrógeno. El control de N y P se reporta en Italia e Israel, en diferentes formas moleculares de monitoreo, países avanzados en reutilización regulada de aguas residuales municipales tratadas en agricultura y con una gestión de agua de enfoque medio ambiental, Chile también considera el control de estos elementos en su normativa; por su parte China no considera el control de ninguno de estos macronutrientes en su normativa.

Elementos traza. Elementos considerados a modo general por los 3 países ejemplo, además de Chile, con diferencias en el total de elementos controlados y concentraciones máximas exigidas por cada normativa.

pH. Parámetro de calidad de agua exigido por todos los países evaluados en sus normativas, con diferentes rangos de exigencia dependiendo de cada país.

4. CONCLUSIONES

La calidad de aguas residuales municipales tratadas no es una característica transversal en todo el mundo, siendo específica de cada país. El marco regulatorio definido por cada Estado para regular actividades de descarga y/o reutilización de efluentes municipales tratados y las exigencias en parámetros de calidad de agua establecidas en él definirá la calidad final de estas aguas.

Los requerimientos de calidad de agua para riego agrícola establecidos por la FAO (1994) se centran en la evaluación de salinidad, infiltración, la concentración de los principales iones disueltos del agua, nitrógeno, otros elementos traza y pH, por su efecto en la producción de cultivos; sin considerar índices sanitarios ni su efecto en la comunidad.

El sistema de tratamiento de aguas residuales municipales en Chile, evaluado en las regiones de Antofagasta, Metropolitana y Bío Bío declara en promedio un total de 86 plantas de tratamiento inscritas entre 2015 a 2020 con una operatividad del 92% dentro de este periodo, donde 73% del total de plantas de tratamiento consultadas declararan descargar sus efluentes tratado a cursos de agua de fluviales concentrándose entre Metropolitana y Bío Bío.

Según la normativa vigente, la calidad final de las aguas residuales municipales tratadas en Chile será definida según el cuerpo de agua receptor de los efluentes, sin considerar el contexto hídrico de cada zona. Respecto a su calidad, efluentes municipales tratados descargados a cuerpos de agua fluviales presentan niveles altamente restrictivos para su reutilización en riego agrícola.

Agricultores de áreas periurbanas usuarios de cursos de agua fluviales ubicados en las zonas centro-sur del país son los principales afectados por la reutilización indirecta de efluentes residuales tratados no aptos para el riego de cultivos.

Por último, el marco regulatorio de reutilización de aguas residuales en Chile se compone por políticas de discreta participación del Estado en la gestión del agua, una legislación que restringe el uso directo de efluentes municipales tratados en agricultura, pero no regula su reutilización indirecta y una marcada segmentación entre los actores institucionales que regulan esta actividad.

5. BIBLIOGRAFÍA

Código de Aguas. 1981. Ministerio de Justicia. Santiago. Chile. N°31102.

Constitución Política de la República. 1980. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago. Chile. N°144698.

Decreto Supremo 90. 2001. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociado a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago. Chile. N°42868.

Ley N°19.300. 1994. Bases generales de medio ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago. Chile. N°42404.

Ley N° 21.075. 2018. Recolección, reutilización y disposición de aguas grises. Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile. N°4952.

Norma Chilena Oficial 410. 1994. Calidad de Agua – Vocabulario. Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile. N°35550.

Norma Chilena Oficial 1333. 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile. N°30107.

Angulo-Jaramillo, R.; Bagarello, V.; Iovino, M. y Lassabatere, L. 2016. Infiltration measurements for soil hydraulic characterization. *Springer International Publishing*. Suiza. 396p.

AQUASTAT. 2015. Country Profiles, Chile. FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Disponible en el WWW: <http://www.fao.org/3/ca0440es/CA0440ES.pdf>. Citado 19 de octubre de 2021.

AQUAEspaña. 2011. Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios. AQUA ESPAÑA. España.

Arce, C. 2017. Consecuencias económicas por uso de aguas duras en el gran Santiago. Memoria Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile. Universidad Técnica Federico Santa María. 107p.

BCN. 1980. [On-line]. Constitución Política de la República. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. N°144698. Disponible en el WWW: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=242302>. Citado 19 de octubre de 2021.

BCN. 1981. [On-line]. Código de Aguas. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Chile. Ministerio de Justicia. N°31102. Disponible en el WWW: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>. Citado 19 de octubre de 2021.

BCN. 1994. [On-line]. Ley N°19.300. Bases generales de medio ambiente. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. N°42404. Disponible en el WWW: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667&idParte=0>. Citado 19 de octubre de 2021.

BCN. 2001. [On-line]. Decreto Supremo 90. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociado a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. N°42868. Disponible en el WWW: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>. Citado el 19 de octubre de 2021.

BCN. 2018. [On-line]. Ley 21.075. Recolección, reutilización y disposición de aguas grises. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Chile. Ministerio de Obras Públicas. N°4952. Disponible en el WWW: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1115066>. Citado 19 de octubre de 2021.

Bruning, M. 2018. Estudio de aporte de carga de nutrientes por fuentes contaminantes y análisis de escenarios de descontaminación mediante un modelo de calidad de aguas en el lago Villarrica Memoria Ingeniero Civil Químico. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 129p.

CADAHIA, C. 2000. Fertirrigación, Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Mundi-Prensa. España. 415p.

CNR. 2018. Manual Intermedio para Dirigentes de Organizaciones de Usuarios de Agua. Comisión Nacional de Riego. Chile. 52p.

DGA. 2016. Atlas del Agua. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 24p.

FAO.1992. [On-line]. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en el WWW: <http://www.fao.org/3/T0551E/t0551e00.htm>. Citado el 19 de octubre de 2021.

FAO. 1994. [On-line]. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en el WWW: <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm#TOC>. Citado el 19 de octubre de 2021.

FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. 314p.

FAO. 2016. Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el caribe. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Chile. 53p.

FAO. 2019. On-farm practices for the safe use of wastewater in urban and peri-urban horticulture -a training handbook for Farmer Field Schools Second edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 54p.

- FCH. 2016. Aguas residuales como nuevas fuentes de agua. Fundación Chile. Chile. 100p.
- FCH. 2018. Fundación Chile. Claves para la gestión de aguas residuales rurales. Fundación Chile. Chile. 96p.
- García, G. y Navarro, G. 2013. Química agrícola, química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Mundi-Prensa. España. 438p.
- Garrido, S. 1996. Prácticas agrarias compatibles con el medio natural, el agua. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. España. 364p.
- Gonzales, M. 2008. Evaluación de la calidad de microbiología de las aguas del río Cruces, desde Loncoche hasta San José de la Mariquina. Memoria Médico Veterinario. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias. 43p.
- INN. 1994. [On-line]. Norma Chilena Oficial 410. Calidad de Agua – Vocabulario. Instituto Nacional de Normalización de Chile. Santiago. Chile. Ministerio de Obras Públicas. N°35550. Disponible en el WWW: <https://ecommerce.inn.cl/nch410199641840>. Citado 19 de octubre de 2021.
- INN. 1987. [On-line]. Norma Chilena Oficial NCh 1333. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización de Chile. Santiago. Chile. Ministerio de Obras Públicas. N°30107. Disponible en el WWW: <https://ecommerce.inn.cl/nch13331978-mod.198741267>. Citado el 19 de octubre de 2021.
- Julian-Soto, F. 2010. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 11(2): 167-177p.
- Juneja, R.; Tal, A.; Huang, J.; Zhou, Y. y Gulati, A. 2021. From Food Scarcity to Surplus, Innovations in Indian, Chinese and Israeli Agriculture. *Springer International Publishing*. Suiza. 430p.
- Manahan, S. 2011. Water Chemistry. Green Science and Technology of Nature's Most Remarkable Resource. *Springer International Publishing*. Estados Unidos de America. 1039p.
- Metcalf y Eddy. 2003. Ingeniería de aguas residuales Volumen1: Tratamiento, Vertido y Utilización. México. McGRAW. España. 505p.
- Molle, F.; Sanchis-Ibor, C. y Avellà-Reus, L. 2019. Irrigation in the Mediterranean, Technologies, Institutions and Policies. *Springer International Publishing*. Suiza. 323p
- MOP. 2020. Mesa Nacional del Agua: primer informe. Ministerio de Obras Públicas. Chile. 29p.
- Nnadozie, C.; Kumari, S. y Bux, F. 2017. Status of pathogens, antibiotic resistance genes and antibiotic residues in wastewater treatment systems. *Environ Sci Biotechnol*. (16): 491–515p.

- Olguín, C. y Ghigliotto, G. 2019. Glosario constituyente abreviado: Guía básica de conceptos y preguntas sobre el cambio constitucional, Universidad de Santiago de Chile. Chile. 27p.
- Reznik, A.; Feinerman, E.; Finkelshtain, I.; Fisher, F.; Huber-Lee, A.; Joyce, B. y Kan, I. 2017. Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. *Ecological Economics*. (135): 222-233p.
- Rojas, W. 2004. Nutrición boratada de los cultivos. Chile. *Tierra Adentro*. N°56. 4p.
- SAG. 2005. [On-line]. Criterio de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego. Servicio Agrícola y Ganadero de Chile. Disponible en el WWW: http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf. Citado el 19 de octubre de 2021.
- Shahid, S.; Abdelfattah, M. y Taha, F. 2013. Developments in soil salinity assessment and reclamation, innovative thinking and use of marginal soil and water resources in irrigated agricultura. *Springer International Publishing*. Inglaterra. 807p.
- Shoushtarian, F. y Negahban-Azar, M. 2020, Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review. *Springer International Publishing*. Estados Unidos de America. 58p.
- Sierra, B.; Cespedes, R. y Osorio. A. 2001. Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del Valle del Rio Copiapó. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 32p.
- SISS. 2021. [On-line]. Tratamiento de Aguas Servidas. Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile. Disponible en el WWW: <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6372.html>. Citado el 19 de octubre de 2021.
- Suh J. 2018. Sustainable Agriculture in the Republic of Korea. *Springer International Publishing*. Sustainable Agriculture Reviews (27): 302p.
- Ugarte, P. 2003. Derecho de Aprovechamiento de Aguas. Análisis Histórico, Extensión y Alcance en la Legislación Vigente. Memoria de Licenciatura Ciencias Jurídicas y Sociales. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Derecho. 171p.
- UN. 2014. Global governance and global rules for development in the post-2015 era. United Nations. 82 p.
- UN. 2016. [On-line]. World Economic and Social Survey 2014/2015: Learning from National Policies Supporting MDG Implementation. United Nations. Disponible en el WWW: <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/world-economic-and-social-survey-20142015-learning-from-national-policies-supporting-mdg-implementation/>. Citado el 19 de octubre de 2021.
- WHO. 2006a. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 1: Policy and regulatory aspects. World Health Organization. Suiza. 114p.

WHO. 2006b. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2: Wastewater use in agriculture. World Health Organization. Suiza. 222p.

WHO. 2006c. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 4: Excreta and Greywater. World Health Organization. Suiza. 182p.

Word Bank. 2013. Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. Chile. 220p.

Xinhui, Z.; Liang, J.; Hongling, TIAN, H. y Yunsheng, Z. 2018. Influence of the rhizosphere soils on essential elements of Ephedra sinica herbaceous stems. *Springer International Publishing*. China. 10p.

Zaman, M.; Shahid, S. y Heng, L. 2018. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques. *Springer International Publishing*. Austria. 164p.

6. ANEXOS

6.1. Unidades y términos

6.1.1. Nombre y abreviación de unidades

DeciSiemens por metro (dS m^{-1}).

Gramos por metro cubico (g m^{-3}).

Metro cubico por año ($\text{m}^3 \text{año}^{-1}$).

Microgramo por litro ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Microhost por centímetro ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$).

Micrometro (μm).

MicroSiemens por centímetro (mS cm^{-1}).

Miliequivalentes por litro (meq L^{-1}).

Miligramos por litro (mg L^{-1}).

Milimol de carga por litro ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$).

Número más probable por cien milímetros ($\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$).

Parte por millón (ppm).

Porcentaje (%).

Pulgadas (in).

Pies (ft).

Unidades formadoras de colonias (UFC L^{-1}).

6.1.2. Equivalencias de unidades

$$\text{mg L}^{-1} = \text{ppm} = \text{g m}^{-3} = 0,001 \mu\text{g L}^{-1}.$$

$$\text{dS m}^{-1} = \text{mS cm}^{-1} = \mu\text{mhos cm}^{-1}.$$

$$\text{mmol}_c \text{L}^{-1} = \text{meq L}^{-1}.$$

$$\mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}.$$

$$\text{in} = 2,54 \text{ cm}.$$

$$\text{ft} = 30,48 \text{ cm}.$$

6.1.3. Transformación de $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ a mg L^{-1}

| $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ | Factor multiplicativo | mg L^{-1} |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Ca^{2+} | 20,04 | Ca^{2+} |
| Mg^{2+} | 12,16 | Mg^{2+} |
| Na^+ | 23,00 | Na^+ |
| K^+ | 39,10 | K^+ |
| NH_4^+ | 18,04 | NH_4^+ |
| NH_4^+ | 14,01 | N |
| Cl^- | 35,46 | Cl^- |
| SO_4^{2-} | 48,03 | SO_4^{2-} |
| SO_4^{2-} | 16,03 | S |
| HCO_3^- | 61,01 | HCO_3^- |
| CO_3^{2-} | 30,00 | CO_3^{2-} |
| NO_3^- | 62,01 | NO_3^- |
| NO_3^- | 14,01 | N |
| B(OH)_4^- | 10,81 | B |
| PO_4^{3-} | 31,66 | PO_4^{3-} |
| PO_4^{3-} | 10,33 | P |

6.1.4. Glosario de términos

Aluminio (Al).

Amonio (NH_4^+).

Arsénico (As).

Azufre (S).

Bario (Ba).

Bicarbonato (HCO_3^-).

Berilio (Be).

Boro (B).

Cadmio (Cd).

Calcio (Ca)

Carbonato (CO_3^{2-}).

Cloruro (Cl).

Cobalto (Co).

Cobre (Cu).

Cromo (Cr).

Estaño (Sn).

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C (DBO5).

Fosforo (P).

Flúor (F).

Hierro (Fe).

Litio (Li).

Magnesio (Mg)

Manganeso (Mn).

Mercurio (Hg).

Molibdeno (Mo).

Níquel (Ni).

Nitrógeno (N).

Nitrato (NO_3^-).

Paladio (Pd).

pH.

Plata (Ag).

Plomo (Pb).

Potasio (K).

Selenio (Se).

Sodio (Na).

Solidos suspendidos totales (TSS).

Solidos disueltos totales (TDS).

Sulfatos (SO_4^{2-}).

Sulfuros (S^{2-}).

Temperatura (T°).

Vanadio (V).

Zinc (Zn).

6.1.5. Definiciones

Acuífero. Formación que contiene agua (lecho o estrato), constituida por rocas permeables, arena o grava, capaz de ceder cantidades significativas de agua.

Afluente natural. Corriente de agua que entra a un río, lago, embalse u otros.

Agua de marea. Cualquier parte del agua de mar o de río, comprendida entre el flujo y reflujos de las mareas de los equinoccios de primavera.

Agua de riego. Agua aplicada a los suelos o a los sustratos de desarrollo de las plantas con el objeto de incrementar su contenido de humedad, proveer el agua necesaria para el desarrollo normal de las plantas y/o prevenir la acumulación excesiva de sales en el suelo.

Agua subterránea. Agua contenida en una formación subterránea y que generalmente puede ser extraída desde o a través de dicha formación.

Agua superficial. agua que se encuentra sobre la superficie del suelo.

Afluente. Entrada de agua a un proceso industrial o de aguas residuales a una planta de tratamiento.

Aguas grises. Aguas residuales provenientes de las tinajas y duchas, lavatorios y lavaplatos, excluyendo las aguas negras.

Aguas grises tratadas. Aguas servidas domésticas, excluyendo aguas negras, que se han sometido a los procesos de tratamiento.

Aguas negras. Aguas residuales provenientes de la población compuestas de excretas humanas.

Aguas residuales. Aguas descargadas después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso.

Aguas residuales industriales. Efluentes generados fuera de áreas urbanas o por procesos industriales

Aguas residuales municipales. Aguas residuales, compuestas por aguas grises y aguas negras.

Alcalinidad. Capacidad de un agua para neutralizar un ácido (iones hidronio). Es la suma de todas sus bases titulables.

Autoridad competente. La designada por las leyes y reglamentos vigentes para estos efectos.

Carga contaminante media diaria. Es el cociente entre la masa o volumen de un contaminante y el número de días en que se descarga el residuo líquido al cuerpo de agua, durante el mes del año en que se genera la máxima producción de dichos residuos. Se expresa en unidades de masa por unidades de tiempo (para sólidos suspendidos, aceites y grasas, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, DBO5, arsénico, aluminio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobre, índice de fenoles, cromo hexavalente, cromo total, estaño, flúor, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, nitrógeno total Kjeldahl, nitrito y nitrato, pentaclorofenol, plomo, SAAM, selenio, sulfatos, sulfuro, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, xileno y zinc), en unidades de volumen por unidad de tiempo (para sólidos sedimentables) o en coliformes por unidad de tiempo (para coliformes fecales o termotolerantes). La masa o volumen de un contaminante corresponde a la suma de las masas o volúmenes diarios descargados durante dicho mes. La masa se determina mediante el producto del volumen de las descargas por su concentración.

Canal. Curso de agua natural o artificial, que contiene agua en movimiento, de forma permanente o periódica, o que enlaza dos masas de agua.

Canal de regadío. Cauce artificial, construido para conducir agua de uso agrícola, que puede recibir excedentes de riego y aguas lluvias.

Cauce, lecho. Depresión natural o artificial del suelo en la cual el agua puede fluir; habitualmente puede ser cubierta por el agua en sus crecidas más frecuentes.

Caudal. Volumen de agua que pasa por una sección transversal en una unidad de tiempo.

Ciclo hidrológico/ciclo del agua. Sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la tierra y en su retorno a la misma, evaporación del agua del suelo, mar y aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y revaloración.

Conductividad eléctrica. Capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica; es utilizada como una medida relativa de la concentración de solutos ionizables (sólidos disueltos) de una muestra de agua.

Contenido natural. Es la concentración de un contaminante en el cuerpo receptor, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico.

Coliformes fecales. Indicador de material fecal procedente de animales de sangre caliente, incluye todos los coliformes que pueden fermentar la lactosa a 43,5 - 45,5°C y con capacidad de crecer en presencia de sales biliares. El grupo de los coliformes fecales comprende las bacterias como *Escherichia coli* o *Klebsiella pneumoniae*.

Compuesto orgánico volátil, COV. Estructura química compuesta con carbón, que se evapora con facilidad hacia la atmósfera a temperatura ambiente.

Cuerpos de agua receptore. Es el curso o volumen de agua natural o artificial, marino o continental superficial, que recibe la descarga de residuos líquidos.

Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y a 20°C, DBO5. cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar o biodegradar la materia orgánica y/o inorgánica contenida en el agua. Indicador biológico de calidad de agua.

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO. Cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar o biodegradar la materia orgánica y/o inorgánica contenida en el agua. Es un proceso biológico y aeróbico.

Demanda química de oxígeno, DQO. Medida del oxígeno, equivalente al contenido de materia orgánica en la muestra, y que es susceptible de ser oxidada por un agente químico fuerte. El agente de oxidación estandarizado es el dicromato de potasio en ambiente fuertemente ácido.

Descargas de residuos líquidos. Es la evacuación o vertimiento de residuos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora.

Dilución. Procedimiento de disponer las aguas servidas de un curso receptor con el propósito de disminuir la concentración de contaminantes.

Efluente. Salida de agua o de aguas residuales desde el lugar que las contiene tal como una planta de tratamiento o un proceso industrial.

Efluente natural. Corriente de agua que sale de un río, lago, embalse u otros.

Elemento traza (analítico). Elemento presente en una concentración igual o inferior microgramos por litro.

Emisario. Tubería o ducto que recibe el agua efluente de toda una red de alcantarillado y la conduce hasta una planta de tratamiento o hasta el punto de descarga final.

Fuente emisora. Establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio.

Fuente no puntual o difusa de contaminación. Fuente de contaminación de aguas superficiales o subterráneas que no proviene de un solo punto sino de una manera extendida, por ejemplo, por lixiviación del suelo.

Fuente puntual de contaminación, contaminación puntual. Contaminación proveniente de un punto único, identificable, por ejemplo, el efluente de una industria.

Infiltración (en el suelo). Introducción (recarga) natural o artificial del agua en el suelo.

Lodos. Acumulación de sólidos sedimentables separados de varios tipos de agua mediante procesos naturales o artificiales.

Lodos activados. Acumulación de masa biológica (flóculos) producida en el tratamiento de aguas, por el desarrollo de bacterias y otros microorganismos en presencia de oxígeno disuelto.

Planta de tratamiento de aguas residuales. Instalaciones y equipamiento destinados al proceso de depuración de éstas, con el objeto de alcanzar los estándares exigidos por la legislación aplicable.

Relación de adsorción del sodio, RAS. relación para aguas de riego, utilizada para expresar la actividad relativa de los iones sodio en las reacciones de intercambio con el suelo.

Residuos líquidos, aguas residuales o efluentes. Son aquellas aguas que se descargan desde una fuente emisora, a un cuerpo receptor.

Reutilización de aguas residuales. La aplicación de aquellas, una vez que se han sometido al tratamiento exigido para el uso autorizado.

Sistema de reutilización de aguas grises. Conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte. Incluye, además, instalaciones para el uso del efluente tratado, el cual debe cumplir con la calidad para el uso previsto definida en la reglamentación.

Sólidos disueltos (análisis). Material residual que queda en una cápsula después de la evaporación y secado de una muestra de agua que previamente ha pasado a través de un filtro con tamaño de poro de 2,0 μm o menor, bajo condiciones especificadas.

Sólidos suspendidos (análisis). Material residual de una muestra de agua, retenido por un filtro de tamaño de poro de 2,0 μm o menor, después de su evaporación y secado, bajo condiciones especificadas.

Sólidos totales (análisis). Material residual que queda en una cápsula después de la evaporación de una muestra de agua y subsiguiente secado, bajo condiciones especificadas. Es la suma de los sólidos suspendidos y sólidos disueltos de la muestra.

Usuario de aguas residuales tratadas. Persona natural o jurídica que utiliza el agua residual tratadas para uso específico.

Zona de Protección Litoral. Es un ámbito territorial de aplicación del D. S. 90 que corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente al a costa continental o insular, delimitada por una línea superficial imaginaria, medida desde la línea de baja marea de sicigia, que se orienta paralela a ésta y que se proyecta hasta el fondo del cuerpo de agua, fijada por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.

7. APÉNDICES

7.1. Institucionalidad del agua en Chile

Ministerio de Obras Públicas, MOP. Es la secretaría de gobierno que está a cargo de planear, estudiar, proyectar, construir, ampliar, reparar, conservar y explotar la infraestructura pública, donde se incluyen obras hidráulicas, y otros elementos utilizados para la GRH. A nivel regional, los ministerios se desconcentran a través de Secretarías Regionales Ministeriales, a cargo de un secretario regional Ministerial, quien es el representante del ministro en la Región y ejerce las funciones de fiscalización y coordinación con los demás organismos públicos presentes en la región y que intervienen en ese sector.

Dirección General de Aguas, DGA. Es el organismo del Estado encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente; y proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas (CPA), con el objetivo de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas. También es responsable de la supervigilancia y policía en cauces naturales de uso público.

Dirección de Obras Hidráulicas, DOH. Tiene como misión el proveer de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas, mediante un equipo de trabajo competente, con eficiencia en el uso de los recursos y la participación de la ciudadanía en las distintas etapas de los proyectos, para contribuir al desarrollo sustentable del país.

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS. Se encarga de la fijación de tarifas por los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas que prestan las empresas sanitarias, el otorgamiento de concesiones de servicios sanitarios, la fiscalización de las empresas sanitarias y la fiscalización de los establecimientos industriales generadores de Residuos Industriales Líquidos (RILES).

Instituto Nacional de Hidráulica, INH. Tiene por objetivo la realización de estudios en modelos reducidos de obras hidráulicas, marítimas y sanitarias, obtener y centralizar datos de funcionamiento de obras útiles para futuros proyectos hidráulicos, además de realizar investigación científica y tecnológica en el campo de escurrimiento de fluidos.

Ministerio de Energía, MINE. El objetivo general es elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector, velar por su cumplimiento y asesorar al GdC en todas aquellas materias relacionadas con la energía, incluyendo materias de generación hidroeléctrica, muy utilizada en el país.

Comisión Nacional de Energía, CNE. Es un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica, ya sea a través de generación termoeléctrica, hidroeléctrica o en sus formas tradicionales.

Ministerio de Agricultura, MINAGRI. Es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país. Tiene por objetivo obtener el aumento de la producción nacional, la conservación, protección y acrecentamiento de los recursos naturales renovables y el mejoramiento de las condiciones de nutrición de la población. Una parte importante de sus tareas implican temáticas hídricas, ya que la agricultura es el mayor usuario de las aguas en el país.

Servicio Agrícola y Ganadero, SAG. Es el organismo oficial del Estado de Chile, encargado de apoyar el desarrollo de la agricultura, los bosques y la ganadería, a través de la protección y mejoramiento de la salud de los animales y vegetales. Dentro de este amplio objetivo, el SAG realiza acciones para conservar y mejorar los recursos naturales renovables, que afectan la producción agrícola, ganadera y forestal, preocupándose de controlar la contaminación de las aguas de riego.

División de Protección de Recursos Naturales Renovables, DIPROREN. División dentro de SAG, dedicada a la conservación y fomento de las especies de flora y fauna silvestre de Chile, que la agricultura se desarrolle en forma amigable con el medio ambiente y produzca alimentos sanos para la salud humana, que administre el Programa de Recuperación de Suelos, además de participar en los procesos de evaluación de proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP. Tiene por objetivo fomentar y apoyar el desarrollo productivo y sustentable de un determinado sector de la agricultura chilena: la pequeña agricultura, conformada por campesinas/os, pequeñas/os productoras/es y sus familias. A través de sus programas y servicios busca promover el desarrollo tecnológico del sector para mejorar su capacidad comercial, empresarial y organizacional, ofreciendo bonos para subsanar problemas frecuentes de origen hídrico a pequeños agricultores.

Comisión Nacional de Riego, CNR. tiene el objetivo de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país, además de la administración de la Ley 18.450 que fomenta las obras privadas de construcción y reparación de obras de riego y drenaje y promueve el desarrollo agrícola de los productores de las áreas beneficiadas.

Corporación Nacional Forestal, CONAF. tiene el objetivo de contribuir a la conservación, incremento manejo y aprovechamiento de los recursos forestales del país. En el último tiempo, CONAF ha impulsado múltiples políticas en torno a la GIRH de las reservas y está muy involucrada en materia de los Caudales Ecológicos Mínimos.

Centro de Información de Recursos Naturales, CIREN. es una institución que proporciona información de recursos naturales renovables, la cual ha logrado reunir la mayor base de datos geo-referenciada de suelos, recursos hídricos, clima, información frutícola y forestal que existe en Chile, además del catastro de la propiedad rural.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU. La misión del Ministerio es contribuir a mejorar la calidad de vida del país, favoreciendo la integración social, reduciendo inequidades y fortaleciendo la participación ciudadana a través de políticas, programas e iniciativas destinadas a asegurar viviendas de mejor calidad, barrios equipados y ciudades integradas social y territorialmente, competitivas y sustentables. En base a ello, vela por los planes de inundaciones y otras materias relativas a la gestión de las aguas lluvias en la ciudad para redes secundarias, ya que las primarias están a cargo de la DOH.

División de Desarrollo Urbano, DDU. tiene por objetivo estudiar y definir las políticas nacionales que orientan el desarrollo urbano y territorial y establecer, a partir de ellas, las normas que rigen el Urbanismo y la Construcción, correspondiéndole además desarrollar los programas de inversiones urbanas del Ministerio, donde se encuentran aquellas relativas al control de aguas lluvias.

Servicio de Vivienda y Urbanismo, SERVIU. son servicios públicos regionalmente descentralizados, que se coordinan con el Presidente de la República a través del MINVU, y junto con la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo buscan materializar regionalmente los planes y programas derivados de la Política Urbano Habitacional del Ministerio, entregando soluciones habitacionales y desarrollando proyectos de calidad, integrados, seguros y sustentables; en los ámbitos de vivienda, barrio y ciudad que permitan a las personas, principalmente en los sectores vulnerables, emergentes y medios, mejorar su calidad de vida, la de sus familias y su entorno.

Dirección Meteorológica de Chile, DMC. Dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil, establecida al alero del Ministerio de Defensa (MINDEF), es el organismo responsable del quehacer meteorológico en el país, cuyo propósito es satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales.

Gobierno Regional, GORE. Organismos autónomos, descentralizados territorialmente, encargado de la administración superior de cada una de las regiones de Chile. Tiene por objetivo el desarrollo social, cultural y económico de la región, y se encarga de promover el estudio y desarrollo de programas de desarrollo regional, incluyendo materias de GRH.

Oficina Nacional de Emergencias, ONEMI. Organismo técnico encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil, dependiente del Ministerio del Interior. Su misión es planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o de aquellos provocados por la acción humana.

Ministerio de Salud, MINSAL. Este Ministerio busca contribuir a elevar el nivel de salud de la población; desarrollar armónicamente los sistemas de salud, centrados en las personas; fortalecer el control de los factores que puedan afectar la salud y reforzar la gestión de la red nacional de atención. Este organismo vela por el respeto a las normas de calidad primaria de las aguas, relacionadas con los niveles aceptados para su consumo por la población.

Instituto de Salud Pública, ISP. Tiene por misión contribuir al cuidado de la salud pública del país, siendo la institución científica técnica del Estado que desarrolla de manera oportuna y con calidad sus funciones de vigilancia y fiscalización, realizando parte de sus funciones en vigilar y fiscalizar tomas de aguas para uso sanitario.

Ministerio de Economía, MINECON. La misión del Ministerio de Economía es promover la modernización y competitividad de la estructura productiva del país, la iniciativa privada y la acción eficiente de los mercados, el desarrollo de la innovación y la consolidación de la inserción internacional de la economía del país a fin de lograr un crecimiento sostenido, sustentable y con equidad. Dentro de estas funciones, el Ministerio vela por los procesos tarifarios derivados de los distintos servicios, donde se encuentran aquellos relacionados a la pesca y al servicio de saneamiento y agua potable.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, SUBPESCA. Tiene por objetivo proponer la política pesquera y de acuicultura nacional y sus formas de aplicación, como también los reglamentos e impartir las instrucciones para la ejecución de la política nacional pesquera y de acuicultura.

Servicio Nacional de Pesca, SERNAPESCA. Tiene por objetivo fiscalizar el cumplimiento de las normas pesqueras y de acuicultura, proveer servicios para facilitar su correcta ejecución y realizar una gestión sanitaria eficaz, a fin de contribuir a la sustentabilidad del sector y a la protección de los recursos hidrobiológicos y su medio ambiente.

Ministerio de Medio Ambiente, MMA. El Ministerio del Medio Ambiente de Chile, es el órgano del Estado encargado de colaborar con el presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

Servicio de Evaluación Ambiental, SEA. Su objetivo es tecnificar y administrar el instrumento de gestión ambiental SEIA. Este último introduce la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país. A través de él se evalúa y certifica que las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales que les son aplicables.

Superintendencia del Medio Ambiente, SMA. Tiene como misión liderar y promover estratégicamente el cumplimiento de los instrumentos de gestión ambiental de su competencia a través de la fiscalización, asistencia al cumplimiento, sanciones disuasivas, y la entrega de información ambiental a la comunidad.

Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN. Organismo descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, que se relaciona con el presidente de la República a través del Ministerio de Minería (MM) y tiene como objetivo asesorar al mismo y contribuir con los programas de gobierno en el desarrollo de políticas mineras y geológicas.

Organismos Autónomos

Ministerio Público, Fiscalía. La misión del Ministerio Público es dirigir en forma exclusiva las investigaciones criminales, ejercer cuando resulte precedente la acción penal pública, instando por resolver adecuada y oportunamente los diversos casos penales, adoptando medidas necesarias para la atención y protección de víctimas o testigos, todo ello a fin de contribuir a la consolidación de un Estado de Derecho, con altos estándares de calidad.

Poder Judicial, PJ. Le está encomendada la facultad de administrar justicia, que está entregada a los Tribunales de Justicia, los cuales, en su conjunto, y con contadas excepciones, conforman el PJ.

Tribunal de Defensa a la Libre Competencia, TDLC. Es un órgano jurisdiccional especial e independiente, sujeto a la superintendencia directiva, correccional y económica de la Corte Suprema, cuya función es prevenir, corregir y sancionar los atentados a la libre competencia.

Tribunales Arbitrales, TA. Son aquellos constituidos por jueces árbitros, es decir, por miembros que no son funcionarios públicos y son remunerados y elegidos por las partes a quienes prestan sus servicios.

Tribunales de Medio Ambiente. Son órganos jurisdiccionales especiales sujetos a la superintendencia directiva, correccional y económica de la Corte Suprema, cuya función es resolver las controversias medioambientales de su competencia, entre otras, las reclamaciones interpuestas contra actos administrativos que establezcan normas primarias o secundarias de calidad ambiental y normas de emisión, o los que declaren zonas del territorio como latentes o saturadas, y los que establezcan planes de prevención o descontaminación.

Corporación Nacional de Desarrollo Indígena, CONADI. Servicio dedicado al desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, especialmente en lo económico, social y cultural y de impulsar su participación en la vida nacional, a través de la coordinación intersectorial, el financiamiento de iniciativas de inversión y la prestación de servicios a usuarios y usuarias. Además, le corresponde facilitar la realización de las consultas a las comunidades de pueblos originarios que se prevén en el Convenio 169 de la OIT en lo que se refiere a las medidas legislativas y administrativas que puedan afectarles.

Consejo de ministros para la Sustentabilidad, CMS. Órgano presidido por el MMA e integrado por otros 10 ministros (de Agricultura, de Hacienda, de Salud, de Economía, de

Energía, de Obras Públicas, de Vivienda y Urbanismo, de Transportes y Telecomunicaciones, de Minería y de Planificación). El CMS propone al Presidente de la República las políticas para el manejo, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales renovables, los criterios de sustentabilidad que deben ser incorporados en la elaboración de las políticas y procesos de planificación de los ministerios, así como en la de sus servicios dependientes y relacionados, la creación de las Áreas Protegidas del Estado, que incluye parques y reservas marinas, así como los santuarios de la naturaleza y de las áreas marinas costeras protegidas de múltiples usos y las políticas sectoriales que deben ser sometidas a evaluación ambiental estratégica.

Contraloría General de la República, CGR. Es un órgano superior de fiscalización de la Administración del Estado, que goza de autonomía funcional frente al Poder Ejecutivo. La labor de la Contraloría es fiscalizadora respecto de los actos ejecutados por los órganos de la Administración del Estado, pues está destinada a cautelar el principio de legalidad mediante el control a priori y a posteriori de las actuaciones de la Administración del Estado, verificando, que dichas actuaciones sean realizadas dentro de su competencia y en la forma que prescriban la CPR y a las leyes.

Conservador de Bienes Raíces (CBR) y Notarios. Son ministros de fe encargados de resguardar y actualizar los registros conservatorios de bienes raíces con el objetivo de mantener la historia de la propiedad inmueble y otorgar una completa publicidad a los gravámenes que pueden afectar a los bienes raíces. Notarios son ministros de fe que garantizan la legalidad de documentos, estando habilitados por las leyes y reglamentos para conferir fe pública de los contratos y actos extrajudiciales, originados en el marco del derecho privado, de naturaleza civil y mercantil, así como para informar y asesorar a los ciudadanos en materia de actas públicas sobre hechos, y especialmente de cuestiones testamentarias y de derecho hereditario.

Municipios. Son organismos administrativos autónomos, territorialmente descentralizados a nivel local, y que realizan una extensa variedad de funciones, algunas atribuidas en forma privativa por la ley, y la gran mayoría en forma compartida con otros organismos administrativos. Entre las funciones privativas, les corresponde elaborar, aprobar y modificar el plan comunal de desarrollo, cuya aplicación deben armonizar con los planes regionales y nacionales. Entre las funciones compartidas, les corresponde desarrollar dentro del territorio comunal funciones asociadas a la protección del medio ambiente, la prevención de riesgos, y prestación de auxilio en situaciones de emergencia o catastróficas

Organizaciones de Usuarios de Agua, OUA

Entidades de carácter privado que, sin embargo, cumplen funciones públicas; sus integrantes tienen un amplio margen de autonomía de voluntad para adoptar en sus estatutos los acuerdos que estimen convenientes, atendido el interés y rol público de ellas. Sus objetivos son distribuir las aguas de acuerdo a los DAA de sus usuarios, construir, mantener, mejorar y administrar los sistemas de distribución y resolver los conflictos que se pueden generar.

Juntas de vigilancia JdV. Tienen por objetivo administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en las fuentes naturales, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común y realizar los demás fines que le encomiende la ley. Podrán también construir nuevas obras relacionadas con su objetivo o mejorar las existentes.

Asociaciones de Canalistas (ASCAN) y Comunidades de Aguas (COMAG). Son organismos cuyo objetivo es repartir la parte de las aguas que le corresponde de una determinada fuente artificial, ya sea canal, acueducto, pozo, u otro, así como conservar y mejorar la infraestructura que administran.

Comunidades de Obras de Drenaje, COD. Organismo formado por usuarios que aprovechan obras de drenaje o desagüe en beneficio común.