



Gobierno  
de Chile

GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y  
PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

# **ASESORÍA EN LA GESTIÓN DE NORMAS DE EMISIÓN Y NUEVA PROPUESTA METODOLÓGICA DE CAUDAL DISPONIBLE A DILUIR**

**INFORME FINAL**

**REALIZADO POR:**

**Jorge Alarcón Rojas**

**S.I.T. N° 523**

**Santiago, Octubre 2022**



## **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

Ministro de Obras Públicas  
Sr. Juan Carlos García Pérez de Arce

Director General de Aguas  
Ing. Sr. Rodrigo Sanhueza Bravo

Jefe Depto. Conservación y Protección Recursos Hídricos  
Ing. Sr. Diego San Miguel

Inspector Fiscal  
Srta. Daniela Fredes

### PROFESIONALES PARTICIPANTES

Jefe de Proyecto  
Ingeniero Civil, Jorge Antonio Alarcón Rojas

Profesionales  
Ingeniero Civil, Sra. Ana María Gangas P.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 ALCANCES Y AREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 GLOSARIO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME.....</b>	<b>9</b>
<b>2. ANTECEDENTES GENERALES .....</b>	<b>10</b>
<b>3. <u>PARTE 1</u>: BASE DE DATOS Y CATASTRO DE RESOLUCIONES DE CAUDAL DE DILUCIÓN Y DE VULNERABILIDAD DE ACUIFEROS</b>	<b>13</b>
<b>3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 RECOPIACION Y REVISION DE ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>15</b>
3.3.1 Fuentes de Información Consultadas .....	15
3.3.2 Coberturas cartográficas .....	19
3.3.3 Reuniones.....	19
<b>3.4 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>20</b>
3.4.1 Generación Base de Datos .....	20
3.4.2 Formato de la Base de Datos.....	20
3.4.3 Información Catastrada o Recabada .....	23
3.4.4 Resoluciones de Caudal disponible para diluir o Caudal de Dilución.....	23
3.4.5 Información para Resoluciones de Vulnerabilidad .....	25
<b>3.5 MAPAS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 HALLAZGOS DEL CATASTRO .....</b>	<b>33</b>
<b>4. PARTE 2: PROPUESTA METODOLÓGICA DE ACTUALIZACIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DILUIR EN EL MARCO DEL DS90/2001.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 NORMATIVA CHILENA.....</b>	<b>35</b>

4.1.1	Criterios aplicados en relación al Caudal Disponible para Diluir .....	39
4.1.2	En relación a vulnerabilidad de acuíferos.....	51
<b>4.2</b>	<b>NORMATIVA EXTRANJERA .....</b>	<b>52</b>
4.2.1	Normativa Europea. ....	53
4.2.2	Normativa en España .....	57
4.2.3	Normativa Canadiense.....	62
4.2.4	Normas Estadounidenses .....	64
4.2.5	Normas Australianas y Neozelandesas .....	68
4.2.6	Normativa en Ecuador. ....	70
4.2.7	Normativa de Perú .....	72
4.2.8	Resumen del Estado del Arte en Normativa Internacional.....	74
4.2.9	Brechas que no son aplicables al caudal de dilución.....	79
<b>4.3</b>	<b>CRITERIOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA METODOLÓGICA.....</b>	<b>82</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES y recomendaciones .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1</b>	<b>EN RELACIÓN AL CATASTRO DE RESOLUCIONES DE CAUDAL DE DILUCIÓN .....</b>	<b>87</b>
<b>5.2</b>	<b>EN RELACIÓN A LA PROPUESTA METODOLÓGICA ACTUALIZADA ...</b>	<b>87</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>

## **INDICE DE ANEXOS.**

ANEXO 1: Bases de Datos de las Resoluciones Q dilución y Vulnerabilidad

ANEXO 2: Resoluciones de Caudal de Dilución y Vulnerabilidad

ANEXO 3: Mapas –Figuras

ANEXO 4: Shapes

APENDICE 1: Propuesta Metodológica caudal de Dilución

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 3.3-1: Resumen de Resoluciones Recabadas en Diferentes Fuentes.....18

Tabla 3.4-1: Descripción de Campos Base de Datos- Q dilución .....21

Tabla 3.4-2: Descripción de Campos Base de Datos- Vulnerabilidad .....22

Tabla 3.4-3: Resumen de Puntos con Caudal de Dilución .....23

Tabla 3.4-4: Resumen de Puntos de Vulnerabilidad de Acuíferos.....25

Tabla 4.2-1: Resumen de Criterios para caudales bajos críticos .....67

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1.2-1: Extensión del Área de Estudio..... 7

Figura 3.3-1: Pantallazos de ejemplo de Plataforma MycroSystem .....16

Figura 3.3-2: Pantallazo de ejemplo de Plataforma MycroSystem.....17

Figura 3.4-1: Gráfica de distribución de Caudales de Dilución por Región.....24

Figura 3.4-2: Gráfica de Evolución temporal de Caudales de Dilución. ....24

Figura 3.4-3: Gráfica de distribución de Vulnerabilidad de Acuíferos, por Región...26

Figura 3.4-4: Gráfica de Evolución temporal de Vulnerabilidad de Acuíferos. ....26

Figura 3.5-1: Mapa de Distribución de Caudales de Dilución Totales en Chile .....28

Figura 3.5-2: Mapa de Resoluciones de Vulnerabilidad en Chile .....29

Figura 3.5-3: Ejemplo Puntos caudal de Dilución - Región de Coquimbo .....30

Figura 3.5-4: Ejemplo Puntos Vulnerabilidad para la Región Metropolitana .....	31
Figura 3.5-5: Ejemplo TIPO de Vulnerabilidad en la Región Metropolitana .....	32
Figura 4.1-1: Cronología administrativa DGA para Determinación del caudal de dilución.....	38
Figura 4.2-1: Esquema de Zona de Mezcla.....	54

## 1. INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (en adelante DGA), dentro de sus funciones cuenta con la atribución de planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento (Art.299 del Código de Aguas). En este sentido la DGA participa de dos normas de emisión de contaminantes estas son: **DS N°90/2000 que "Establece Normas de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las descargas de Residuos Líquidos de Aguas Marinas y Continentales Superficiales"**, mediante la definición del caudal disponibles para diluir del cuerpo receptor; y el **DS N°46/2002 que "Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas"** mediante la definición del concepto de vulnerabilidad de acuíferos, entre otros.

Tanto la determinación del caudal disponible para diluir como la vulnerabilidad de acuíferos, es determinada mediante Resolución Exenta por las Direcciones Regionales de Aguas, de acuerdo con los lineamientos definidos por el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos (en adelante DCPRH) de la DGA.

Desde la dictación de los Decretos Supremos (DS) señalados anteriormente, la DGA ha desarrollado diversas metodologías y técnicas hidrológicas para la determinación tanto del caudal de dilución, como de la vulnerabilidad de los acuíferos, como una manera de buscar la mejor vía para su determinación.

La metodología utilizada para el "cálculo del caudal disponible para diluir" se encuentra vigente desde el año 2013, en Minuta DCPRH N°29/2013. Considerando que, actualmente existe un proceso de actualización de la Norma de emisión del DS N°90/2000, se hace necesario contar con un análisis experto y una nueva propuesta de metodología para la determinación del caudal disponible para diluir.

Con el fin de mejorar la gestión y las actividades que la DGA desarrolla en el ámbito de modernización del Estado, surge el presente proyecto "*Asesoría en la Gestión de Normas de Emisión y Nueva Propuesta Metodológica de Caudal Disponible a Diluir*", que de acuerdo a las bases técnicas, considera por un lado el realizar un catastro de las resoluciones correspondientes a descargas entre cuerpos superficiales y subterráneos, junto con la visualización de mapas en formato Shape (GIS); y por otro lado elaborar una Propuesta Metodológica de actualización del Caudal Disponible para Diluir, en el marco del DS N°90/2000.

Este documento corresponde al **Informe Final del proyecto**, y dado los dos objetivos antes propuestos, es que la estructura del mismo se presenta separada en dos partes atendiendo a cada uno de ellos respectivamente. En **Apéndice 1**, se presenta la **Propuesta Metodológica para Caudal de Dilución**.

## 1.1 OBJETIVOS

El presente proyecto tiene dos objetivos principales, los cuales son:

1. Sistematizar y generar una base de datos y *shapes* de las Resoluciones de la DGA para determinar el "caudal disponible para diluir" y la "vulnerabilidad de acuíferos".
2. Elaborar una propuesta metodológica de actualización del caudal disponible para diluir en el marco del DS N°90/2000.

Para el logro de los **objetivo N°1**, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar, analizar y sistematizar toda la información asociada a las Resoluciones de Caudal disponible para diluir y de las Resoluciones de Vulnerabilidad de Acuíferos.
- Diagnosticar la situación actual de la información contenida en las Resoluciones.
- Diagnosticar y levantar hallazgos respecto a las Resoluciones que están en el CPA o en los diferentes sistemas de información de la DGA.

Para el logro de los **objetivo N°2**, propuesta metodológica se tienen los siguientes objetivos específicos:

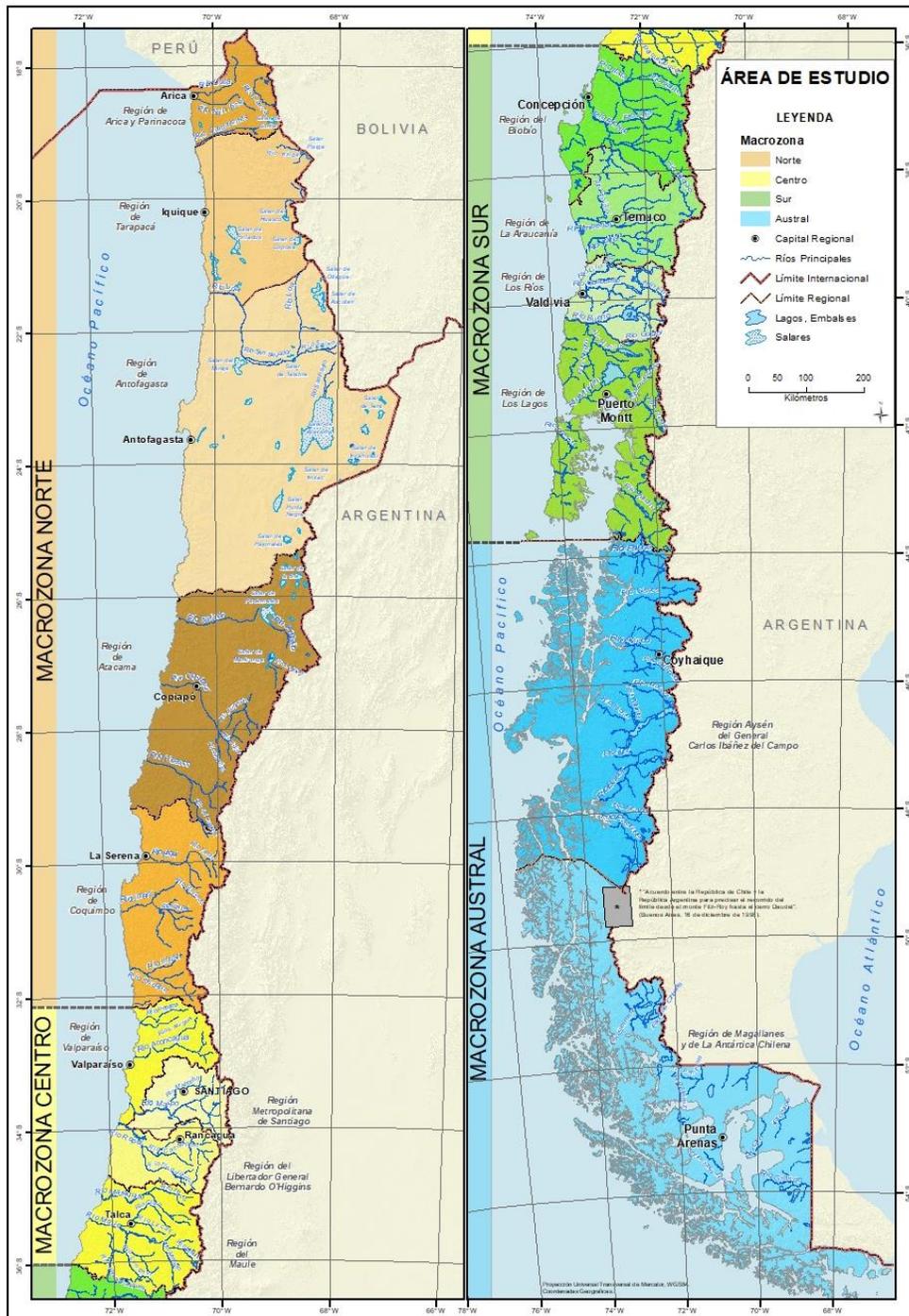
- Revisar y analizar Normativa extranjera que diga relación con determinación de caudal de dilución, o caudal crítico mínimo;
- Elaborar una propuesta metodológica para la determinación del caudal a diluir que permita a la DGA tener mayor claridad de los pasos a seguir con criterios actualizados;
- Formular recomendaciones en la determinación del caudal de dilución.

## 1.2 ALCANCES Y AREA DE ESTUDIO

Dentro de los alcances se puede mencionar que el período temporal que se considera para este estudio son todas las resoluciones que se han dictado por parte de la DGA, es decir, las históricas, que abarca desde aproximadamente **desde el año 2000** para las Resoluciones que establecen el caudal disponible para diluir y desde el año 2002 para las resoluciones que determinan la vulnerabilidad de acuíferos, ambas hasta diciembre de 2021.

El área de estudio de este proyecto y de esta etapa involucra todo el espacio territorial de Chile, y por ende todas las Resoluciones de Caudal de Dilución y de Vulnerabilidad que se hayan dictado en cada una de las regiones que componen el País.

**Figura 1.2-1: Extensión del Área de Estudio**



Fuente: Basado en Fuente Cartográfica Atlas del Agua 2016. DGA.

### 1.3 GLOSARIO

A lo largo del presente Informe y proyecto, se utilizan una serie de términos que tienen una definición específica en relación a los expedientes de Resoluciones de Caudal Disponible para Diluir y Resoluciones de Vulnerabilidad de Acuíferos. Con el objetivo de facilitar el entendimiento de lo planteado en este informe, sin perjuicio de que en el numeral 3.4.2 se describe la Base de Datos generada, se considera necesario incorporar un glosario, que indica lo que se debe entender para algunos términos más recurrentes en esta etapa del proyecto:

<b>CPA:</b>	Catastro Público de Aguas, de la Dirección General de Aguas
<b>DTI:</b>	Departamento de Tecnología de Información
<b>Expediente VV:</b>	Expediente definido como " <b>Varios</b> en general", según el Manual de Normas y Procedimientos del Depto. De Administración de Recursos Hídricos (DARH). Es decir, todas aquellas materias que no poseen un código en específico, como por ejemplo: Reclamos, Consultas, Amparos de Agua, Solicitudes diversas sin clasificar, etc.
<b>DPA</b>	División Político Administrativa
<b>SHAC</b>	Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común. Corresponde a una división administrativa utilizada por la DGA para el análisis y estudios de disponibilidad del recurso hídrico.
<b>CD o CDD</b>	Identificación dada en algunas regiones para las resoluciones de caudal disponible para diluir o Caudal de dilución
<b>QD</b>	Identificación dada en la región de Los Lagos para expedientes de caudal disponible para diluir o caudal de dilución.
<b>VA</b>	Identificación dada en la región de Los Lagos para expedientes de Vulnerabilidad de Acuíferos.

## 1.4 ESTRUCTURA DEL INFORME

Tal como fue mencionado, este documento corresponde al Informe Final del proyecto, y su estructura del mismo obedece a los objetivos de éste que son dos:

1. Sistematizar y generar una base de datos y *shapes* de las Resoluciones de la DGA para determinar el "caudal disponible para diluir" y la "vulnerabilidad de acuíferos".
2. Elaborar una propuesta metodológica de actualización del caudal disponible para diluir en el marco del DS N°90/2000.

Es por lo anterior, que el informe se ha dividido en dos partes: la primera de ellas enfocado en presentar la metodología y resultados de la base de datos y catastro de las resoluciones de la DGA para el caudal de dilución y vulnerabilidad de acuíferos; y una segunda parte con todos los antecedentes que se tuvieron a la vista para la búsqueda de criterios y finalmente en la propuesta de actualización del caudal disponible para diluir en el marco del DS90/2000.

Junto con lo anterior, en **Apéndice 1**, se presenta de manera independiente la Propuesta Metodológica para Caudal de Dilución, de manera tal que la DGA pueda considerar en elaborar un documento propio y/o complementarlo.

Antes de comenzar, en el Capítulo 2, se presentan resumidamente los antecedentes normativos generales que rigen tanto el DS90/2000 como el DS46/2002 de manera de contextualizar la temática en la determinación del caudal de dilución y de vulnerabilidad, y las actividades desarrolladas.

El Capítulo 3, corresponde a la Parte 1, presenta la metodología o pasos que se realizaron para poder obtener el catastro total y final de las Resoluciones de caudal disponible para Diluir y de las Resoluciones de Vulnerabilidad de Acuíferos. Se describe toda la información de base que fue consultada y todos los resultados obtenidos en la sistematización e información compilada en la base de datos, de manera gráfica y tabular. Dentro del mismo capítulo se presentan los mapas finales que pueden ser visualizados de los Shapes entregados. Se presentan también los principales hallazgos que son relevantes de mencionar y junto con ello, las recomendaciones y conclusiones de la Etapa.

El Capítulo 4, contiene la Parte 2 con la Propuesta metodológica y descripción de toda la revisión bibliográfica nacional e internacional. Junto con ello, se identifican las brechas para finalizar con la descripción de los criterios nuevos considerados en la propuesta de metodología de caudal de dilución.

En Capítulo 5, se finaliza con las conclusiones y recomendaciones de cada una de las Etapas.

## 2. ANTECEDENTES GENERALES

La normativa que regula las descargas a las aguas superficiales continentales de Chile, corresponde al **Decreto Supremo 90 promulgado en el año 2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia "NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES"** (en adelante **DS90/2001**)[Ref.10], que tiene como objetivo de protección ambiental el prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores.

En relación con la aplicación de esta normativa, la DGA debe pronunciarse respecto de: (1) la determinación del caudal disponible del cuerpo receptor, y (2) la determinación del contenido natural.

El concepto de caudal disponible del cuerpo receptor o también llamado "caudal de dilución" está contenido en el artículo primero, punto 3.12 donde se señala la: "*Tasa de dilución del efluente vertido*" (como la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades) y se especifica que el "**caudal disponible del cuerpo receptor**" es la cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo para determinar la capacidad de dilución de un cuerpo receptor.

Este último, "caudal disponible del cuerpo receptor" es el denominado **caudal de dilución y es el que le corresponde a la DGA su determinación**. La "Tasa de dilución" del efluente vertido es determinada por, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para las empresas sanitarias concesionadas; y por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) para la descarga de Riles.

Cualquier usuario interesado en conocer la capacidad de dilución de algún cauce del país, debe solicitar formalmente dicha información a la Dirección Regional de Aguas, señalando mediante coordenadas UTM el punto específico del cauce en donde se efectuará la descarga, emitiendo la **DGA una Resolución indicando el caudal de dilución disponible, después de evaluar las componentes que afectan el recurso en la zona**. [Ref.6]

De esta manera, el caudal disponible para diluir en un punto identificado con coordenadas UTM e informado mediante resolución por la respectiva Dirección Regional de Aguas, estará disponible tanto para el solicitante que dio origen al análisis, como para cualquier otro solicitante futuro que desee descargar un efluente en el mismo punto.

Un punto importante a considerar es que, la DGA no tiene jurisdicción sobre los cauces artificiales, esto es canales y/o acequias, en donde la distribución y uso de las aguas es de los particulares y/o sus organizaciones de canalistas, por lo que no corresponde en esos casos establecer caudal disponible para diluir.

A partir del DS90/2001, la DGA a través del tiempo ha elaborado Minutas e Informes Técnicos que dan cuenta de los criterios establecidos para la determinación de caudal de dilución. Dichos documentos se resumen y presentan como antecedentes en la Parte 2 de este informe, pero a lo que atiene la Parte 1 de este Informe, es al Catastro o levantamiento de todas aquellas Resoluciones que la DGA ha emitido a lo largo del tiempo con la determinación de Caudal disponible para diluir.

En relación con las **Resoluciones de Vulnerabilidad de Acuíferos**, la normativa que regula las descargas de residuos líquidos a las aguas subterráneas de Chile corresponde "**NORMA DE EMISIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUBTERRÁNEAS**", **DS MINSEGPRES N°46/2002, en adelante DS N°46/2002** [Ref.11], vigente desde el año 2002, que tiene como objetivo el "*de protección prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero*". A través de esta Normativa, se determinan las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del subsuelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo.

En relación con la aplicación del DS46/2002, la DGA debe pronunciarse respecto de 2 cosas: de la vulnerabilidad del acuífero y del contenido natural del cuerpo receptor. Para esos efectos podrá solicitar los antecedentes que estime conveniente al responsable de la fuente emisora.

En relación al contenido natural del cuerpos receptor, de manera informativa y adicional a los alcances del presente proyecto, se puede mencionar que la definición del contenido natural está dada también por el DS N°46/2002, en su artículo 4, a saber: "*Es la concentración o valor de un elemento en la zona saturada del acuífero en el lugar donde se produce la descarga de la fuente emisora, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico*". La DGA ha desarrollado una metodología para determinar el contenido natural de acuíferos, la cual se encuentra contenida en la Minuta DCPRH-DGA N°27/2012.[Ref.12].

Cada Dirección Regional de Aguas, debe visar el informe técnico presentado por el titular del proyecto o peticionario y dictar la Resolución Exenta en la cual establece el contenido natural del acuífero para los elementos que se indican en la Tabla N°1 del DS N°46/2002. Una copia de dicha Resolución es remitida al titular o peticionario(a) y otra a la SISS.

La metodología para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos se encuentra desarrollada y contenida en el "**Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas**

**subterráneas DS N° 46/2002 (SDT N°170)", aprobado por Resolución DGA N°599/2004 [Ref.13].**

Los titulares de los proyectos que infiltren (a saber, fuentes existentes) o requieran infiltrar (a saber, fuentes nuevas) y que sean considerados fuentes emisoras de acuerdo al DS N°46/2002, deben presentar un informe con la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos de acuerdo a ese Manual. **Cada Dirección Regional debe visar el informe técnico presentado por el titular del proyecto y dictar la Resolución Exenta en la cual establece la vulnerabilidad del acuífero**, con copia a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

En la Parte 1 siguiente de este informe, se considera catastrar todas aquellas Resoluciones Exentas que han sido emitidas por la DGA, que han determinado caudal de dilución y que han establecido Vulnerabilidad del acuífero. Junto con lo anterior, se presenta la explicación de la metodología utilizada y sistematización lograda.

### **3. PARTE 1: BASE DE DATOS Y CATASTRO DE RESOLUCIONES DE CAUDAL DE DILUCIÓN Y DE VULNERABILIDAD DE ACUIFEROS**

#### **3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El desarrollo de este primer informe, tiene principalmente etapas de recopilación de la información y catastro de las resoluciones, sistematización de todo lo levantado para finalmente elaborar por un lado una **Base de Datos** y por otro lado los **shapes respectivos, tanto de las resoluciones de caudal de dilución como de vulnerabilidad** de acuífero que permita generar una cartografía y mapas en SIG (Sistema de Información Geográfica).

A continuación se describen brevemente cada una de las actividades desarrolladas como parte de la metodología de esta primera etapa del proyecto, informe de avance N°1.

#### **a) Recopilación y Revisión de Antecedentes.**

En primer lugar se realizó la búsqueda de la información que permite la identificación y sistematización de las resoluciones que establecen caudales disponibles para diluir, así como aquellas que establecen la vulnerabilidad de acuíferos.

Los antecedentes que se deben recopilar y revisar corresponden básicamente a aquellos que permitan la identificación de las resoluciones a sistematizar, así como aquellos que permitan la completitud de los campos a definir en base de datos, a modo de ejemplo, información que permita la georreferenciación del punto de descarga que se encuentre definido con referencias a puntos conocidos.

Entre los antecedentes revisados se pueden señalar principalmente la información contenida en el subsistema de expedientes del Catastro Público de Aguas (CPA) y la que fue posible recabar a través del Sistema Digital Plataforma implementada por Microsystem como reservorio de las resoluciones digitalizadas hasta el año 2013 para la DGA. De igual forma las resoluciones dictadas desde el año 2014 hasta diciembre del 2021, fueron recopiladas en base a la información entregada por las direcciones regionales de la DGA.

#### **b) Sistematización de la información y generación de la base de datos**

Posterior a recabar toda la información, se hace el cruce de los archivos entre las diferentes fuentes de información, de manera de asegurar que no habrá información de Resoluciones repetidas. Para ello, se consideró trabajo principalmente en planilla Excel, definiendo los campos correspondientes para cada Resolución, relleno de los mismos y revisión principalmente de las resoluciones recopiladas.

En este punto se uniforman los puntos de descarga en coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19.

Para aquellas resoluciones que el punto de descarga este definido con referencias, se replantea su ubicación en la medida que la referencia lo permita, o que de la información del expediente sea factible replantearlo. Finalmente se obtiene la base de datos en excel, y los campos a considerar.

### **c) Levantamiento de Brechas, errores o datos faltantes en las RES Compiladas.**

Del análisis realizado en la etapa anterior se determinarán las brechas y/o errores para cada una de las Resoluciones Sistematizadas, entregando un resumen de estos. Parte de los hallazgos mas relevantes se entregan en el capítulo de Hallazgos de este informe.

### **d) Generación de SHAPES.**

Una vez que se cuenta con la planilla (base de datos) uniformada y con los campos completados, se generan dos coberturas de información (Shapes), uno para los caudales de dilución y otro para la vulnerabilidad de acuíferos.

Los campos que contendrán los shape son los definidos junto con la inspección fiscal.

Lo Shapes se generan por puntos de caudal de dilución o puntos de vulnerabilidad, ya que algunas resoluciones contenían mas de un punto de dilución y/o de vulnerabilidad.

### **e) Reuniones.**

También se consideran las reuniones como parte importante de este trabajo, la que permite dilucidar dudas y acordar criterios para la corrección y llenado de la base de datos.

En la primera etapa, que es el objetivo del presente informe, se consideran reuniones principalmente con el Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos (DCPRH). Para las etapas posteriores, se contemplan reuniones con las Direcciones Regionales, en caso de ser necesario, a fin de poder incorporar la mirada regional, como la obtención de información relativa a las materias relacionadas con la asesoría, a modo de ejemplo, descargas operativas y procesos de fiscalización relacionados con caudales de dilución o vulnerabilidad de acuíferos.

En el período de trabajo hasta el presente informe, se sostuvieron dos reuniones de trabajo.

## 3.2 RECOPIACION Y REVISION DE ANTECEDENTES

En este Capítulo se describe el proceso de levantamiento de información, indicando las actividades realizadas que permite la identificación y sistematización final de las resoluciones que establecen caudales disponibles para diluir (y puntos asociados a las descargas), así como aquellas que establecen la vulnerabilidad de acuíferos. Así también se presenta una reseña de los antecedentes legales-administrativos, que se lograron recabar.

Como antecedentes legales-administrativos se deben entender todas aquellas Resoluciones de caudales disponibles para diluir o de vulnerabilidad de acuífero, antecedentes que están disponibles en la Dirección General de Aguas en las diferentes fuentes de información.

Los antecedentes que se recopilan y revisan corresponden a aquellos que permiten la identificación de las resoluciones a sistematizar, así como aquellos que permiten la completitud de los campos definidos con la inspección fiscal. A modo de ejemplo, se puede indicar la información que permita la georreferenciación del punto de descarga que se encuentre definido con referencias a puntos conocidos.

A continuación se describe cada uno de los pasos o actividades que se llevaron a cabo para la obtención de los puntos y resoluciones antes indicadas.

## 3.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

### 3.3.1 Fuentes de Información Consultadas

Dentro de las fuentes de Información consultadas se pueden señalar:

- Desde subsistema de expedientes del **Catastro Público de Aguas (CPA)**.

Para la obtención del universo estimado de Resoluciones que se deben sistematizar, el Departamento de Tecnología de Información (DTI), realizó consultas al Sistema sobre el universo de **expedientes tipo VV**, que contienen en los campos "Descripción de la Fiscalización, Expediente Antigo y Observación", alguna de las siguientes palabras o parte de palabras clave para la búsqueda:

- "Dilu".
- "Vulner".
- "Diluir".
- "Establece".

De estas consultas realizadas al sistema se obtuvo un listado de **527 expedientes del tipo VV (tipo "varios")** ingresados a trámite en la DGA, que contenían alguna de las palabras señaladas anteriormente.

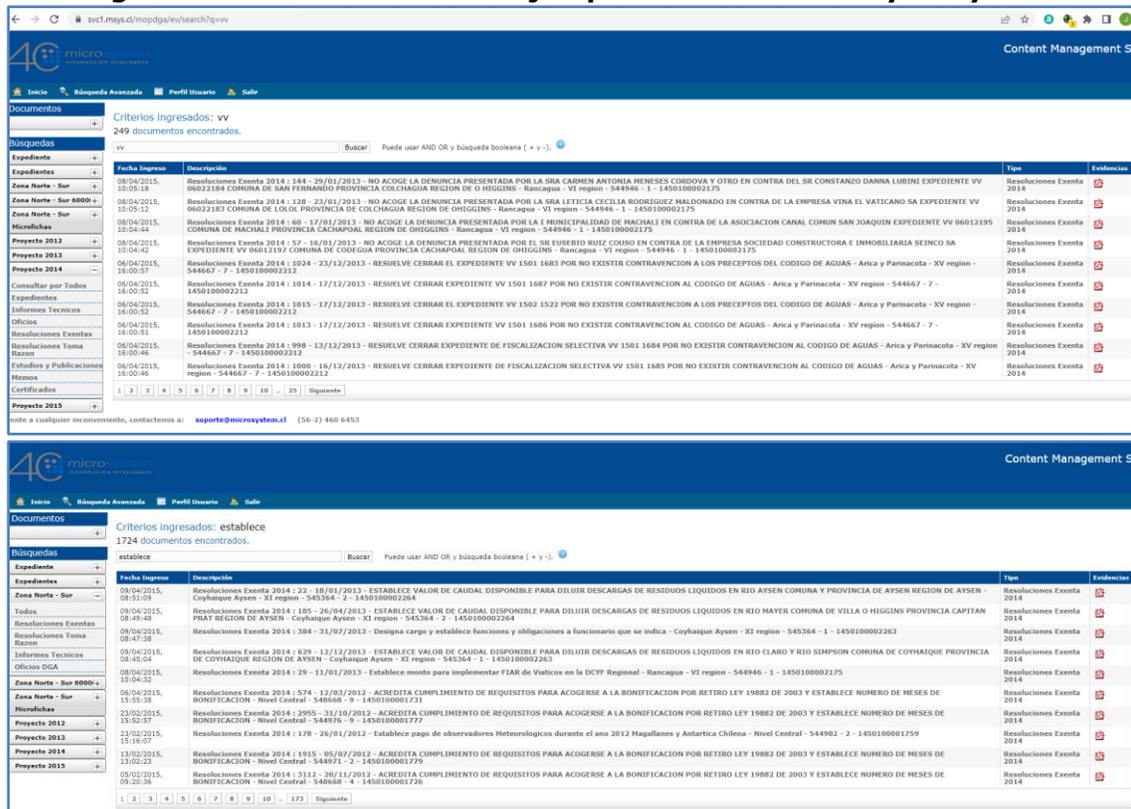
De estos 527 expedientes, según la información del campo "Situación Actual", 321 se encontraban con una resolución dictada. En este sentido se consideraron todos aquellos expedientes que se encontraban: aprobados, denegados, desistidos, o con recurso de reconsideración.

- **Plataforma MicroSystem.**

La Plataforma MicroSystem, es un Sistema de dominio DGA, usado para concentrar las digitalizaciones de diferentes documentos emitidos o resueltos por la DGA, a través del tiempo. En dicha plataforma están, en formato "pdf", las resoluciones, expedientes, informes técnicos, etc. hasta el año 2014. En el caso específico de las resoluciones de caudal de dilución o vulnerabilidad de acuíferos están sólo hasta el año 2013.

El sistema funciona, por búsquedas avanzadas, en la cual como se aprecia en las siguientes imágenes, se ingresa una palabra o parte de ésta y el sistema busca dentro de la información ingresada al momento de identificar el archivo, las concordancias de sus registros con la palabra buscada.

**Figura 3.3-1: Pantallazos de ejemplo de Plataforma MycroSystem**



Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia, de las imágenes anteriores, el número de resoluciones identificadas tiene directa relación con la palabra ingresada, en el primer caso al buscar las resoluciones que tiene dentro de la identificación de su ingreso las siglas "VV", arroja un número de 250 resoluciones; y por otra parte buscando la palabra "establece" el número de resoluciones aumenta a 1730.

Para obtener la mayor cantidad de resoluciones se utilizaron las mismas palabras o partes de palabras utilizadas por la DTI y del universo que se desplegaba se revisaron una a una los registros para determinar si correspondían a resoluciones relativas a caudal de dilución o vulnerabilidad de acuífero.

Todas las resoluciones obtenidas se descargaron y se renombraron los archivos correspondientes con la nomenclatura del expediente administrativo al que correspondían si se indicaba en la resolución, en caso contrario, con el número de resolución, año y región correspondiente.

Posteriormente, se cruzó la información de las resoluciones considerando el número de expediente y/o el número y año de la resolución con el listado entregado por la DTI.

Aquellos expedientes que no fue posible encontrar de la forma señalada anteriormente, se procedió a buscar por el número de resolución y año como se aprecia en la Figura 4.1-2.

De ambas formas de búsqueda se logró recopilar un total de **453 resoluciones correspondientes a Caudal de Dilución y 88 Resoluciones correspondientes a Vulnerabilidad de acuífero.**

**Figura 3.3-2: Pantallazo de ejemplo de Plataforma MycroSystem**

Fecha Ingreso	Descripción	Tipo	Evidencia
19/02/2012, 19:26:25	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - METROPOLITANA (SANTIAGO) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030505 - METROPOLITANA (SANTIAGO) - Aproveche al Sr. Luis Videla, para que presente proyecto de restitución del cauce de la quebrada Mal Paso for el interior de la parcela N° 67 del proyecto de parcelación Aguila Sur, comuna de Paine, provincia de Maipo, región Metropolitana. - 100010000580	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
01/02/2012, 00:16:44	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - METROPOLITANA (SANTIAGO) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030505 - METROPOLITANA (SANTIAGO) - Aproveche al Sr. Luis Videla, para que presente proyecto de restitución del cauce de la quebrada Mal Paso for el interior de la parcela N° 67 del proyecto de parcelación Aguila Sur, comuna de Paine, provincia de Maipo, región Metropolitana. - 100010000580	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
02/02/2012, 06:34:50	Resoluciones Exentas NS - NORTE - Dirección General de Aguas - ATACAMA (COPIAPO) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20031219 - ATACAMA (COPIAPO) - Feriado legal - 1000100006716	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
18/02/2012, 19:47:27	Resoluciones Exentas NS - NORTE - Dirección General de Aguas - LIB BDO O HIGGINS (RANCAGUA) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20031110 - LIB BDO O HIGGINS (RANCAGUA) - Autoriza reparación y cancelación que indica. - 1000100006681	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
13/02/2012, 17:09:37	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA - OFICINA DE PARTES - 359 - 20031104 - MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA - Comedido funcional Mauricio Yañez Nancante. - 1000100006477	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
25/01/2012, 17:39:40	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - LOS LAGOS - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030530 - LOS LAGOS - Deniega solicitud de derecho de aprovechamiento consultivo de aguas superficiales y corrientes, presentada por Sara Juliana Hansquel Troy Troy, provincia de Valdivia, La. Sigüin. - 1000100006359	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
25/01/2012, 11:49:31	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - ARAUCANIA - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030702 - ARAUCANIA - Permiso con goce de remuneraciones Maria Eloisa Castro Flores - 100010000440	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
23/11/2012, 23:17:19	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030804 - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - Comedido funcional Victor Romero Romero - 1000100006420	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
23/01/2012, 19:34:38	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - OFICINA DE PARTES - 359 - 20030909 - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - Establece valor de Caudal de Dilución para descarga de residuos líquidos en el río Bio Bio, en el punto que se indica, comuna de Quilque, provincia de Bio Bio, VIII Región del Bio Bio. - 1000100006102	Resoluciones Exentas NS	[Icon]
01/02/2012, 0:02:15	Resoluciones Exentas NS - SUR - Dirección General de Aguas - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - UNIDAD ADMINISTRATIVA - 359 - 20031008 - BIOBIO (BIOBIO-CONCEPCION) - Comedido funcional Mauricio Ortiz Lavera - 1000100004465	Resoluciones Exentas NS	[Icon]

Fuente: Elaboración propia.

Se debe indicar que existieron algunas resoluciones que aparecen en el listado de la DTI, que no se encontraron en la digitalización del sistema, así como, también se encontraron un número no menor de resoluciones digitalizadas que no aparecen en el listado de la DTI.

- DCPRH- DGA (Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos)

El DCPRH, mediante la inspección Fiscal del proyecto entregó un número de **117 resoluciones** digitalizadas tanto de caudal de dilución como de Vulnerabilidad de acuífero.

Estos archivos fueron renombrados, al igual que en el punto anterior, considerando el expediente administrativo si éste se indicaba en la resolución, en caso contrario, se renombra con el N°, año y región de la resolución correspondiente.

- Direcciones Regionales – DGA.

Mediante solicitud por parte de la inspección fiscal a los directores regionales, se requirió todas aquellas resoluciones dictadas por sus respectivas regiones, en materias de caudal de dilución y/o vulnerabilidad de acuíferos, entre los años 2014 a 2021.

Las direcciones regionales han reportado un total de **126 Resoluciones**, para ambos tipos.

Estos archivos fueron renombrados al igual que en los puntos anteriores, considerando el expediente administrativo si éste se indicaba en la resolución, en caso contrario, se renombró con el N°, año y región de la resolución correspondiente.

- Desde la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Dentro de las fuentes de Información, se pueden señalar las de origen desde la SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), y desde el Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Sin embargo, estas resoluciones no suman al catastro, sólo se utilizan para la completitud de la información de los campos de la Base de Datos.

A partir de toda la información recabada, ordenada, revisada y **no duplicada, se tiene en resumen un total de 547 Resoluciones de Caudales disponibles para diluir y 139 de Vulnerabilidad de acuíferos**, las fuentes de dicha información con el número bruto de Resoluciones recabadas se identifican en la Tabla 3.1-1 siguiente.

**Tabla 3.3-1: Resumen de Resoluciones Recabadas en Diferentes Fuentes**

Fuente	Total
Plataforma MicroSystem	541
DCPRH	117
DGA Regionales	126

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.2 Coberturas cartográficas**

Como información base para la elaboración de los Shapes, se ha utilizado un conjunto de coberturas correspondientes a la Mapoteca de la Dirección General de Aguas, principalmente las coberturas correspondientes a las cuencas BNA; Subcuencas BNA; Subsubcuencas BNA; DPA (División Político Administrativa) y Sectores Acuíferos SHAC, con el objetivo de complementar los campos que contendrá cada uno de los shapes a elaborar.

### **3.3.3 Reuniones**

Una de las actividades realizadas durante el desarrollo de la etapa fue la realización de reuniones de inicio y de avance. Éstas se sostuvieron con la DGA Nivel Central, con profesionales del Depto. de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, con el objetivo de ir avanzando en la línea de lo esperado por la DGA.

El objetivo de las reuniones fue, en general, presentar avances y dudas respecto de los criterios a adoptar para la sistematización de las planillas o Base de datos. Se contacto telefónicamente a las regiones de La Araucanía y Ñuble, con relación a consultas específicas relacionadas con la determinación de los caudales disponibles para diluir en un par de cauces.

### **3.4 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La sistematización de la información tiene por objetivo generar las bases de datos que permita establecer un catastro de todas las resoluciones que la DGA ha dictado en relación a la determinación de caudal disponible para Diluir, como de Vulnerabilidad de Acuíferos. Del mismo modo, esta base de datos servirá de base para la elaboración de los Shapes correspondientes, los cuales permiten visualizar la distribución espacial, así como una primera aproximación de la disponibilidad de caudal para diluir en un determinado cauce o la concentración de las descargas en el mismo, la vulnerabilidad de un determinado sector de un SHAC, etc.

Se aborda la sistematización de la información con el fin de: (a) identificar el tipo de información disponible y el formato de ella; (b) identificar los datos existentes y los faltantes; y (c) generar las bases de datos para ser utilizadas en la elaboración de los shapes correspondientes.

Como primer paso, se define la estructura que tendrá la base de datos matriz, la cual contiene tanto datos técnicos, como administrativos y legales.

#### **3.4.1 Generación Base de Datos**

Dentro de la información disponible a la fecha y como parte del levantamiento de la información básica, se presenta como archivo digital en **Anexo 1, con las (2) Planillas o Bases de Datos de las** Resoluciones recopiladas durante el desarrollo de esta etapa del proyecto, una para Caudal de Dilución y Otra para Vulnerabilidad.

En el **Anexo 2**, se encuentran en formato pdf identificado **cada archivo con el respectivo expediente o Resolución, con su número, año** y región correspondiente.

#### **3.4.2 Formato de la Base de Datos**

La planilla excel se generó inicialmente considerando la estructura de la base de datos del Catastro Público de Aguas de la DGA relativo a los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos en el Servicio, de esta forma, tomando esta base de datos como referencia se establecieron los siguientes grupos de información:

1. Información Administrativa.
2. Información ubicación Descargas.
3. Caudal Disponible Para Diluir o Vulnerabilidad de Acuífero.
4. Información SMA -SISS.

Considerando cada uno de estos grupos como base y la información contenida en las Resoluciones Exentas, que establecen tanto caudal de dilución como vulnerabilidad de acuíferos, se determinaron una cantidad de campos correspondientes a cada uno de estos grupos.

Una manera ilustrativa de mostrar toda la información de los campos que han sido considerados para las bases de datos, se presenta en la Tabla siguiente una descripción de cada uno de los campos de las bases de datos, de manera traspuesta o vertical, junto con la descripción o definición de cada uno de ellos.

**Tabla 3.4-1: Descripción de Campos Base de Datos- Q dilución**

Tipo de información		Campo	Descripción o Definición
INFORMACIÓN ADMINISTRATIVA		ID	Correlativo e Identificador de la fila
		Código CPA	Código del Expediente Administrativo en el CPA
		Código Expediente	Código con el cual la Región respectiva identificó el expediente Administrativo
		SOL.	N° de solicitud del Expediente Administrativo
		COD	Sigla para identificar el tipo de Solicitud (VV, CD, CDD, QD, etc)
		Region	Región en la que se ubica la descarga
		Provincia	Provincia en la que se ubica la descarga
		Comuna	Comuna en la que se ubica la descarga
		Nombre Solicitante	Nombre del Titular de la Solicitud
		N° Resolución	N° de la Resolución que Resuelve la Solicitud
		Fecha Resolución	Fecha de la Resolución que Resuelve la Solicitud
		AÑO	Año de la Resolución que Resuelve la Solicitud
		Situación Actual	Situación de la Resolución (Deniega, Rechaza, Dejada sin efecto, Establece, etc.)
		N° Resolución 2	N° Resolución que deja sin efecto o rectifica o revoca la anterior.
		Fecha Resolución 2	Fecha Resolución que deja sin efecto o rectifica o revoca la anterior.
		Situación Actual 2	Situación de la Resolución (Rechaza, Dejada sin efecto, revoca, Establece, etc.)
		N° Resolución 3	N° Resolución que deja sin efecto o rectifica o revoca la anterior.
		Fecha Resolución 3	Fecha Resolución que deja sin efecto o rectifica o revoca la anterior.
	Situación Actual 3	Situación de la Resolución (Rechaza, Dejada sin efecto, revoca, Establece, etc.)	
	Minuta Criterio	Minuta Utilizada para determinar el caudal disponible para diluir	
INFORMACIÓN UBICACIÓN DESCARGA	CPA	Cuenca	Nombre de la Cuenca en la que se ubica la Descarga
		SubCuenca	Nombre de la Subcuenca en la que se ubica la Descarga
		SubSubCuenca	Nombre de la Subsubcuenca en la que se ubica la Descarga
		Cuerpo Receptor	Nombre del Cauce en el que se realiza la Descarga
INFORMACIÓN UBICACIÓN DESCARGA	Reso-lución	Norte (m)	Coordenada Norte del punto de descarga indicada en la Resolución
		Este (m)	Coordenada Este del punto de descarga indicada en la Resolución
		Huso	Huso de las coordenadas (18 o 19)
		Datum	Datum de las Coordenadas (PSAD 1956; SAD 1969 o WGS84)

Tipo de información		Campo	Descripción o Definición
	UTM Datum WGS84 Huso 19	Norte (m)	Coordenada Norte del punto de descarga en Datum WGS 1984 Huso 19
		Este (m)	Coordenada Este del punto de descarga en Datum WGS 1984 Huso 19
CAUDAL DISPONIBLE PARA DILUIR		Ene	Caudal determinado como disponible para diluir para cada mes
		Feb	
		Mar	
		Abr	
		May	
		Jun	
		Jul	
		Ago	
		Sept	
		Oct	
		Nov	
		Dic	
		Unidad	
		Observaciones	Observación con respecto a cualquier campo y/o identificación del punto de descarga (ejemplo PTAS Temuco)

Fuente: elaboración propia

La base de datos para Vulnerabilidad es muy similar, sólo se diferencia por los últimos campos, que se presentan en la Tabla 5.1-2 siguiente. En **Anexo 1, se encuentran las (2) Planillas o Bases de Datos sistematizadas.**

**Tabla 3.4-2: Descripción de Campos Base de Datos- Vulnerabilidad**

Tipo	Campo	Descripción o Definición
Vulnerabilidad	Volumen a Infiltrar	Volumen a infiltrar indicado por el solicitante
	Unidad	Unidad del volumen a infiltrar mm/año, m3/año, m3/día, l/día m3/hora, etc.
	Nivel Estático (m)	Nivel al cual se encuentra el nivel freático en el sector de infiltración
	Obra	Tipo de obra utilizada para descargar (Pozo Infiltración, zanjas, lagunas, drenes, etc)
	Área (m <sup>2</sup> )	Área utilizada para infiltrar
	Profundidad (m)	Profundidad a la que se efectúa la infiltración (Profundidad de drenes por ejemplo)
	Vulnerabilidad	La vulnerabilidad determinada por la DGA (Alta, Media y Baja)
	Observaciones	Observación con respecto a cualquier campo y/o identificación del punto de descarga (ejemplo PTAS Temuco)

En el llenado de la información de las diferentes resoluciones en la planilla de la base de datos y en consideración a que las resoluciones de caudal de dilución y vulnerabilidad de acuíferos se comenzaron **a dictar desde el año 2000 y 2002 respectivamente**, es decir, antes de la creación de las regiones de Arica y Parinacota, Los ríos y Ñuble, por lo que en

el Anexo 1, se podrá observar que la planilla contiene 3 campos adicionales, con la ubicación de región, provincia y comuna actuales, a fin de poder contabilizar las resoluciones en sus respectivas regiones en consideración a la actual distribución.

### 3.4.3 Información Catastrada o Recabada

La información recopilada e ingresada en la base de datos, se separa para efecto de generar los respectivos shape. Considerando en esta primera etapa todos aquellos registros que su situación estableciera Caudal de dilución o vulnerabilidad de acuífero, no incluyendo en el shape aquellos que por falta de información en su solicitud fueron denegados o rechazados.

### 3.4.4 Resoluciones de Caudal disponible para diluir o Caudal de Dilución

De manera sistematizada y resumida se presentan la discretización por región completada.

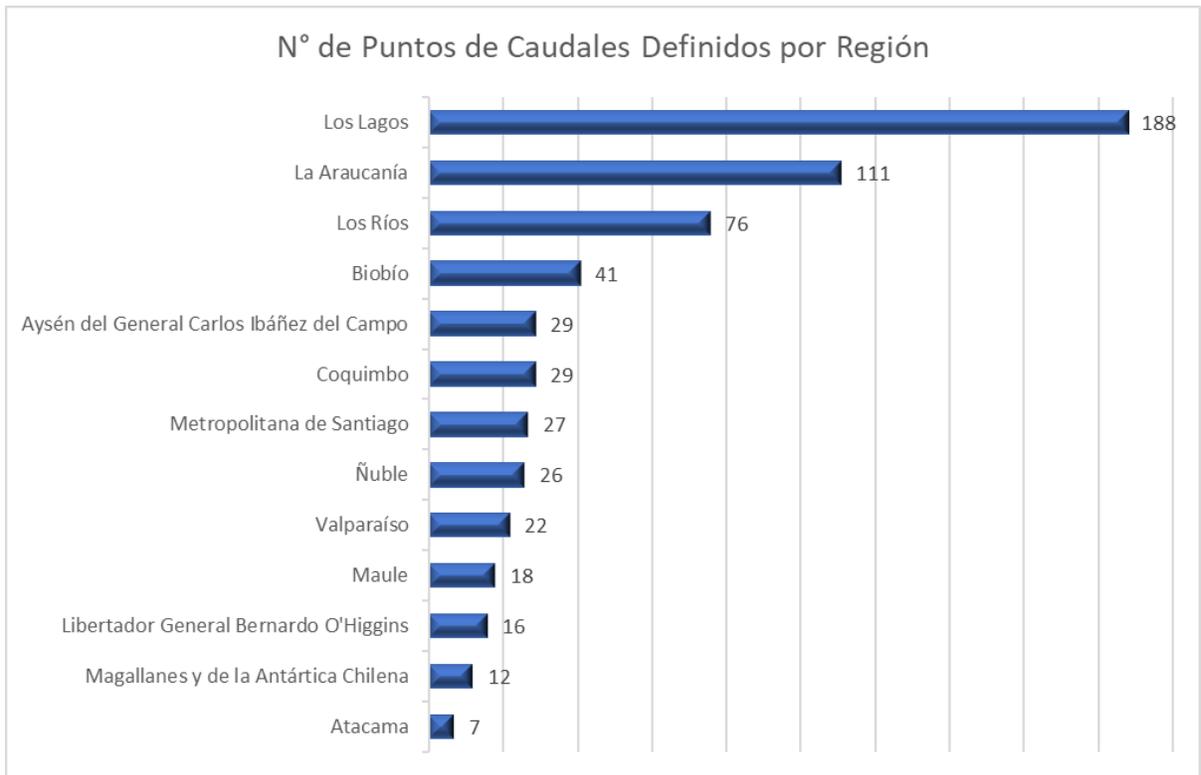
**Tabla 3.4-3: Resumen de Puntos con Caudal de Dilución**

REGIÓN	N° DE REGISTROS
Atacama	7
Coquimbo	29
Valparaíso	22
Metropolitana de Santiago	27
Libertador General Bernardo O'Higgins	16
Maule	18
Ñuble	26
Biobío	41
La Araucanía	111
Los Ríos	76
Los Lagos	188
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	29
Magallanes y de la Antártica Chilena	12
<b>Total general</b>	<b>602</b>

*Fuente: elaboración propia*

De la Tabla 3.4-3 como de la gráfica Figura 3.4-1 es posible observar que la región que posee el mayor número de Puntos de caudal de dilución es la Región de los Lagos, con 188 puntos. En la Figura 3.4-2 se presenta la distribución por año, indicando la evolución en el tiempo de las determinaciones de caudal de dilución.

**Figura 3.4-1: Gráfica de distribución de Caudales de Dilución por Región**



*Fuente: elaboración propia*

**Figura 3.4-2: Gráfica de Evolución temporal de Caudales de Dilución.**



*Fuente: elaboración propia*

### 3.4.5 Información para Resoluciones de Vulnerabilidad

Del mismo modo que para la sección anterior, de manera sistematizada y resumida se presentan la discretización por región completada para los puntos que poseen determinación de Vulnerabilidad de acuíferos en el país, con un total de 154.

**Tabla 3.4-4: Resumen de Puntos de Vulnerabilidad de Acuíferos**

REGIÓN	N° DE REGISTROS
Arica y Parinacota	1
Coquimbo	5
Valparaíso	17
Metropolitana de Santiago	54
Libertador General Bernardo O'Higgins	2
Maule	1
Ñuble	6
Biobío	21
La Araucanía	11
Los Ríos	11
Los Lagos	20
Magallanes y de la Antártica Chilena	5
<b>Total general</b>	<b>154</b>

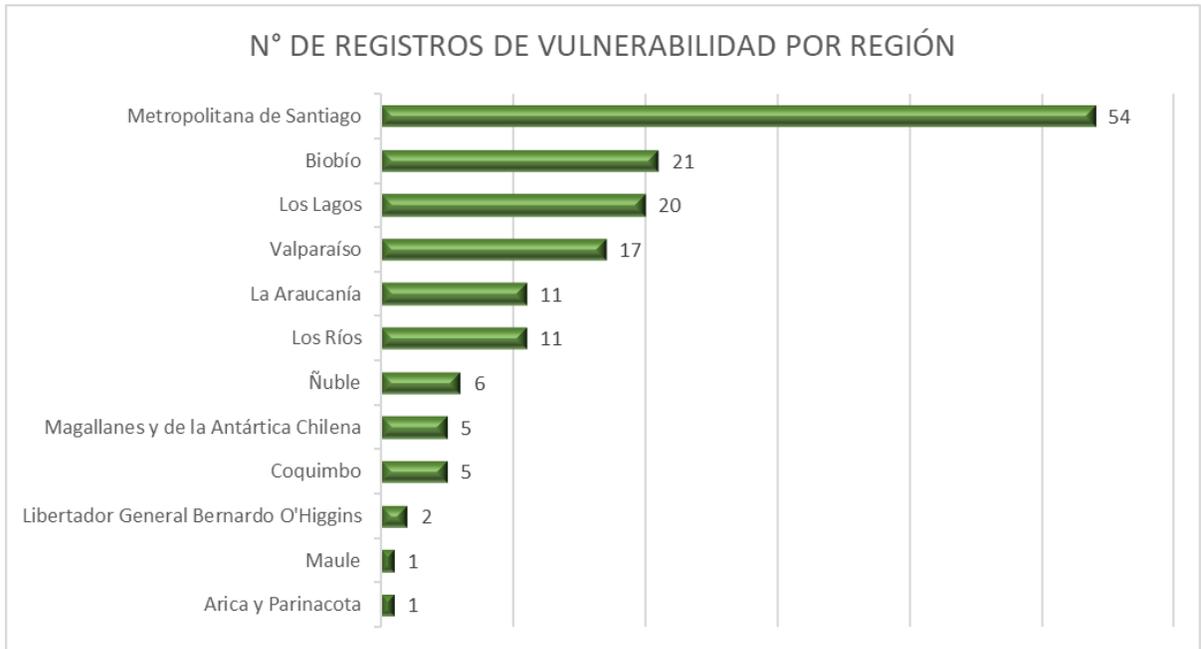
*Fuente: elaboración propia*

De la Tabla 3.4-4 y de la Figura 3.4-3, donde se presenta la distribución a nivel regional de los puntos recabados para Vulnerabilidad de Acuíferos, es posible observar que la región que posee el mayor número de puntos de Vulnerabilidad a la fecha es la Región Metropolitana, seguida por la región del Bío Bío y la región de Los Lagos.

En la Figura 3.4-4 se presenta la distribución por año, indicando la evolución en el tiempo de las determinaciones de Vulnerabilidad.

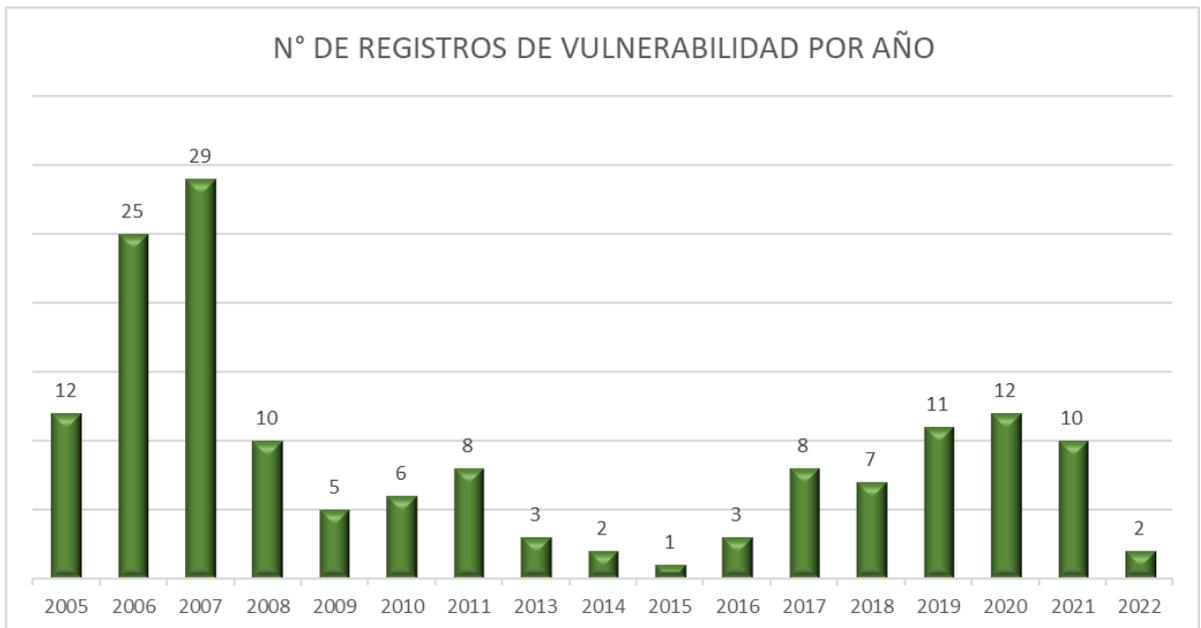
Con la información recabada a la fecha, se tiene que la evolución en cuanto a la determinación de Vulnerabilidad ha sido distinta a la de Caudales de Dilución, en donde la de Vulnerabilidad se ha visto aumentada o creciendo en los últimos 5 años, desde el 2017 al 2020, entre 6 a 12 puntos por año, bajando un poco a sólo 2 resoluciones en lo que va del año 2022; en cambio los caudales de dilución han ido con tendencia a la baja, entre 4 a 8 puntos por año.

**Figura 3.4-3: Gráfica de distribución de Vulnerabilidad de Acuíferos, por Región**



Fuente: elaboración propia

**Figura 3.4-4: Gráfica de Evolución temporal de Vulnerabilidad de Acuíferos.**



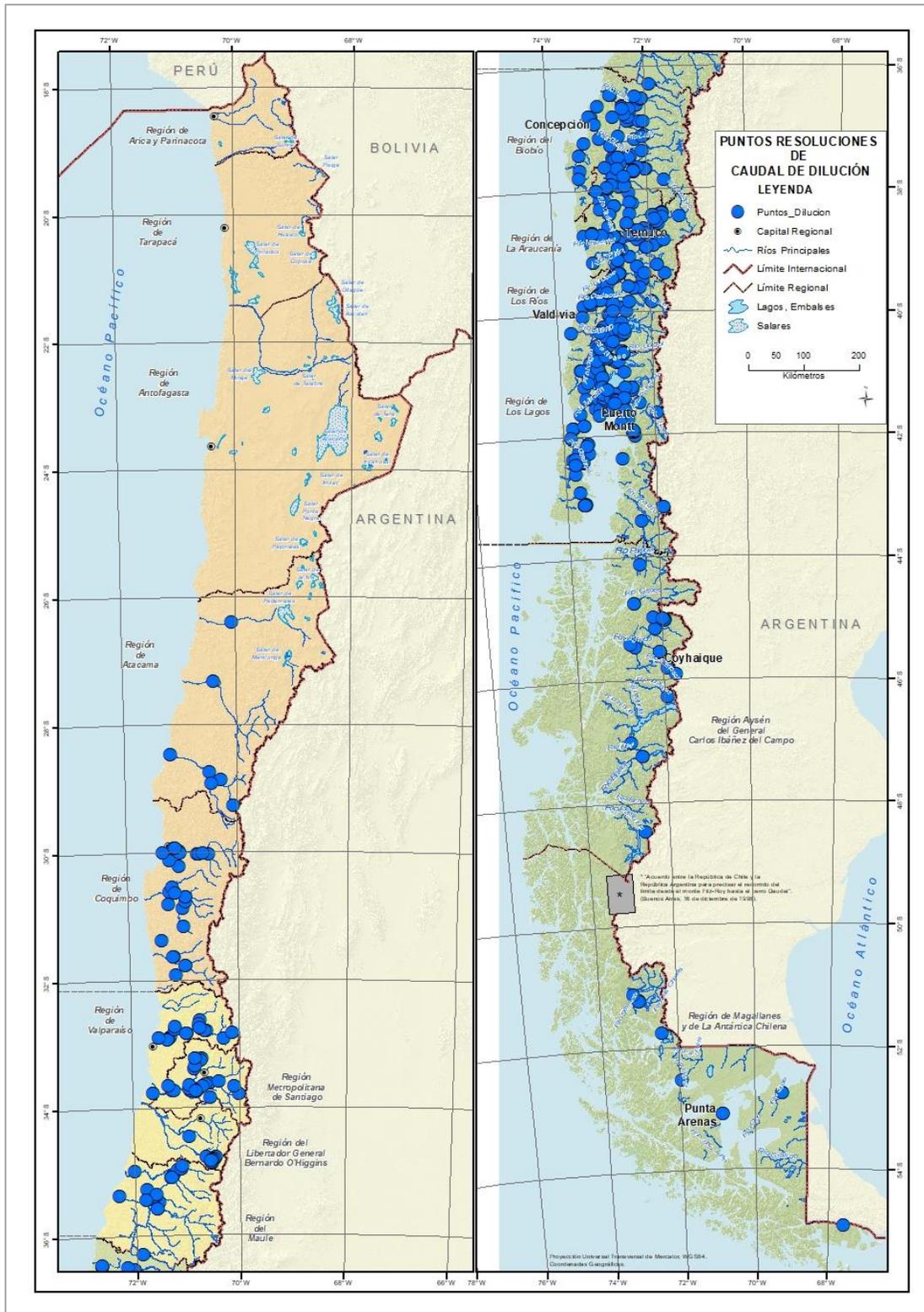
Fuente: elaboración propia

### **3.5 MAPAS**

De manera ilustrativa, se presentan en las Figuras siguientes (Figura 3.5-1 en adelante), los Mapas que se pueden obtener con las coberturas Shapes generadas, tanto para Caudal de Dilución, como para Vulnerabilidad de Acuíferos.

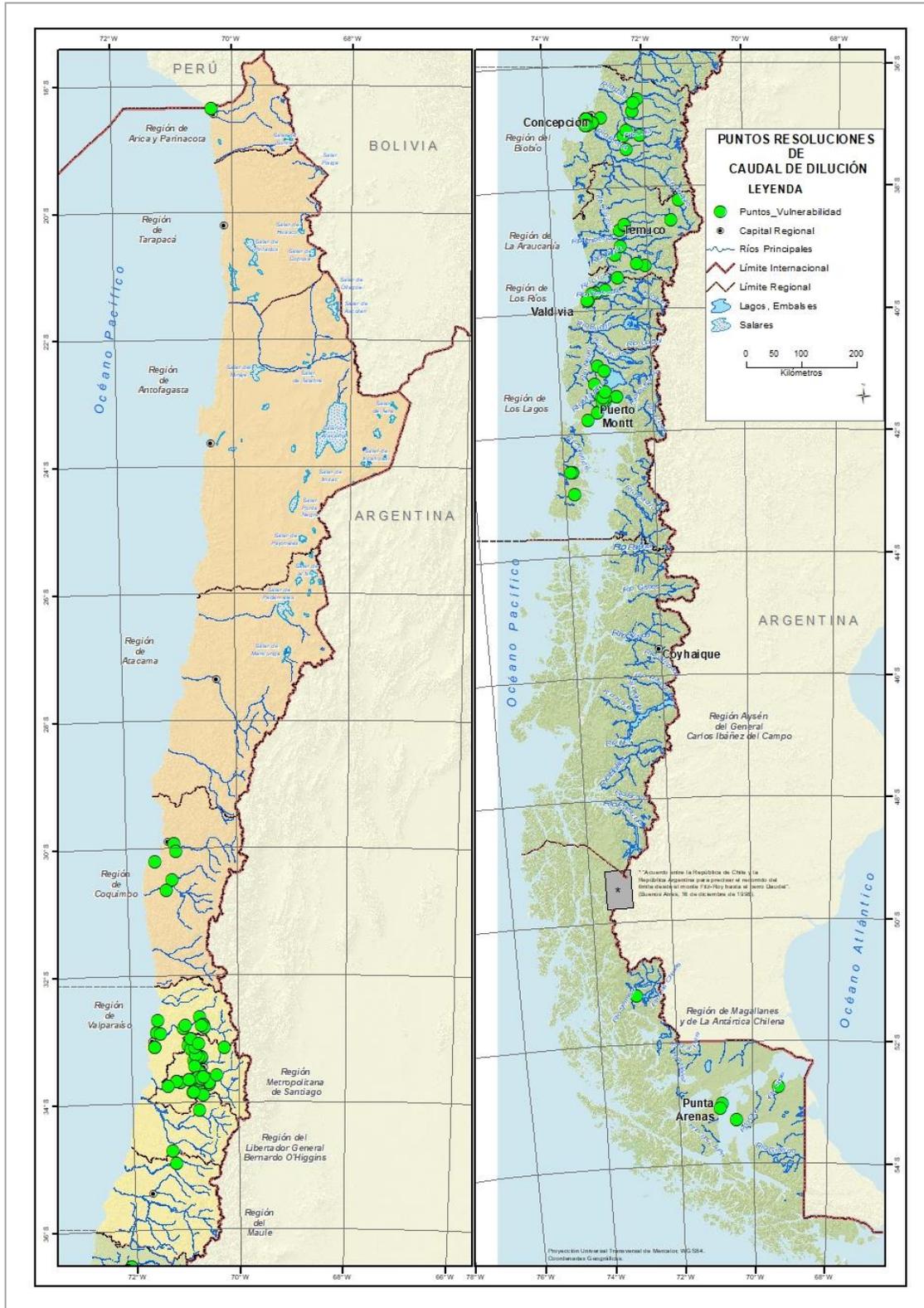
En el **Anexo 3** de este Informe se dejan las mismas Figuras de manera digital y en el **Anexo 4**, se entregan las coberturas shapes de ambas sistematizaciones.

**Figura 3.5-1: Mapa de Distribución de Caudales de Dilución Totales en Chile**



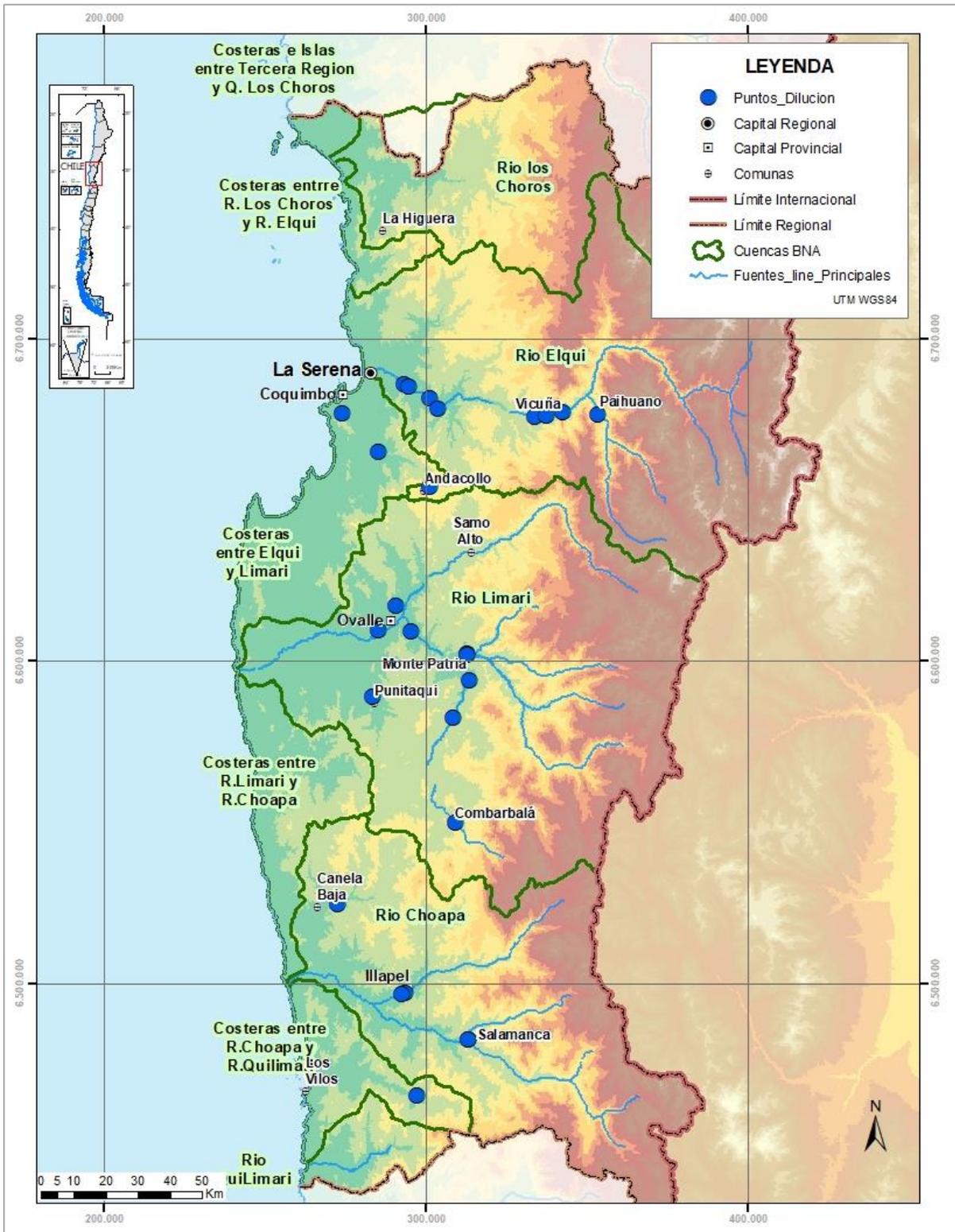
Fuente: Basado en Fuente Cartográfica Atlas del Agua 2016. DGA.

**Figura 3.5-2: Mapa de Resoluciones de Vulnerabilidad en Chile**



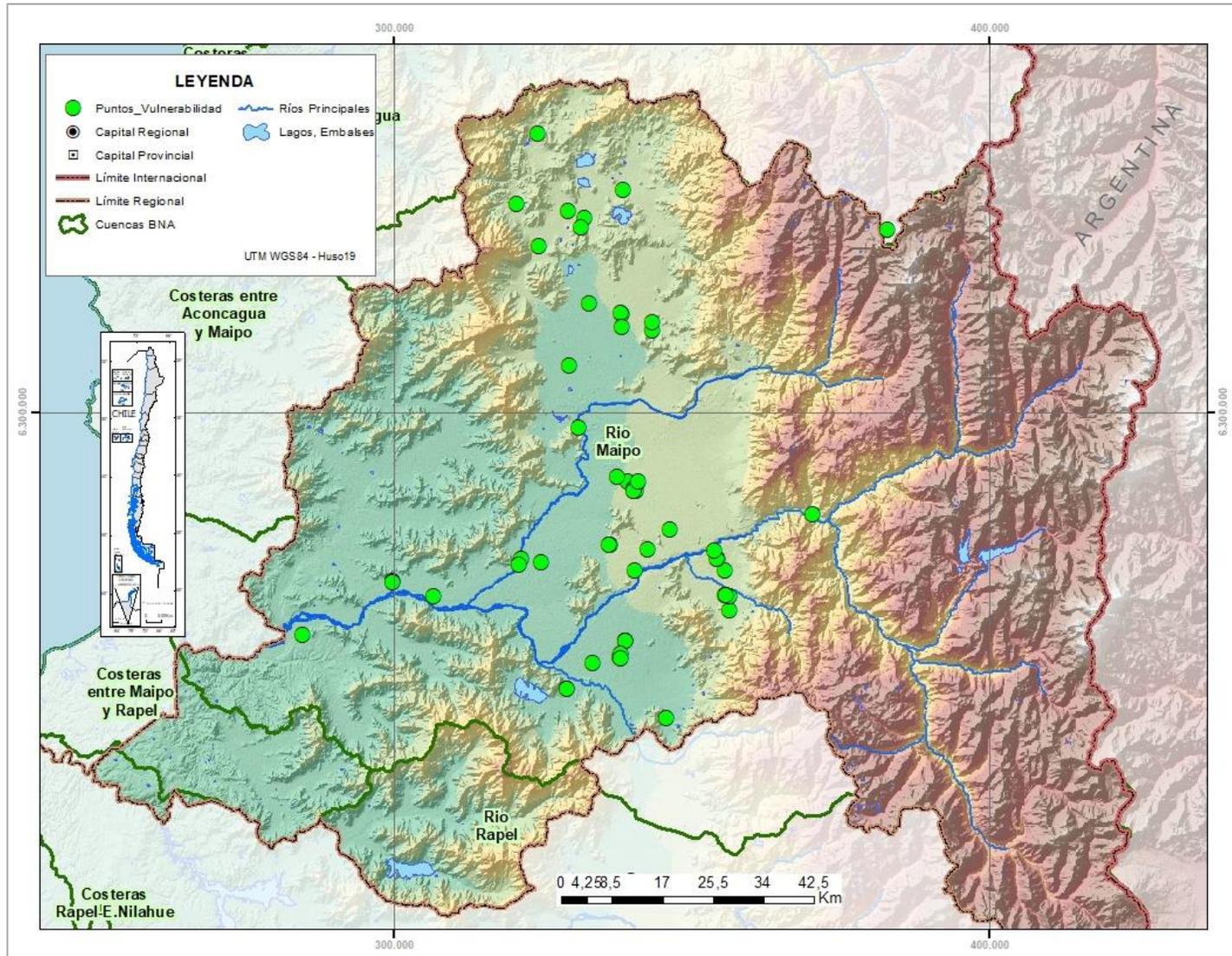
Fuente: Basado en Fuente Cartográfica Atlas del Agua 2016. DGA.

**Figura 3.5-3: Ejemplo Puntos caudal de Dilución - Región de Coquimbo**



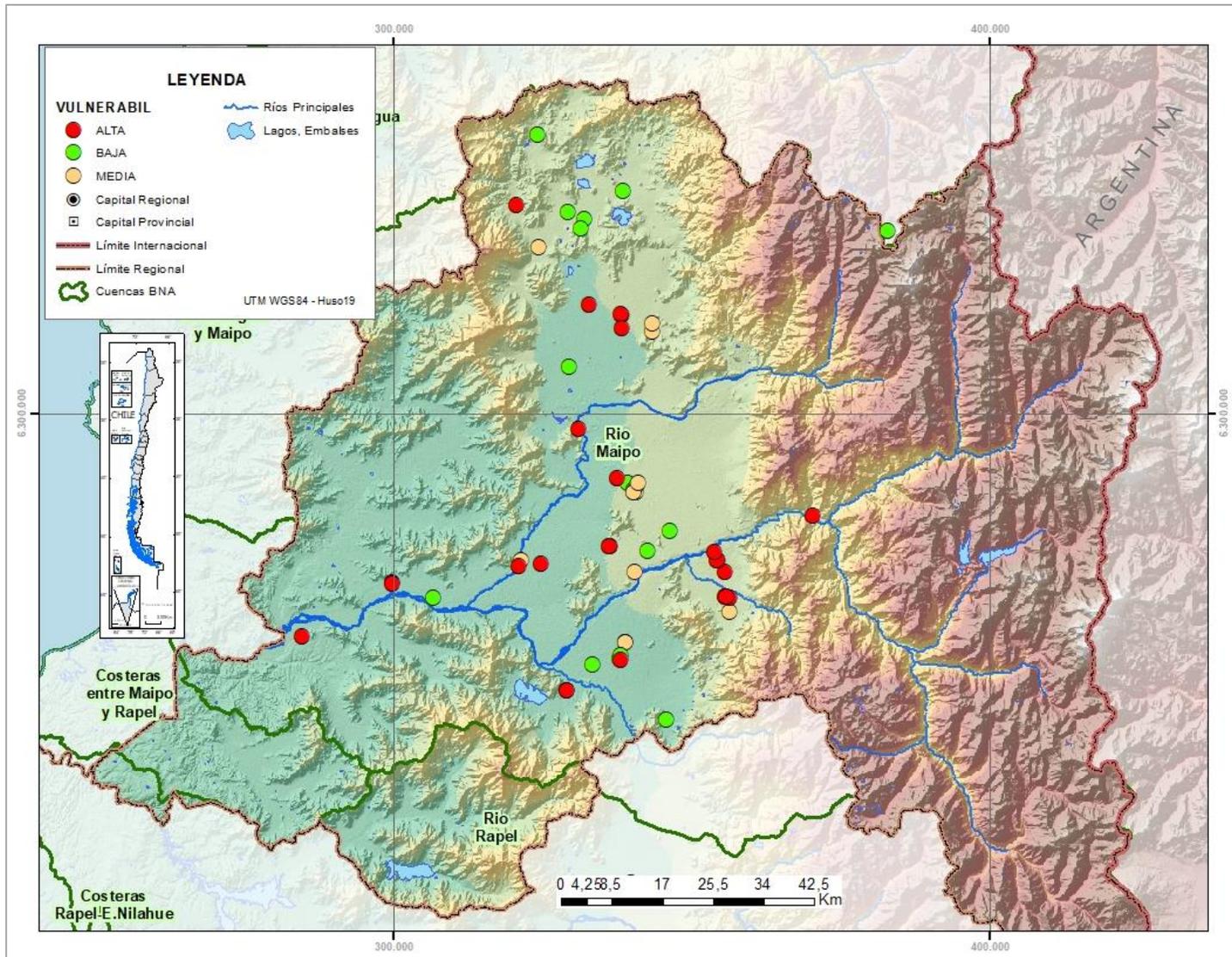
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.5-4: Ejemplo Puntos Vulnerabilidad para la Región Metropolitana**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.5-5: Ejemplo TIPO de Vulnerabilidad en la Región Metropolitana**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 HALLAZGOS DEL CATASTRO

A continuación se describen los principales hallazgos resultantes de la etapa:

- Se considera que no existe una nomenclatura específica para identificar los expedientes y resoluciones correspondientes tanto a caudal disponible para diluir, como de vulnerabilidad de acuíferos.

Los expedientes de este tipo se identifican en el CPA como VV, y sólo se pueden identificar si el operario del CPA, ingresó en alguno de los campos alguna palabra que se pueda relacionar (Ejemplo: Dilución, Diluir, Vulnerabilidad, etc.). De la revisión existieron algunos registros en los cuales no se ingresó ninguna descripción que permitiera identificarlos.

- Algunas regiones entre los años 2002 y el 2008, identificaban los expedientes con la sigla "CD" o "CDD", por lo que se buscaron algunas de estas resoluciones en el CPA, constatando que no se encontraban registradas en el sistema.

De igual forma la región de Los Lagos identifica los expedientes de caudal de dilución como QD o VV, indistintamente hasta la fecha. Igual situación ocurre para el caso de vulnerabilidad de acuíferos donde se utiliza la nomenclatura VA.

- Considerando los anterior, no existe una forma que permita identificar de una manera simple y **confiable** la totalidad de las Resoluciones dictadas por la DGA en este tipo de materias.

Por la misma razón, al no existir un registro de los expedientes en un solo sistema, se puede producir la duplicidad de expedientes, como ocurre en el **expediente QD-1001-67, que se asignaron a dos solicitudes diferentes.**

- Existieron Resoluciones que al no indicar el número de expediente en la misma fue imposible asociarlos a un expediente, por lo cual, se desconoce si estas fueron ingresadas o no al CPA.
- Un par de resoluciones fueron tramitadas sin indicar el punto de descarga en la solicitud, dichas solicitudes se debieron haber rechazado.
- Otro hallazgo relacionado con la misma problemática es el caso del **expediente QD-1003-62, en el cual se dictan dos resoluciones al parecer para la misma solicitud.**
- Se detectaron varias solicitudes principalmente en la región de la Araucanía asociadas a la descarga de la misma planta en diferentes puntos cercanos, se debiera oficiar al Titular

para determinar cual es el punto o los puntos que realmente corresponden a la actual descarga.

- Otros hallazgos, dicen relación con errores de tipeo, se indica en el identificador de la provincia uno diferente al que corresponde. A modo de ejemplo, el expediente VV-1301-1809, corresponde a la Provincia de Santiago, pero se indica como provincia de Cordillera. En otros casos, esta mal indicado el nombre del cauce o no se indica el nombre del cauce en los Resuelvo. Se indica Huso 18 cuando es Huso 19, se señala PSAD 1969, datum que no existe o bien se indica vulnerabilidad de acuífero como Moderada, etc. Todos los hallazgos de este tipo se indican y describen en el campo de observaciones de cada Base de datos correspondiente.

## 4. PARTE 2: PROPUESTA METODOLÓGICA DE ACTUALIZACIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE PARA DILUIR EN EL MARCO DEL DS90/2001

### 4.1 NORMATIVA CHILENA

En Chile, la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, de 1994, inició el proceso normativo para los elementos aire, agua, suelo, residuos sólidos y líquidos, y sustancias químicas. Dicha Ley cuenta con disposiciones legales que establecen cuáles serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud de las personas y del medio ambiente. Este cuerpo legal define los distintos tipos de normas ambientales [Ref. Ley Chile]:

- a) Normas de calidad primaria, que establecen la cantidad máxima de sustancias contaminantes cuya presencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población. Estas se aplican en todo el país por igual;
- b) Normas de calidad secundaria, que establecen cantidades máximas de sustancias cuya presencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. Su aplicación puede ser a nivel nacional o a nivel local dependiendo del recurso que se está protegiendo;
- c) Normas de emisión, que definen límites a la cantidad de contaminantes emitidos al aire o al agua desde instalaciones industriales o fuentes emisoras en general. Su aplicación puede ser a nivel nacional o local dependiendo del objetivo de protección que tenga la norma;

En relación con este tercer grupo de Normas de emisión, se encuentra la determinación del caudal disponible para diluir con el "D.S. N°90, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, de 2001. Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales". Su objetivo es prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales del país, mediante el establecimiento de umbrales de concentración de parámetros físico-químicos de las descargas líquidas emitidas por una fuente emisora a un cuerpo receptor.

La norma también contempla los procedimientos de **medición y control de la descarga**, y **determina quienes fiscalizarán el cumplimiento de la norma** y los plazos de cumplimiento.

La autorización y control de descargas de residuos líquidos a fuentes naturales y alcantarillados, tanto en el sector de agua potable y saneamiento, como industrial, le corresponde a la **Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y para el caso de**

**empresas concesionadas la fiscalización le corresponde a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).**

Por otra parte, **algunos<sup>1</sup> de los proyectos de plantas de tratamiento de residuos líquidos deben ser aprobados por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)**, mediante un Estudio de Impacto Ambiental, definido en la Ley 19.300, donde la SISS entrega su opinión sectorial respecto de cada presentación. La citada Ley es complementada con las normas de emisión, que definen los contenidos máximos de cada elemento contaminante que puede estar presente en los efluentes de los distintos emisores, cuyas descargas se realizan a cursos de agua, a sistemas de alcantarillado o se infiltran en forma subterránea.

El D.S. N°90 hizo un distinguo entre aquellas fuentes emisoras existentes a la fecha de su entrada en vigencia (2006) y aquellas que se instalaron posteriormente. Las primeras tendrían un plazo de cinco años a contar del 7 de septiembre de 2001 para implementar las adecuaciones necesarias tendientes a dar cumplimiento a la nueva normativa. En cambio, las que se instalaron con posterioridad a su entrada en vigencia debían cumplir inmediatamente con la norma, para lo cual debían caracterizar sus emisiones e informar a la **autoridad fiscalizadora correspondiente, que de acuerdo al numeral 7. Le compete a la SISS o DIRECTEMAR** (Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante), **y a los Servicios de Salud**, según corresponda, sobre todos sus residuos líquidos acorde con los procedimientos de medición y control establecidos. Actualmente, **es la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)**, la que tiene la atribución de ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de los Instrumentos de Gestión Ambiental de su competencia, entre ellos el **contenido de las Normas de Emisión hacia cuerpos de agua** (superficiales, subterráneos y marinos).

En este contexto, es la SMA la que debe: (1) Impartir directrices e instrucciones en el ejercicio de su función reguladora; (2) Ejecutar anualmente el programa de fiscalización ambiental asociado a los instrumentos normativos de su competencia, mediante (i) en forma directa, (ii) en coordinación con otros organismos del estado, y/o (iii) mediante la contratación de terceros acreditados; y (3) Atender las denuncias originadas en el incumplimiento de la normativa aplicable.

Así entonces, es la SMA la entidad estatal en Chile que se encarga de fiscalizar el cumplimiento de las normas de emisión de residuos líquidos hacia cuerpos de agua superficiales, subterráneos y marinos. La SISS mantiene algunas tareas de fiscalización en materia de residuos líquidos. Para un mejor desempeño en la materia, actualmente (octubre 2022) trabaja con la SMA en la actualización del "*Protocolo de Encomendación*" para fiscalizar las descargas de riles suscrito en 2015, el cual estableció un marco

---

<sup>1</sup> Reglamento SEIA DS40/2012, art. 3, letra o) Proyectos de saneamiento ambiental. Por ejemplo o.4) "*Plantas de tratamiento de aguas de origen domiciliario, que atiendan a una población igual o mayor a (2.500) habitantes.*"; o.7) Sistemas de tratamiento o disposición de RILES que cumplan con ciertas características, etc.

coordinado para la acción de ambas instituciones en el contexto de sus respectivas competencias.

Como información, se puede mencionar que a fines de 2006, se inició un primer proceso de revisión del DS 90 que finalmente no prosperó. El anteproyecto del nuevo DS 90 se publicó en enero de 2021, con el propósito de *“mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de modo tal que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación”*.

Dentro de los cambios<sup>2</sup> más importantes que posiblemente incorporará el Decreto 90 se pueden mencionar: establecer concentraciones máximas permitidas en las descargas a estuarios (nueva tabla 6); redelimitar la Zona de Protección Litoral (ZPL); regular los afluentes a cuerpos lacustres; controlar las concentraciones de cloro libre residual (CLR) y trihalometanos (THM); y explicitar situaciones en las que no aplica la norma. Sin embargo, hasta el momento no incluye estudiar por ejemplo zonas de mezcla en los cauces, o zonas de máximas concentraciones o cuales son los lugares permitidos en un cauce para las descargas que no afecten la biota o la salud, como si se podrá ver en el siguiente acápite, que las normativas internacionales entregan mayores avances sobre aquello.

Ahora bien, entregado el contexto normativo y en relación mas directa con el DS90/2001 y a la aplicación de esta normativa, la DGA debe pronunciarse respecto de: (1) la determinación del **caudal disponible del cuerpo receptor**, y (2) la determinación del contenido natural.

La determinación del “contenido natural” del cuerpo receptor<sup>3</sup> corresponde a la DGA, entendiéndose éste como 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.

Respecto a la determinación del caudal disponible del cuerpo receptor, es decir, el concepto de caudal de dilución, está contenido en el artículo primero, punto 3.12 donde se señala textual la: *“Tasa de dilución del efluente vertido” (como la razón entre el caudal disponible*

---

<sup>2</sup> Revista publicación Induambiente, 20 octubre 2022,

<https://www.induambiente.com/destacamos/el-nuevo-decreto-90>.

A nivel nacional, un grupo de investigadores se refirió al tema e indicaron que era necesario que la revisión de tan importante decreto, textual: *“considere el escenario de escasez hídrica que afecta a Chile, especialmente en la zona centro sur, donde se localiza la mayor cantidad de fuentes reguladas. Además, urge incorporar herramientas tecnológicas para mejorar el seguimiento de la norma. Y entender que la protección de los ecosistemas es también la protección de nuestra salud y es fundamental para comprometerse con nuevas exigencias de fiscalización”*.

<sup>3</sup> Dentro del DS90/2001, se identifican 5 tipos de receptores, con los respectivos valores máximos, que las descargas líquidas deberán cumplir, estos son: a) los cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución, b) los cuerpos de agua fluviales con capacidad de dilución, c) los cuerpos lacustres, d) los cuerpos marinos que están dentro de la zona de protección litoral, y e) los cuerpos marinos que están fuera de la zona de protección litoral.

del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades) y se especifica que el “**caudal disponible del cuerpo receptor**” es la cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo para determinar la capacidad de dilución de un cuerpo receptor.

Como ya fuera mencionado, cualquier usuario interesado en conocer la capacidad de dilución de algún cauce del país, debe solicitar formalmente dicha información a la Dirección Regional de Aguas, señalando mediante coordenadas UTM **el punto específico del cauce en donde se efectuará la descarga**, emitiendo esta última una Resolución indicando el caudal de dilución disponible, después de evaluar las componentes que afectan el recurso en la zona. [Ref.6]

De esta manera, el caudal disponible para diluir en un punto identificado con coordenadas UTM e informado mediante resolución por la respectiva Dirección Regional de Aguas, estará disponible tanto para el solicitante que dio origen al análisis, como para cualquier otro solicitante futuro que desee descargar un efluente en el mismo punto.

Un punto importante a considerar es que, la DGA no tiene jurisdicción sobre los cauces artificiales, esto es canales y/o acequias, en donde la distribución y uso de las aguas es de los particulares y/o sus organizaciones de canalistas, por lo que no corresponde en esos casos establecer caudal disponible para diluir.

A partir del DS90/2001, la DGA a través del tiempo ha elaborado Minutas e Informes Técnicos que dan cuenta de los criterios establecidos para la determinación de caudal de dilución. Dichos documentos se resumen a continuación como antecedentes generales a tener en cuenta para esta consultoría. Dichas referencias, se describen a nivel cronológico, incluyendo Decretos, Informes e información relevante de cada una de ellas, que ayuda a entender los procesos y criterios en permanente actualización por parte de la DGA. De manera esquemática, la Figura 4.1-1 presenta la cronología más relevante que se describe a continuación destacando de ellas los principales criterios.

**Figura 4.1-1: Cronología administrativa DGA para Determinación del caudal de dilución.**



Fuente: Elaboración propia

Todos los documentos analizados y criterios existentes, como la última Minuta N°29 del año 2013, "*Criterios para la determinación de caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. Determinación de Q Dilución, Octubre 2013*", DCPRH-DGA, o el "*Decreto Supremo No 71, MMA año 2015 que Modifica DS14 del 2012 que aprueba Reglamento para la determinación del Caudal Ecológico Mínimo*", corresponden a la base para la formulación y propuesta de algún cambio de actualización que se plantee realizar en la determinación del caudal disponible para diluir.

Junto con lo anterior, se debe considerar además **la situación particular en Chile, en la metodología para el determinación de disponibilidad de aguas que existe en los balances hidrológicos que se realizan en el proceso de otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas**, donde la Dirección General de Aguas realiza para cada punto de análisis, balances de disponibilidad y determinación de caudal ecológico, valores que tienen que ser considerados y respetados en pro del medio ambiente, así como también los caudales ambientales que hayan sido determinados en algún punto por algún proyecto sometido al SEIA.

#### **4.1.1 Criterios aplicados en relación al Caudal Disponible para Diluir**

##### **REF.1: Minuta Técnica N°6, DCPRH-DGA - del 16/11/2001. S.D.T N° 110. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales**

Esta Minuta, corresponde al primer documento elaborado por la DGA, a través de su Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, que establecía "*Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales y Calidad Natural*".

A manera de resumen, se consideraban 2 casos: el primero de ellos, ante la situación de zonas con caudal ecológico establecido y el segundo caso, en zonas sin caudal ecológico establecido. Entiéndase caudal ecológico aquel determinado a través de las resoluciones de otorgamiento de derechos de aprovechamiento o bien por medio del sistema de evaluación de impacto ambiental, para la zona de descarga. En el primer caso, dicho caudal ecológico se consideraba como disponible para efectuar la dilución en el cuerpo receptor. El segundo caso, hacía la diferenciación ante situaciones de cuencas agotadas y cuencas no agotadas.

Para cuencas agotadas, es decir, para aquellas cuencas que posean todos sus derechos consuntivos asignados, el caudal disponible para diluir sería cero. Sin embargo, se hacía la excepción de que, aun estando en una cuenca agotada, en "*aquellos sectores donde históricamente la existencia de un flujo continuo y permanente (aún en condiciones de sequía y/o de ejercicio de todos los derechos) en un tramo significativo del cauce, ha permitido el desarrollo de ecosistemas que es necesario preservar (por ejemplo, aguas arriba de bocatomas de las primeras secciones)*", en ese caso, en dicho tramo antes

definido, existiría caudal disponible para la dilución de efluentes. El cálculo sería el mismo que el aplicado para cuencas no agotadas.

Para cuencas no agotadas, y donde no se haya establecido un caudal ecológico previo, la determinación del caudal de dilución se establecía en los mismos términos que se hacía para el caudal ecológico, tanto para cuencas con control fluviométrico como para las sin control fluviométrico.

En ambos casos se exigía un análisis estadístico de a lo menos 30 años completos, y determinación de los caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia de 5%, 50%, 85% y 95%. La diferencia estaba en que, si tenía control fluviométrico se solicitaba 1 aforo mensual durante los 3 meses más secos o de estiaje, en cambio, **si era en una cuenca sin control fluviométrico, se solicitaba además del aforo mensual, un registro Limnimétrico diario, con mediciones a las 8:00 hrs y otro a las 18 hrs, a lo menos por 1 año**, con el objetivo de validar el método de estimación de caudales.

Todo lo anterior, para posteriormente aplicarlo al cálculo de caudal ecológico, entre las siguientes alternativas:

- 10% del caudal medio anual;
- 50% del caudal mínimo del estiaje del año 95%;
- Caudal que es excedido al menos 330 días al año;
- Caudal que es excedido al menos 347 días al año.

Finalmente, se resaltaba la importancia de la experiencia y del conocimiento que se tuviera de la zona de estudio, por un lado para decidir cual criterio aplicar y por otro, para representar de mejor forma el régimen del cauce y la relevancia ambiental de éste.

**REF.2: Minuta Técnica, DCPRH-DGA – de Octubre 2004. S.D.T N° 191. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales.**

Este documento, contiene Minuta Técnica del año 2004, del Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, que reemplaza los criterios del primer documento elaborado por la DGA, y establece "*Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales*".

Un tema importante que levanta este documento es que el Caudal disponible para dilución informado mediante resolución, "deberá ser considerado en los balances futuros, necesarios para autorizar modificaciones de captación de derechos existente y otorgamiento de nuevos derechos de aguas", tema que previamente no estaba estipulado.

De igual manera que la anterior, hace la diferenciación para diferentes casos, con caudal ecológico establecido y sin caudal ecológico establecidos, pero poniendo más detalles en

este último. Lo mismo para **cuencas agotadas, en la que no descarta a priori que no exista caudal de dilución**, sino por el contrario, que aun cuando el caudal en la sección esté otorgado, podría existir un cierto caudal o fracción de éste que permita el establecimiento de un caudal disponible para diluir.

Se vincula la determinación del caudal de dilución con el caudal ecológico y éste con el balance que se realiza para el otorgamiento de derechos y, por ejemplo, de cambios de puntos de captación. Lo anterior, ya que para ello se hacen balances de disponibilidad, considerando el caudal disponible en la fuente y los recursos comprometidos, entre estos últimos se consideran los derechos de aguas existentes, los usos a respetar y el caudal ecológico definido en el tramo de cauce, en caso que corresponda.

En aquellas zonas donde no exista caudal ecológico establecido, el caudal disponible para dilución en un cuerpo receptor, sería el **caudal mínimo** que resultara de aplicar la metodología para la determinación del caudal ecológico establecida en el Manual de Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, para esos años.

Una de las cosas adicionales de esta Minuta SDT N°191, era que incorporaba la distinción para el método de cálculo, dependiendo de la zona o región del país en que se situase el punto de análisis. Había un criterio para las regiones centro-sur (desde la 3era región hasta la décima y además dentro de un rango nival de 50 a 6.000 km<sup>2</sup>; y otro criterio para las regiones extremas y fuera del rango nival antes mencionado. Todo lo anterior, aplicando, para cuencas sin control fluviométrico, la metodología establecida en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica, DGA, Agosto 1995.

Respecto a los métodos de validación, también **indicaba 1 aforo mensual al menos los 3 meses de estiaje**, en cualquiera de los casos.

Además, introduce el tema cuando se solicita caudal de dilución en cuerpos lagunares o lacustres, indicando que debe ajustarse a los límites máximos establecidos para descargas en dichos sistemas, Tabla N°3 del DS90/2001, y por lo tanto, no corresponde la determinación de caudal de dilución en dichos casos.

Junto con lo anterior, considera un **ítem para cuando el punto de descarga es en zonas fluviales afectas a influencias del mar, es decir, en zonas estuarinas**. Un estuario, es considerado un cuerpo de agua fluvial aún cuando posea influencias de las mareas y por lo tanto, la Dirección General de Aguas determinará el caudal disponible en este tipo de cuerpos de agua receptores, cuando la descarga se realice aguas arriba de la Zona de Protección Litoral.

En este sentido, se indicaba que la DGA podría solicitar la revisión del análisis presentado a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante a fin de confirmar que el punto se encontraba aguas arriba de la zona de protección litoral. Junto con ello, se debía considerar analizar la capacidad de mezcla del estuario, esto es, influencia de las mareas,

velocidades de flujo, ciclos de vaciante y llenante, intrusión salina (que depende de la magnitud del afluente y amplitud de onda de la marea) y densidad del agua en el estuario. Asimismo, debía incorporar una batimetría, análisis hidrodinámico, análisis hidrológico, análisis de las mareas, determinar intrusión salina y determinar la estratificación de ésta.

Hasta esa fecha, 2004, la DGA no había desarrollado una metodología para la determinación de la capacidad de mezcla de un estuario, ni había establecido la relación de la capacidad de mezcla de un estuario con el caudal disponible para diluir.

Fue sino hasta el año 2009, cuando la DGA a través del DCPRH y Depto. De Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, encomendó el Estudio: "Análisis Metodológico para determinar caudales de dilución en zonas estuarinas", SIT N°189 año 2009 [Ref. 9]. El objetivo fue establecer una metodología para la determinación de caudales de dilución en zonas estuarinas, en el marco del DS N°90/2001. La principal conclusión fue que el comportamiento hidrodinámico de un estuario difiere en gran medida del de un río, por lo que se hace necesario establecer una metodología de estimación de caudales de dilución específica para este tipo de cuerpos de agua y el estudio desarrolló una metodología sencilla que permite establecer la capacidad de dilución en cuerpos de agua estuarinos chilenos de manera precisa.

La Minuta Técnica del 2004, SDT N°191, finaliza con un ejemplo y concluye que "el caudal disponible para dilución en un punto permite la descarga de más de un efluente".

**REF.3: Minuta N°11. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. DCPRH. SDT N°200, septiembre 2005.**

Esta Minuta reemplaza la Minuta anterior del 2004, y su fundamentación radica en la forma de determinación atendiendo a procesos de mejoramiento y mayor experiencia en el tiempo.

La actualización de esta Minuta, indica al inicio "*La delegación de funciones a los directores regionales de aguas*", la cual se indica quedó establecida en la Resolución DGA N°23 del 17.01.2002, rectificada por Resolución DGA N°580 del 21.06.2002.

Se releva la importancia de los Criterios Generales, los de:

- Al momento de establecer el caudal de dilución se debe recopilar la información existente y utilizarla, en especial los Estudios de disponibilidad realizados por el Servicio (aprobados por resolución del Director General de Aguas) y las Resoluciones de constitución de Derechos de Aprovechamientos con caudal ecológico establecido, lo anterior sobre la base que estos documentos representan la posición oficial de la Dirección General de Aguas.

- El **caudal de dilución se debe considerar nulo en las quebradas de régimen intermitente**, debido a que existirían épocas del año que no se dispone de agua para producir la dilución requerida para la descarga de residuos líquidos.

Aparece en la terminología, el caudal ecológico teórico (nominal), como aquel que se encuentre establecido de acuerdo al Manual de Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, a través de estudios de la Dirección General de Agua aprobados por resolución del Director General de Aguas o Resoluciones de otorgamiento de derechos de aprovechamiento. Para la determinación del caudal de dilución se debía proceder a la verificación del caudal ecológico teórico (nominal) mediante un balance hidrológico en la sección de análisis. Esta verificación debía realizarse a nivel mensual, considerando para ello los caudales medios mensuales con una probabilidad de excedencia de 85%, los derechos permanentes consuntivos, continuos y discontinuos, constituidos aguas arriba de la zona de interés y los derechos no consuntivos constituidos aguas arriba de la sección que tengan su punto de restitución aguas abajo de la zona de interés.

Un tema importante y que sigue siendo válido para la actual metodología, es que cuando la estadística se encuentra en régimen observado, sólo son descontados de los balances aquellos derechos concedidos o constituidos a contar de 1981 a la fecha, ya que se asume que dichos caudales no están siendo reflejados por las estadísticas utilizadas y deben ser respetados, en cambio, todos los derechos concedidos con anterioridad al año 1981 se asumen que se encuentran en uso y estos usos están siendo reflejados por la estación fluviométrica utilizada (la estación registra los excedentes de los usos históricos).

Finalmente, como criterio, se establecía que, el caudal de dilución correspondía al caudal mínimo verificado en todos los meses, siendo **siempre un único valor de caudal de dilución**. Adicionalmente, se debía determinar que probabilidad de excedencia tenía dicho caudal verificado.

Respecto a los métodos de validación, se mantenía la indicación de 1 aforo mensual en cualquiera de los casos, señalando en esta oportunidad *"apoyados con 3 aforos, de igual manera que se realiza para la constitución de derechos"*.

Se mantuvo toda la discretización respecto de la zona del país en que se encontrase, con un criterio para las regiones centro-sur (desde la 3era región hasta la décima y además dentro de un rango nival de 50 a 6.000 km<sup>2</sup>; y otro criterio para las regiones extremas y fuera del rango nival antes mencionado; usando la metodología establecida en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica, DGA, Agosto 1995; y se mantienen los mismos criterios para cuerpos lagunares, cauces artificiales y zonas estuarinas. Esta Minuta es reforzada con ejemplos y casos de aplicación en Anexo.

**REF.4: Minuta N°143 Criterios para la determinación de caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. Determinación de Q Dilución, Nov2008.**

Esta Minuta reemplaza la Minuta DCPRH N°11 anterior, bajo la misma premisa y fundamentación anterior, en la forma de determinación atendiendo a procesos de mejoramiento y mayor experiencia en el tiempo.

Se mantienen las mismas premisas y criterios de la Minuta anterior, del año 2005.

Lo más relevante de esta actualización, es que se comienza a **determinar valores de caudal de dilución con distribución mensuales** y junto con ello se indica que la SISS, mediante el *Ord 2824 del 10 de septiembre* manifiesta su conformidad a esta nueva forma de pronunciamiento.

Se justifica nuevamente que el asimilar el caudal de dilución con el caudal ecológico tiene por objetivo asegurar que el agua disponible para la dilución se encuentre en el cauce receptor. Al momento de entregar un nuevo derecho de aprovechamiento o autorizar un traslado, la DGA incorpora la condición de preservación de un caudal ecológico.

**REF.5 : Decreto Supremo No 14, del 2012, (DS14/2012) del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo.**

El 22 de mayo del año 2012, se aprueba el Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo, a través del DS14, del Ministerio del Medio Ambiente. Considerando el artículo 129 Bis 1 del Código de Aguas; la Ley de Bases N°19.880 y el acuerdo del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad N°4 del 22 de marzo del mismo año, se decreta y establecen los "Criterios para la determinación del Caudal Ecológico Mínimo para el otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas", entre los cuales se señalan los mas relevantes:

- La DGA deberá establecer un caudal ecológico mínimo para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas, que se constituyan en cada fuente superficial;
- Para cada mes del año, el caudal ecológico mínimo en el punto de captación a determinar deberá considerar: (a) **el caudal equivalente al 20% del caudal medio mensual (Qmm) de la respectiva fuente con el límite máximo del 20% del Qma (Caudal medio anual);** (b) **utilización de estadísticas hidrológicas de los últimos 25 años;** (c) en el caso de no existir la estadística, la DGA la deberá generar usando el método hidrológico mas adecuado, lo cual deberá quedar claramente fundado en un Informe Técnico (art.5 del mismo DS14/2012) que contendrá la determinación del caudal ecológico mínimo que se aplicará a dicho derecho;

- En los casos de usuarios de acueductos que extraigan aguas desde un cauce, **deberán instalar en la obra de captación un sistema de control que permita controlar y aforar el agua que se extrae;**

Se señalan ciertos casos calificados en los cuales se podrá fijar un caudal ecológico mínimo (Qeco min), por parte del Presidente de la República, mediante Decreto Supremo y previo Informe favorable del MMA, no pudiendo afectar derechos de aprovechamiento de aguas ya existentes. Dicho Qeco min, se podrá establecer para un cauce, una sección o sector y **no podrá superar el 40%Qma del respectivo cauce, sección o sector.**

Establece que serán casos calificados aquellos en los que se **identifiquen riesgos en la calidad de las aguas y/o el hábitat de magnitud tal que comprometan la supervivencia de las especies**, lo que deberá tener en consideración el MMA en su informe técnico que emita.

Dentro de los casos mas relevantes, se pueden mencionar: cuando se pretendan conservar especies hidrobiológicas en categoría de conservación; o cuando existan fuentes superficiales bajo protección oficial con la finalidad de asegurar la diversidad biológica, preservar la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental, o aguas arriba de éstas, que tengan una calidad tal que permita la sustentación de las especies protegidas del área; o cuando existan impactos significativos que alteren factores bióticos y abióticos, físicos, químicos y biológicos, que aseguren el resguardo de las estructura, dinámica y funcionamiento de los ecosistemas asociados a la fuente de agua superficial, con el fin de mantener los servicios ambientales que prestan.

Asimismo, este DS indica que cualquier persona podrá solicitar la declaración de un caudal ecológico mínimo en una fuente superficial, de acuerdo a lo señalado, solicitándolo a la DGA y no suspenderá los procedimientos de constitución de derechos de aguas que estén en curso.

El DS14/2012, termina indicando que, en el caso que se desee fijar mediante Oficio un caudal ecológico mínimo, el MOP deberá solicitar a la DGA y al MMA, un informe fundado acerca de la pertinencia de declarar el caudal ecológico mínimo y que dicha fijación o determinación es sin perjuicio de lo que puedan establecer otras autoridades en el ámbito de sus respectivas competencias.

**REF.6: Minuta N°29 Criterios para la determinación de caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. Determinación de Q Dilución, Octubre 2013.**

Esta Minuta N°29/2013, reemplaza la Minuta DCPRH N°143/2008 previa, y establece nuevos criterios considerando los nuevos antecedentes, tales como el DS14/2012 antes mencionado y apuntan a caracterizar la disponibilidad del recurso en el punto de descarga. Esta Minuta corresponde a la última y actual documento con los criterios DGA para la determinación del caudal de dilución.

Se mantiene como base la relación del caudal de dilución con el caudal ecológico mínimo, lo que tiene como fin asegurar que el agua disponible para dilución se encuentre en el cauce receptor, ya que la DGA al realizar los análisis ya sea para un nuevo derecho o al momento de autorizar un traslado, incorpora la condición de preservación de un caudal ecológico mínimo. Junto con lo anterior, se enfoca en poder incorporar vacíos percatados respecto de asegurar que las descargas se realicen en cauces que posean el caudal disponible para diluir, como por ejemplo: en brazos de ríos, descargas en zonas de pérdidas de caudal hacia el acuífero, entre las más relevantes.

Se mantienen algunos criterios generales, como por ejemplo, el de si la cuenca se encuentra agotada no significa a priori que en algún punto del tramo de río no se disponga de un caudal disponible para diluir; se mantiene el hecho de considerar el balance en el punto de descarga, con los derechos y usos a respetar, incluyendo el caudal ecológico existente si corresponde; o el de considerar estudios oficiales de la DGA para los criterios básicos, entre otros.

Se mantiene el **determinar valores de caudal de dilución con distribución mensuales**, y agrega la condición o criterio de:

- ***“En aquellos cauces donde el caudal disponible en un/os mes/es sea cero “0” se deberá expresar que no posee dilución en ese o esos meses en particular, por ende, el interesado debe cumplir con la tabla 1 del DS°90/2001. Para el resto de los meses que poseen caudal de dilución, podrá utilizar la capacidad de dilución.”*** [el ennegrecido es propio]

Además, criterio relevante que se incorporan en esta última y Minuta vigente de Criterios de Caudal de Dilución es que:

- En casos justificados y por resolución fundada es posible **revertir o modificar** una Resolución que haya determinado caudal disponible para diluir, lo cual deberá ser justificado a través de un análisis en donde se demuestre que han variado las condiciones hidrológicas que se tuvieron a la vista inicialmente, en su determinación. Dicho análisis, deberá regirse, por los criterios que establece esta Minuta 29/2013.

- Otro de los criterios agregados e importante en esta Minuta, tiene relación con la forma de la descarga y es que, si el interesado realiza la descarga en algún brazo de río o en zonas de río donde el caudal infiltra o por alguna razón se impide la mezcla del caudal de dilución, el titular podrá realizar obras, como por ejemplo, modificaciones de cauce, con el fin de asegurar que la descarga se produzca en las condiciones aprobadas. Dicha modificación de cauces debe cumplir con todos los permisos correspondientes respectivos de modificación de cauces.

La delegación en las regiones se mantiene, por lo tanto, los expedientes y las Resoluciones que determinan caudal de dilución se emiten desde cada Dirección Regional respectivamente. Sin perjuicio de lo anterior, el Nivel Central puede prestar apoyo a cada una de las regiones en la determinación en caso de que estas las soliciten.

Se incorpora la necesidad de actividades de terreno, para observar las condiciones del cauce donde se realizará la descarga, como una manera de verificar toda aquella particularidad que pueda afectar, disminuir o impedir la dilución en el punto solicitado. Dichas condiciones deberán ser registradas mediante fotografías y deberán ser tenidas en cuenta al momento de determinar el caudal de dilución. Para ello se indica en el Anexo 2 de la Minuta DGA, un Informe de Terreno Tipo que se debe elaborar (por la DGA) y que incluye un levantamiento fotográfico, observaciones y una memoria de cálculo.

Para la determinación del caudal de dilución, se debe tener como **base lo indicado en el DS14/2012, es decir, toma como base el caudal ecológico mínimo.**

Se mantiene lo que se indicaba en la Minuta 11/2005, respecto de que se debe verificar el **caudal ecológico teórico (o nominal)**, pero como fue indicado el 2008, **mes a mes**, Para la determinación del caudal de dilución se debía proceder a la verificación del caudal ecológico teórico (nominal) mediante un balance hidrológico en la sección de análisis. Esta verificación debe realizarse a nivel mensual, considerando para ello los caudales medios mensuales con una probabilidad de excedencia de 85%, los derechos permanentes consuntivos, continuos y discontinuos, constituidos aguas arriba<sup>4</sup> de la zona de interés (ver nota al pie) y los derechos no consuntivos constituidos aguas arriba de la sección que tengan su punto de restitución aguas abajo de la zona de interés. Para lo anterior, se debe utilizar un diagrama unifilar donde se incluyan todas las entradas y salidas agua arriba del punto de análisis.

El resultado del balance hidrológico se verifica para cada uno de los meses. Si es caudal resultante es mayor al caudal mínimo teórico (nominal), el caudal de dilución será igual a dicho  $Q_{\min}$  teórico; y si es menor, entonces el caudal de dilución para ese mes será el

---

<sup>4</sup> Un tema importante y que sigue siendo válido para la actual metodología, es que cuando la estadística se encuentra en régimen observado, sólo son descontados de los balances aquellos derechos concedidos o constituidos a contar de 1981 a la fecha, ya que se asume que dichos caudales no están siendo reflejados por las estadísticas utilizadas y deben ser respetados, en cambio, todos los derechos concedidos con anterioridad al año 1981 se asumen que se encuentran en uso y estos usos están siendo reflejados por la estación fluviométrica utilizada (la estación registra los excedentes de los usos históricos).

mínimo del valor del balance. De esta manera, el caudal de dilución puede variar durante el año, teniendo como límites además los criterios establecidos en el DS14/2012.

Para cauces artificiales y lagos, se mantienen los mismos criterios que se habían definido previamente en las Minutas anteriores, de que no se establece caudal de dilución en ellos, el primero porque no corresponde a la DGA y el segundo porque les aplica la tabla N°3 del DS90/2001.

En el caso de las zonas estuarinas, se mantiene lo indicado en la [Ref.2] Minuta S/N del 2004, en donde previo a determinar un caudal de dilución, la DGA debe confirmar que el punto se encuentra aguas arriba de la zona de protección litoral. Como fue mencionado, en el SITN°189/2009 se presenta el "Análisis Metodológico para determinar caudales de dilución en zonas estuarinas".

**REF. 7: Decreto Supremo No 71, MMA año 2015. Modifica DS14 del 2012 que aprueba Reglamento para la determinación del Caudal Ecológico Mínimo.**

El Decreto Supremo No 71, de 2014, publicado en el diario Oficial el 15 de enero 2015, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el "*Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo*", modifica el Decreto Supremo No 14, de 2012 previo.

Dentro de los Considerandos mas importantes, se señala textual, que:

- "3. Que, la exigencia de utilizar las estadísticas hidrológicas de los últimos 25 años para la determinación del caudal ecológico mínimo genera una serie de inconvenientes, entre ellos, distintas interpretaciones desde el punto de vista de la metodología hidrológica, necesidad de actualizar constantemente la información sobre oferta hídrica e información poco representativa del comportamiento del cauce. Asimismo, la regulación no considera la determinación de caudal ecológico mínimo en los casos de vertientes, lagos ni lagunas."
- "5. Que, asimismo, se estima necesario realizar un ajuste a la letra c) del artículo 7, a fin de reconocer los servicios Ecosistémicos que prestan las fuentes de aguas superficiales"

Dentro de los principales cambios o actualizaciones, se tiene que:

**“a) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del diez por ciento del caudal medio anual, se considerará el cincuenta por ciento del caudal de probabilidad de excedencia de noventa y cinco por ciento, para cada mes, con las restricciones siguientes:**

- i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo para ese mes será el diez por ciento del caudal medio anual.
- ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor a diez por ciento del caudal medio anual y menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia.

iii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento del caudal medio anual.

**b) Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:**

- i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento.
  - ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo, en esos meses, será el veinte por ciento del caudal medio anual.
- c) Para aquellos cauces donde no existen derechos con caudal ecológico mínimo, se aplicará, para los nuevos derechos, el criterio establecido en la letra b) con las mismas restricciones.
- d) Respecto a los cauces que presenten un comportamiento hídrico que no se ajuste a las fórmulas señaladas en los literales a) y b), tales como vertientes, el criterio para establecer el caudal ecológico es el veinte por ciento del caudal del promedio de los aforos, como valor constante sin variación mensual.
- e) Para los lagos y lagunas, con salida, el caudal ecológico será el que se determine en el desagüe, el cual se evaluará en base a los criterios definidos en las letras a) y b) según corresponda.
- f) Para aquellos derechos de aprovechamiento de agua cuya captación se haga mediante un embalse, el cumplimiento del caudal ecológico mínimo calculado con los criterios definidos en las letras a) o b), según corresponda, se verificará inmediatamente aguas abajo de la barrera ubicada en el álveo.”

El cálculo para la determinación del caudal ecológico se realizará utilizando estadísticas hidrológicas de al menos 25 años, dependiendo de la estadística con la cual se cuente en el cauce, y en el evento de contar con una estadística de mayor extensión, se deberá preferir **la de mayor extensión**. De no existir esta estadística para una fuente determinada, la DGA utilizará el método hidrológico más adecuado al caso concreto, de aquellos conocidos y aceptados por la técnica, lo que deberá quedar claramente fundado en el informe técnico.

En el caso de que exista en el tramo analizado un derecho de aprovechamiento de aguas constituido con un caudal ecológico mayor al calculado en la letra a), se mantendrá el caudal ecológico mayor para el nuevo derecho, con la limitación que no podrá exceder del 20% Qma (veinte por ciento del caudal medio anual) de la respectiva fuente superficial.

**REF. 8: Informe "Diagnóstico de la capacidad de dilución de cursos de aguas continentales superficiales" S.I.T. N372, Desarrolla Ingeniería - DGA, 2015**

Estudio desarrollado por la DGA a través de la empresa Desarrolla Ingeniería Ltda. en noviembre del año 2015, que tuvo por objetivo "*determinar el caudal disponible a diluir en 22 cauces asociados a descargas de plantas de tratamiento de aguas servidas*" (PTAS), a través de análisis hidrológicos y aplicando la metodología actual de la DGA estimación de caudal disponible del cuerpo receptor vigente (Decreto Supremo No 71, de 2014). Lo anterior, de manera de posibilitar a la DGA dar respuesta a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) sobre la materia.

Además de lo anterior, tuvo como fin aumentar el conocimiento de los procesos hidrológicos que intervienen y determinan los flujos de dilución. Las regiones consideradas la IV cuarta región, la RM Región Metropolitana y la IX región de la Araucanía.

Para determinar el caudal disponible del cuerpo receptor de los ríos donde se ubican las 22 PTAS, se realiza un estudio hidrológico en las cuencas a estudiar, poniendo énfasis en calcular los caudales medios mensuales para probabilidades de excedencia del 5, 25, 50, 75, 85 y 95% en cada punto de control que se defina, siendo los puntos de control estaciones fluviométricas.

En los casos en que el punto de dilución de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) se encuentre distante del punto de control, se realizó una transposición de caudales y un balance hidrológico en el punto de descarga.

En este estudio se detalla la metodología aplicada para primero obtener el caudal en el punto de descarga y luego la metodología para la determinación del Caudal disponible en el cuerpo receptor, lo cual es útil al momento de seguir una pauta para el caudal de dilución. Sin embargo, la metodología utilizada se basó en aspectos de análisis estadístico de caudales y toma como referencia el estudio "*Análisis Estadístico de Caudales en los ríos de Chile*" Elaborado por Prisma Ingeniería para la DGA, Año 1990.

La validación fue realizada mediante aforos en los ríos, en campañas efectuadas en los **meses de abril y mayo** de 2015. Estas campañas determinan el caudal de 22 ríos en los puntos de descarga de las PTAS, así como las características de la zona de descarga.

Como resultado del estudio, se obtuvieron los caudales disponibles de cada uno de los cuerpos receptores de cada PTAS respectivamente, y se compararon con el caudal de dilución que estaba determinado actual.

Se aprecia que en los cauces donde descargan las PTAS de Valdivia de Paine, Mininco, Purén, Lumaco, Traiguén, Curacautín, Vilcún y Gorbea cumplen con el actual caudal dilución. En el resto de las plantas existe por lo menos un mes en que el caudal determinado es menor al actual, incluso las PTAS de Peralillo, Vicuña y Talagante el caudal disponible del cauce receptor es nulo.

#### **4.1.2 En relación a vulnerabilidad de acuíferos**

La normativa que regula las descargas de residuos líquidos a las aguas subterráneas de Chile corresponde "NORMA DE EMISIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS SUBTERRÁNEAS", DS MINSEGPRES N°46/2002, en **adelante DS N°46/2002 [Ref.11]**, vigente desde el año 2002, que tiene como objetivo el "*de protección prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero*". A través de esta Normativa, se determinan las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del subsuelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo.

En relación con la aplicación del DS46/2002, la DGA debe pronunciarse respecto de 2 cosas: de la vulnerabilidad del acuífero y del contenido natural del cuerpo receptor. Para esos efectos podrá solicitar los antecedentes que estime conveniente al responsable de la fuente emisora.

En relación al contenido natural del cuerpos receptor, de manera informativa y adicional a los alcances del presente proyecto, se puede mencionar que la definición del contenido natural está dada también por el DS N°46/2002, en su artículo 4, a saber: "*Es la concentración o valor de un elemento en la zona saturada del acuífero en el lugar donde se produce la descarga de la fuente emisora, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico*". La DGA ha desarrollado una metodología para determinar el contenido natural de acuíferos, la cual se encuentra contenida en la Minuta DCPRH-DGA N°27/2012.[Ref.12]. Cada Dirección Regional de Aguas, debe visar el informe técnico presentado por el titular del proyecto o peticionario y dictar la Resolución Exenta en la cual establece el contenido natural del acuífero para los elementos que se indican en la Tabla N°1 del DS N°46/2002. Una copia de dicha Resolución será remitida al titular o peticionario(a) y otra a la SISS.

#### **- Determinación de la vulnerabilidad de acuíferos**

La metodología para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos se encuentra desarrollada y contenida en el "**Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas DS N° 46/2002 (SDT N°170)**", aprobado por Resolución DGA N°599/2004 [Ref.13]. Los titulares de los proyectos que infiltren (a saber, fuentes existentes) o requieran infiltrar (a saber, fuentes nuevas) y que sean considerados fuentes emisoras de acuerdo al DS N°46/2002, deberán presentar un informe con la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos de acuerdo a ese Manual. **Cada Dirección Regional debe visar el informe técnico presentado por el titular del proyecto y dictar la Resolución Exenta en la cual establece la vulnerabilidad del acuífero**, con copia a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

## 4.2 NORMATIVA EXTRANJERA

De acuerdo a las bases técnicas y para poder lograr un producto actualizado adecuado de la metodología del caudal de dilución, se ha revisado normativa extranjera de manera de dar a conocer el marco teórico o conceptual que en otros países de desarrollan las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y saber si en ellos se determinan caudales disponibles para diluir.

Antes de mencionar cada normativa, a manera introductoria se puede indicar que en Europa, la normativa define zonas de mezcla, siendo su imposición **responsabilidad de la autoridad ambiental local**, quien en el momento de fijar valores debe tener en cuenta los aspectos de los efectos del vertido, tales como: variabilidad espacio-tiempo, magnitud del incremento por encima de los objetivos de calidad, etc.

La legislación identifica este tipo de zonas de mezcla, estableciendo **diferentes usos**, los cuales se asocian con distintos requerimientos especiales en cuanto a los objetivos de calidad de agua. Para ello, establece criterios de calidad de agua a cumplir para los distintos tipos de uso, unos más restrictivos que otros, dependiendo de su vulnerabilidad ante los contaminantes.

La **Comunidad Europea** ofrece una guía para delimitar la extensión de la zona de mezcla (Mixing Zones) de un vertido pero dicho documento, como en general lo que emite la Directiva Marco del Agua (DMA), tiene carácter orientativo y no es de cumplimiento obligatorio por los diferentes países, por lo que las distintas autoridades ambientales pueden apartarse de esta guía e implementar una metodología más adecuada cuando sea necesario para cumplir mejor los objetivos de la Directiva 2013/93/CE.

En **España**, el vertido de aguas residuales tiene en general objetivos de calidad y límites de emisión. Ambos enfoques se respaldan con una legislación y **normas específicas, dependiendo de los usos del agua** (agua potable, sectores productivos, otros). También se definen los cánones de vertido y los métodos de medición.

En **Ecuador**, se cuenta con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes, cuya aplicación es obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas continentales y marinas, y en los sistemas de alcantarillado; **con criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos**; y métodos de medición.

En **Australia, Canadá y Estados Unidos**, existe una tendencia a establecer un **marco regulatorio general, cuyo objetivo es la protección del recurso hídrico y la prevención de la contaminación**. No obstante, en sectores específicos que descargan emisiones líquidas, se debe tratar el tema en forma particular para cada proyecto, a través del otorgamiento de **permisos**, donde la autoridad competente tiene en consideración todos los factores sitio-específicos, provenientes de estudios de impacto ambiental e investigaciones pertinentes locales.

La normativa **Australiana y Neozelandesa**, establece que la administración ambiental debe garantizar que los impactos debidos al efluente se encuentren efectivamente dentro de la **zona de mezcla**. En las situaciones en las que haya más de un vertido interviniendo en el área de interés, se indica que el tamaño combinado de las zonas de mezcla producido por los diferentes vertidos debe ser pequeño, **de manera tal que los índices de calidad y los usos acordados** y designados para el medio receptor, no se vean comprometidos. Para las especies sedentarias agudamente sensibles a componentes del efluente, la zona de mezcla puede llegar a ser una zona de sacrificio donde la recuperación ecológica será lenta cuando se detenga el vertido del efluente.

Cuando las condiciones hidrológicas son variables, la tasa de mezcla y la extensión del campo contaminante pueden variar con el tiempo, a veces requiriendo de una supervisión continua, y de la eventual suspensión del vertido durante un corto plazo.

A continuación, se señalan los principales consideraciones del marco regulatorio de los diferentes países analizados, en el marco del presente estudio y sus objetivos.

#### **4.2.1 Normativa Europea.**

Para evitar estos efectos nocivos tanto en el medio ambiente acuático como en la salud humana, en el año 2000 entró en vigencia la **Directiva Marco del Agua (DMA)** de la Comunidad Europea (CE) (WFD, 2000/60/EC), como parte de la legislación medioambiental de la Unión Europea (UE). (DMA o WFD *Water Framework Directive por sus siglas en ingles*).

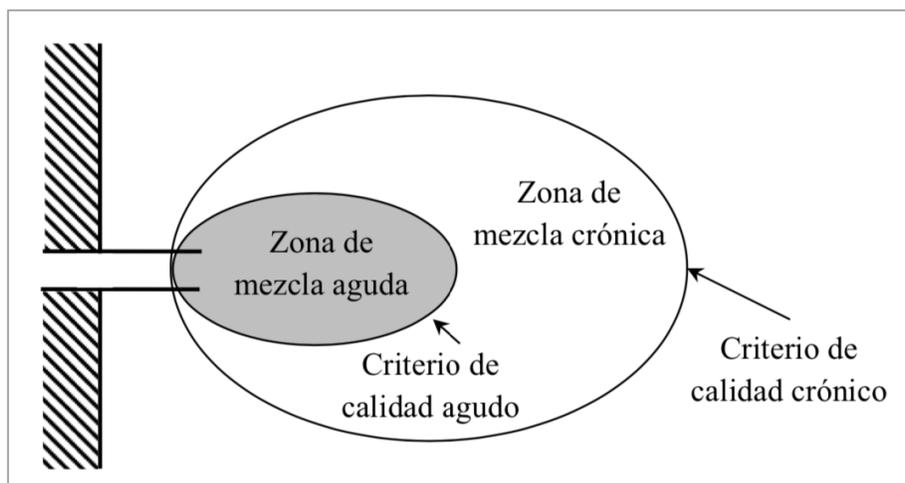
La DMA tiene como objetivo proteger el medio ambiente acuático y la salud humana mediante la reducción de los contaminantes en la fuente. Para lograr esto, la concentración de sustancias prioritarias debe ser inferior a los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (EQS por sus siglas en ingles) en las fuentes puntuales. Para ello la DMA (2000/60/CE) establece las Normas de Calidad Ambiental.

La implementación de la DMA ha sido un desafío para todos los países miembros de la UE, ya que requiere un enfoque común de todos los países miembros que tienen variaciones legislativas, económicas y ecológicas evidentes entre ellos. La variación entre países se ha reflejado en los cambios que ha seguido su estructura de gestión del agua para la implementación de la DMA. Así, en Francia, los Países Bajos y Dinamarca, en función de los impactos domésticos individuales, el proceso de implementación de la DMA ha seguido caminos diferentes (Lieverink et al., 2011) [*Water Framework Directive and Mixing Zone Guidelines, 2011*]

Para los casos en los que se tenga un vertido con sustancias prioritarias, como los vertidos industriales, en la DMA (2013/93/CE) se extiende esta definición estableciendo para cada sustancia identificada como contaminante de interés, sustancia tóxica o peligrosa, etc. dos tipos de valores límite: NCA-CMA Concentración Máxima Admisible y NCA-MA: Concentración Media Anual.

Las NCA-CMA corresponden a concentraciones que no deben superarse en ningún momento para poder afirmar que se cumplen los objetivos de calidad de agua, mientras que las NCA-MA representan un límite para las condiciones medias. De esta manera, mediante la aceptación de una **extensión máxima de la zona de mezcla (mixing zones)** definida con base en las NCA, las autoridades ambientales pueden ejercer un control sobre los impactos físicos, químicos y biológicos que genere el vertido en el medio. Hay casos en que la sustancia prioritaria excede el NCA en la descarga del efluente, sin embargo, deben cumplirse a una distancia cercana al punto de descarga. Las zonas cercanas a los puntos de descarga donde las sustancias prioritarias exceden los valores EQS relevantes se denominan zonas de mezcla.

**Figura 4.2-1: Esquema de Zona de Mezcla**



*Fuente: Rodríguez, A. 2016. Modificado de EPA.*

La verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua una vez que se haya puesto en marcha el vertido se realiza mediante una serie de muestreos en campo, en los que se mide directamente en el medio receptor la concentración de las sustancias introducidas por el vertido, realizados con una periodicidad dada. **Dichos muestreos se realizarán en localizaciones fuera de la zona de mezcla.** Siguiendo la filosofía de la definición de las NCA dada por la Directiva DMA 2013/93/CE, el valor medio de las concentraciones obtenidas de los distintos muestreos tomados en un período determinado no debe superar la NCA-MA y ninguno de los muestreos debe registrar concentraciones superiores a la NCA-CMA para la sustancia analizada. De la misma manera, es decir, mediante toma de muestras se puede definir la zona de mezcla.

Esta normativa deja abierta la definición específica de los criterios de admisibilidad de la zona de mezcla, siendo su imposición **responsabilidad de la autoridad ambiental local,** quien en el momento de fijar valores deberá tener en cuenta los aspectos de los efectos del vertido, tales como: variabilidad espacio-tiempo, magnitud del incremento por encima de los objetivos de calidad, etc.

Como ejemplos, se puede mencionar que: en Holanda, la normativa establece que la extensión máxima admisible de la zona de mezcla en el sentido longitudinal al cauce no exceda 10 veces el ancho medio, siempre y cuando sea menor a 1000 m. Por otra parte, en Austria, esta longitud será como máximo de 1000 m en ríos con una anchura de hasta 100 m, y de 10 veces la anchura para cauces mayores. Los efectos de la extensión de la zona de mezcla en el sentido transversal al cauce también deben someterse a criterios de admisibilidad ya que influye en procesos como las migraciones de ciertas especies de peces. En Holanda, por ejemplo, se establece que esta dimensión no debe superar el 25% del ancho del cauce.

La legislación identifica este tipo de zonas de mezcla, estableciendo diferentes usos, los cuales se asocian con distintos requerimientos especiales en cuanto a los objetivos de calidad de agua. Para ello, establece criterios de calidad de agua a cumplir para los distintos tipos de uso, unos más restrictivos que otros, dependiendo de su vulnerabilidad ante los contaminantes.

La Comunidad Europea ofrece una guía para delimitar la extensión de la zona de mezcla de un vertido en el documento "**Orientaciones Técnicas para la Identificación de las Zonas de Mezcla**", elaborado en cumplimiento con el artículo 4 de la Directiva 2008/105/CE (que ha sido modificada por la Directiva 2013/93/CE). En dicha guía se recomienda una "estrategia escalonada" en la que se evalúa el impacto ambiental del vertido con técnicas de diferentes niveles de complejidad. La idea principal es la de empezar con análisis sencillos y simplificados, cuyo carácter es ofrecer resultados del lado de la seguridad, e ir aumentando la complejidad de los cálculos según se vayan identificando los requerimientos en cada caso específico. Es importante señalar que este documento, como en general lo que emite la DMA, tiene carácter orientativo y no es de obligado cumplimiento por los diferentes países, por lo que las distintas autoridades ambientales pueden apartarse de esta guía e implementar una metodología más adecuada cuando sea necesario para cumplir mejor los objetivos de la Directiva 2013/93/CE.

Existen 4 niveles de análisis, dentro de las Orientaciones Técnicas. El Nivel 1 corresponde al análisis preliminar **previo a el estudio de las zonas de mezcla**. Se indica que para el caso de vertidos realizados en ríos, se evalúa si se produce un impacto significativo mediante la aplicación de un filtro preventivo que establece la admisibilidad de las zonas de mezcla asociadas a vertidos de pequeño volumen que no produzcan concentraciones excesivas de la concentración en el medio. Este filtro se aplica con base en el **incremento de concentración relativo (IR)** a los objetivos de calidad después de la mezcla completa del efluente, IR. Expresada en porcentaje de las NCA-MA como indicado en la ecuación (1) siguiente:

$$IR = \frac{CP}{NCA - MA} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$CP = \frac{C_0 \cdot Q_0}{Q_{río} + Q_0} \quad (2)$$

Donde CP es la contribución del proceso, definida bajo criterios de mezcla completa de sustancia conservativa como expresado en la ecuación (2). En (2)  $Q_0$  y  $C_0$  corresponden al caudal y la concentración en la descarga, respectivamente; y  $Q_{río}$  el caudal presente en el medio receptor.

En las ecuaciones anteriores se observa que al aumentar las condiciones del vertido, el factor IR aumenta, y si el río es grande y por ende presente un  $Q_{río}$  mayor, IR se hace menor.

La guía europea indica que como caudal del río " **$Q_{río}$** " para este cálculo se asuma aquel estadísticamente excedido el 90 % del tiempo, **Q90**, mientras que para las condiciones del vertido (caudal y concentración descargar) se tomen las condiciones medias, a excepción de cuando se cuente con una autorización de vertido en la que se indiquen condiciones máximas de vertido, en cuyo caso se toman dichas condiciones.

Dependiendo del IR y contrastándolo con las tablas de caudales y factor IR admisibles, si el incremento es mayor que los valores propuestos se considera que el vertido es significativo y el análisis debe llevarse al Nivel 2. El Nivel 2 corresponde al estudio Simple de la zona de mezcla. El análisis finaliza en el nivel 1 si la zona de mezcla generada por el vertido no es significativa en cuanto a que la cantidad de contaminante que introduce en relación a la masa de agua del medio receptor, y en cuanto a que no afecta ninguna zona sensible.

En el nivel 2, se realiza una estimación de la dimensión de la zona de mezcla utilizando modelos semiempíricos (como por ejemplo el modelo de Fischer). En estos modelos se utilizan ecuaciones aproximadas, basadas en hipótesis estacionarias y con grandes simplificaciones de los procesos de mezcla. Están destinados a calcular la concentración de un Contaminante a una distancia dada aguas abajo de un vertido realizado en un medio idealizado. Este tipo de formulaciones generalmente sobreestima los efectos del vertido en el medio. **La guía europea indica que en este nivel también pueden ser utilizados modelos específicos de vertidos disponibles comercialmente como el CORMIX o el VISUAL PLUMES.** En este nivel no se dan mayores indicaciones del cómo realizar los cálculos del caudal del río y/o condiciones de vertido.

En el nivel 3 se realizan análisis basados en modelos que incluyan los procesos complejos que describen la mezcla de las sustancias introducidas al medio mediante un vertido o un grupo de vertidos. Los modelos que se utilicen en este nivel deben ser capaces de trabajar con las variaciones espaciales y temporales del medio receptor y del efluente, tanto hidráulicas como de concentración. Deben ser capaces de analizar los procesos de mezcla

turbulenta, tanto en el campo cercano, reflejando las características del método de vertido, como en el campo lejano, simulando de manera adecuada la evolución del cauce. Además, los modelos matemáticos a utilizar deben ser capaces de incluir efectos de concentración de fondo de contaminantes y la interferencia con otros vertidos produciendo posibles solapamientos de zonas de mezcla. En resumen, a medida que se avanza de nivel, el uso de la modelización matemática es con el fin de obtener un cálculo más detallado.

Como es posible inferir de los niveles 2 y 3 antes descritos, son niveles que escapan a los alcances del presente estudio, por lo que, de los análisis de la Normativa de la Comunidad Europea, es posible **rescatar en el marco del caudal de dilución para la realidad chilena, que sólo se dan indicaciones específicas para el nivel 1, como el utilizar el Q90 para el caudal del río y condiciones medias de vertido.**

Se destaca de la Normativa Europea, ciertas recomendaciones o acciones de manera de reducir la extensión de la zona de mezcla, que pudieran servir de referencia para futuros criterios de parte de la autoridad fiscalizadora, enfocándose en:

- Mejorar las técnicas de tratamiento de aguas residuales que genera el efluente;
- Reducir el caudal o la concentración de vertido, pudiendo establecer restricciones temporales según la variabilidad de las condiciones hidrológicas (régimen de caudales) del medio receptor;
- Mejorar, en los casos en los que sea posible, el método de vertido para aumentar la dilución inicial;
- Controlar, en los casos en los que sea posible, el caudal del medio receptor.

#### **4.2.2 Normativa en España**

En España desde hace más de veinte años, desde la aprobación de la Ley 29/1985 de Aguas, hasta entonces vigente Ley de 1879, estableció la obligación de disponer de autorización administrativa para toda actividad susceptible de provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico y, en particular, el vertido de aguas y de productos residuales susceptibles de contaminar las aguas continentales.

De acuerdo al "Manual para la gestión de vertidos, del MMA 2007" (Ministerio de Medio Ambiente), en su Cap.6, de "*Contenido de la Autorización de Vertido*", se desprende que **las autorizaciones de vertido se otorgan en general por un plazo máximo de 4 o 5 años.** Tras su vigencia, las autorizaciones están sujetas a renovación automática por plazos sucesivos **si no hay incumplimiento de las normas de calidad ambiental del medio receptor.** Si se dan otras circunstancias, el **Organismo de cuenca** procederá a su revisión, notificándolo al titular con 6 meses de antelación.

El Capítulo 7 [MMA, 2007] del mismo Manual "Establecimiento de los Valores límite de Emisión", se aborda la determinación de los límites de vertido aplicables a una autorización

y se indica que debe realizarse mediante dos métodos, estableciendo como valor límite el más restrictivo de los dos:

- De acuerdo con la actividad generadora del vertido, teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles, esto es (tipo de vertido); o
- En función de los objetivos de calidad o normas de calidad medioambiental del medio receptor (incidencia del vertido).

El "enfoque combinado" expresado en la Directiva 2000/60/CE Marco de aguas, establece que se deben fijar los límites teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles, y que una vez hecho esto se debe analizar si son compatibles con la consecución de las **normas de calidad ambiental del medio receptor**, en caso contrario se deben establecer límites más rigurosos

La comprobación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental se evalúa de diversas maneras:

- a) Mediante Balance de Masas (BM): que representa un tanteo inicial, más o menos aproximado; y
- b) Modelo matemático de simulación: más preciso que el balance de masas, aunque de mayor complejidad.

a) El Balance de Masas.

Se basa en la ecuación de continuidad que es consecuencia del principio de conservación de la masa el cual establece que la masa (m), dentro de un sistema permanece constante en el tiempo (t), lo que analíticamente se expresa como:

$$dm/dt = 0$$

Dado un tramo de cauce en el que se produce la incorporación de varios vertidos, puede plantearse un balance de masas con la hipótesis de mezcla completa, cumpliendo para cada parámetro contaminante la siguiente igualdad:

$$M_e + \sum m_v = M_s$$

donde:

$M_e$  = masa del contaminante que entra en el tramo;

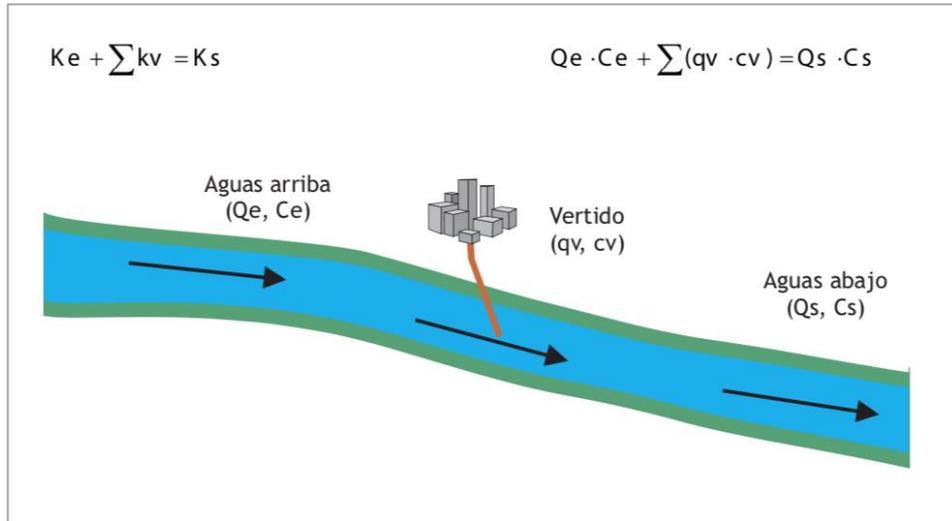
$m_v$  = masa que se incorpora de cada vertido;

$M_s$  = masa que sale del tramo.

La masa por unidad de tiempo o flujo másico, se denomina carga, y la carga contaminante asociada a un parámetro transportada por un cauce viene definida por el producto de su concentración por el caudal circulante, se tiene entonces:

$$K_{(Carga)} = Q_{(Caudal)} \cdot C_{(Concentración)}$$

En consecuencia, el balance de cargas viene dado por la expresión:



Fuente: Manual para la gestión de vertidos, del MMA 2007

donde:

- Ke = carga a la entrada del tramo
- kv = carga de cada vertido efectuado en el tramo
- Ks = carga a la salida del tramo
- Qe = caudal a la entrada del tramo
- Ce = concentración a la entrada del tramo
- qv = caudal de cada vertido efectuado en el tramo
- cv = concentración de cada vertido efectuado en el tramo
- Qs = caudal a la salida del tramo
- Cs = concentración a la salida del tramo

Para poder realizar esta simplificación del BM se asumen las siguientes hipótesis:

- 1) La mezcla es completa.
- 2) Los contaminantes son conservativos.
- 3) Sus cargas pueden sumarse.
- 4) La dilución es el único factor que afecta a su concentración en el cauce (se pueden despreciar los fenómenos de precipitación, sedimentación, volatilización, adsorción, etc.)

Lo antes descrito, resulta ser **comparativamente las mismas hipótesis que actualmente se aplican en la Dirección General del Aguas en Chile, a través de la metodología para la determinación del caudal disponible para diluir, de la Minuta N°29 del año 2013.**

De acuerdo al Manual MMA, 2007, si se desea evaluar el impacto de los vertidos existentes, se podría obtener la concentración a la salida, Cs, y el caudal de entrada vendría siendo el **caudal crítico o caudal especificado "Qe" para el establecimiento de la norma de calidad ambiental del tramo**. Se indica que este "Qe" puede ser:

- el caudal medio medido en el tramo o bien;
- un caudal establecido por medios estadísticos que refleje de alguna manera las condiciones más desfavorables de dilución. Se entrega como ejemplo **7Q10**, media del mes más desfavorable, **Q347**, **percentil 95**, etc.,

pero no se adopta en particular ninguno de ellos.

El desarrollo del balance (BM) requiere el conocimiento de los datos representativos de caudal y concentración del parámetro analizado en el medio receptor y el vertido. Referente a los datos de vertido, se utilizan los que se obtienen de la información suministrada en la declaración de vertido, junto con los rendimientos de depuración que pueden esperarse de acuerdo con el sistema de depuración propuesto. **En el caso de renovación o revisión de autorizaciones, los datos a utilizar serán los recopilados durante el control de vertidos.** En cuanto a los datos del medio receptor a utilizar, éstos pueden proceder de las estaciones ICA, estaciones de aforo u otras fuentes de información que aporten los datos requeridos.

Se entregan ejemplos de valores de caudal del medio receptor (Qe), que pueden utilizarse en el cálculo:

- Media de los caudales más bajos (mes más desfavorable, estación del año más desfavorable)
- Caudal medio de los años normales.
- Percentil 95.
- Q347 caudal superado 347 días al año, es decir, el 95% del año ( $347 / 365 = 0,95$ ).
- 7Q10 media de los 7 días consecutivos de menor caudal de los últimos 10 años (criterio de toxicidad crónica EPA).
- 1Q10 día de menor caudal de los últimos 10 años (criterio de toxicidad aguda EPA).

También se indica que, el criterio de selección del tipo de valores a utilizar, **siempre que se disponga de los datos**, vendrá determinado por el escenario del medio receptor sobre el que se desee analizar el efecto del vertido y estará definido de acuerdo con los criterios de seguridad que quieran adoptarse en las condiciones del vertido.

Lo antes indicado en el recuadro, es relevante a considerar para el caso chileno, en el cual depende caso a caso, depende de la región en que se esté, de la cuenca, del tipo de régimen del medio receptor, y los criterios de seguridad que se quieran adoptar. En este caso, se puede señalar, que el cálculo del caudal de dilución en Chile considera para el caudal crítico, el 50% del Q 95%, es decir, mucho más restrictivo o conservador que todas las anteriores.

## b) Modelo matemático de simulación

Para el caso de los modelos de simulación, se pueden diferenciar dos tipos de modelos, los que consideran la zona de mezcla y aquellos que consideran la mezcla completa.

De forma general, la modelización adopta como punto de partida las ecuaciones de conservación de la materia y de la cantidad de movimiento, desarrollando la evolución de la calidad del agua en función de la incorporación de cargas contaminantes. Debido a la amplia gama de parámetros considerados en la caracterización de la calidad de una masa de agua y las relaciones existentes entre ellos, la simulación requiere solucionar un complejo sistema de ecuaciones matemáticas

En principio la mezcla nunca es completa, sino que existe una zona alrededor del punto de vertido en la que las concentraciones de los contaminantes vertidos son más elevadas. Al aumentar la distancia al punto de vertido hacia aguas abajo, las concentraciones en el río tienden a homogeneizarse. **En España no existe una definición legal de hasta donde se extiende esta zona de mezcla, aunque como indicación puede considerarse que se ha producido la mezcla completa cuando la variación de concentraciones del parámetro considerado en una sección transversal del río es menor del 5%.**

Se menciona que en los últimos años se han desarrollado diversas aplicaciones informáticas que resuelven el sistema mencionado y que simulan el comportamiento de un medio receptor, considerando las características principales (caudal, régimen de flujo, detracciones e incorporaciones, climatología, sedimentos béticos) frente a una distribución espacial y temporal de vertidos y de sus cargas contaminantes.

**En la mayoría de los casos, al intentar establecer valores límite de emisión, es suficiente considerar la mezcla completa,** ya que el propósito suele ser asegurar que se cumplen los objetivos ambientales en la masa de agua en general, y los efectos tóxicos de esa zona de mezcla suelen ser de escasa entidad. Sin embargo, en algunos casos como puede ser para vertidos térmicos efectuados en zonas declaradas de protección de la vida piscícola, en los que hay que asegurar que el incremento de temperatura en el medio receptor aguas abajo de la zona de mezcla es menor de un determinado valor, es importante determinar hasta donde se extiende esta zona. Lo mismo puede suceder en caso de vertidos tóxicos que pueden generar dentro de la zona de mezcla valores de los parámetros que sobrepasen el umbral de toxicidad aguda de determinadas especies acuáticas impidiendo migraciones o provocando importantes mortandades.

Dentro de los Tipos de modelos, se menciona el QUAL2K, modelo aplicable a ríos y lagos. Permite simular los siguientes parámetros: Contaminantes minerales, algas, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fosfatos, DBO5, demanda bética, oxígeno disuelto, coliformes y radionucleidos incluye además reaeración, nitrógeno orgánico y las interrelaciones de este y el fósforo con los sedimentos béticos; y el CORMIX, modelo especialmente diseñado

para evaluar zonas de mezcla, tanto en medio acuático (continental y marino), como en atmósfera.

Es importante señalar que en el Anexo II del Manual para la gestión de Vertidos, del MMA 2007 de España, incluye información útil de *Tipos de Formularios y declaraciones de vertidos para las autorizaciones*, información que puede ser muy útil al momento de querer recurrir a alguna base para modificar lo que actualmente en Chile se solicita, por ejemplo, a ser considerado en los futuros cambios del anteproyecto de Norma del DS90.

#### 4.2.3 Normativa Canadiense

En Canadá, el Gobierno Federal y los Gobiernos Provinciales y Territoriales comparten la autoridad legislativa y normativa sobre la reglamentación del agua, protección ambiental y salud pública. En cada instancia, el Gobierno aprueba sus propias leyes y redacta sus regulaciones, incluyendo la fiscalización.

En relación al recurso hídrico, el Gobierno Federal es responsable de los temas de agua que afecten de manera considerable a la economía nacional, tales como la navegación, pesquería, aguas fronterizas y transfronterizas. Se consideran también los recursos hídricos en tierras de propiedad federal (parques nacionales) y los territorios o reservas indígenas. Entre las leyes federales importantes que administran el recurso hídrico está la **Ley sobre los Recursos Hídricos de Canadá (Canada Water Act de 1985)**, Ley Canadiense de Protección del Medio Ambiente (**Canadian Environmental Protection Act de 1999**) y la Ley de Pesca (*Fisheries Act de 1985*). [BCN<sup>5</sup>, 2018]

La normativa ambiental de Canadá, en el *Canada-wide Strategy for the Management of Municipal Wastewater Effluent (2009)*, define dos tipos de objetivos de calidad de agua para los medios naturales. En primer lugar se definen los Estándares de Desempeño Nacionales (*National Performance Standards*), que son los requerimientos mínimos en el efluente para toda entidad que realice un vertido al medio: Demanda Bioquímica de Oxígeno de la materia carbonácea (DBOC5): 25 mg/l; Sólidos Suspendidos Totales: 25 mg/l; y Cloro Residual Total: 0.02 mg/l.

En segundo lugar y en función de las características de cada vertido que se realice, se definen los **Objetivos de Descarga en el Efluente (Effluent Discharge Objectives)**. Éstos representan la concentración de una sustancia determinada que no debe ser superada en el efluente para proteger la salud humana y el medio receptor. Estos **objetivos son establecidos a través de una evaluación de riesgo ambiental** realizada

---

<sup>5</sup> Biblioteca Congreso Nacional/BCN, 2018. Marco regulatorio en Chile y algunas experiencias internacionales en materia de descarga de residuos líquidos a distintos cuerpos receptores. Ebaeza, 2018. SUP115406.

**específicamente para la zona del vertido** la cual debe incluir las características del efluente y **la zona de mezcla generada**. [Rodríguez,A. 2016].

En cuanto a las zonas de mezcla, se mencionan a continuación los principales criterios que recomienda la norma canadiense a tener en cuenta para establecer su admisibilidad:

- Evitar efectos adversos sobre los usos designados;
- La zona de mezcla no debe afectar los hábitats críticos de peces y de vida silvestre (por ejemplo, zonas de desove o cría de peces, hábitats de hibernación para aves acuáticas migratorias, etc.).
- Las zonas de mezcla deben establecerse **de tal manera que las tomas para agua potable no se encuentren dentro de ellas**.
- Las condiciones dentro de la zona de mezcla no deben dar lugar a la bioacumulación de sustancias de interés a niveles que sean perjudiciales para la salud de los organismos, de la fauna acuática, o los seres humanos.
- Debe mantenerse una zona de paso para los organismos acuáticos móviles.
- Las zonas de mezcla producidas **por vertidos adyacentes no deben superponerse**
- Se deben evitar los efectos adversos sobre las cualidades estéticas del cuerpo de agua receptor (p.e: olor, color, espumas, aceites, desechos flotantes, etc.).

Específicamente en cuanto a los vertidos realizados en ríos, la norma indica que las condiciones críticas de dilución corresponden a los períodos con menor caudal. En estas situaciones pueden presentarse fenómenos en los que pequeños vertidos en ríos de flujo no turbulento no alcancen a mezclarse con todo el flujo de la corriente hasta distancias considerables; o en las que con gran cantidad de caudal de efluente en una pequeña corriente natural se produzca la mezcla completa, pero los efectos de dilución sean mínimos. **La norma indica que hay que establecer límites a la dimensión de la zona de mezcla teniendo en cuenta este hecho**.

El caudal total del medio puede diluir el efluente antes de llegar a cualquier límite de longitud establecido, sin embargo, no debe asignarse el cien por ciento del flujo del medio a una única descarga con el fin de permitir el desarrollo de futuros vertidos y para mantener una zona de paso para peces, entre otras consideraciones.

La suma de todas las cargas vertidas puede dar lugar a concentraciones perjudiciales de sustancias. Por lo tanto, es necesario aplicar un **factor de dilución** que tenga en cuenta este hecho.

En cuanto al método de cálculo, la normativa Canadiense indica que el modelo a emplear para la evaluación de la zona de mezcla de un vertido debe ser capaz de analizar la masa de agua y los diferentes vertidos cercanos en su conjunto (similar a las recomendaciones europeas). Existen modelos diferentes que varían en su complejidad, métodos de modelización simplificada, como los modelos de estado estacionario, y métodos

sofisticados, como los modelos dinámicos, que tienen requisitos detallados y estimaciones más precisas que las obtenidas del peor de los escenarios considerados por los métodos simplistas. No obstante, cuando no estén disponibles herramientas y recursos para el modelado sofisticado, los enfoques simplistas son aceptables por esta norma. Esto último sería para el caso de Chile en la actualidad.

Sin embargo, la norma canadiense no detalla la metodología a seguir por estos modelos ni profundiza en sus requerimientos en cuanto a los procesos físicos a simular. Si precisa que requiere de un usuario con conocimientos de los conceptos de mezcla. También indica que debe obtenerse evaluaciones de zona de mezcla de un vertido basadas en mediciones empíricas (es decir datos medidos), éstas deberían reemplazar las que se hayan obtenido mediante modelos de cálculo.

#### 4.2.4 Normas Estadounidenses

En los Estados Unidos, los vertidos o descargas en general deben cumplir normativas a nivel nacional, y además deben contemplar las legislaciones de cada estado. Son las autoridades estatales las que finalmente autorizan o no un vertido.

A nivel nacional, cualquier entidad que quiera hacer un vertido debe conseguir un permiso siguiendo los lineamientos del "**National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES<sup>6</sup>)**" (Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes). Este sistema otorga **autorizaciones de vertido por un período máximo de 5 años**, de modo que periódicamente se puedan actualizar sus características desde el punto de vista técnico y de calidad de agua.

De acuerdo a lo especificado en el capítulo 5, del documento "*Manual de estándares de calidad del agua*" de la EPA, 2014 (Water Quality Standards Handbook), se señala que tanto los "Estados" como las "Tribus" pueden a su discreción, adoptar ciertas políticas en sus Water Quality Standard (WQS) o estándares de calidad del agua. Ejemplos de tales políticas generales incluyen aquellas que afectan por ejemplo, **las zonas de mezcla, los flujos bajos críticos y las variaciones de WQS**. Como indica la regulación, los estados y las tribus no están obligados a adoptar las políticas generales. Sin embargo, si un estado o tribu elige adoptar una política general, dichas políticas están sujetas a la revisión y aprobación o desaprobación de la Environmental Protection Agency (**EPA**) conforme a la Sección 303(c) de la **Ley de Agua Limpia (CWA)** en el caso de constituir WQS nuevos o revisados.

La **Zonas de Mezcla o Mixing Zone**, se define como un área o volumen limitado de agua donde tiene lugar la dilución inicial de una descarga y donde se pueden exceder ciertos criterios numéricos de calidad del agua. La ley de agua limpia no requiere que todos los

---

<sup>6</sup> <https://www.epa.gov/npdes>

criterios se cumplan en el punto exacto donde los contaminantes se descargan antes de la mezcla de dichos contaminantes con el agua receptora. A veces es posible exponer organismos acuáticos a una concentración de contaminantes por encima de un criterio durante un breve período dentro de un área limitada y claramente definida de un cuerpo de agua mientras se mantiene el **uso designado del cuerpo de agua** como un todo. Dependiendo del caso, un estado o una tribu autorizada puede encontrar apropiado permitir concentraciones ambientales de un contaminante por encima del criterio establecido en áreas pequeñas cerca de emisarios de fuentes puntuales.

En el Documento de Soporte Técnico para el Control de Tóxicos Basado en la Calidad Del Agua (*Technical Support Document for Water Quality-based Toxics Control, EPA, 1991*) se recomienda que las zonas de mezcla se deben designar de manera tal que se eviten condiciones letales para organismos acuáticos y que se asegure que el uso establecido para el cuerpo de agua no se vea afectado. Por lo general a nivel nacional no se establecen metodologías de cálculo de la zona de mezcla.

La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA 1991) define una zona de mezcla como un área donde la descarga de un efluente sufre tanto una dilución inicial como una dilución secundaria con el cuerpo de agua receptor. **Dentro de esta zona de mezcla se pueden exceder los criterios de calidad de agua** (los criterios de calidad de agua deben cumplirse en los límites de la zona de mezcla).

La EPA distingue dos tipos de zona de mezcla en función del tiempo de exposición del medio a condiciones de calidad de agua adversas. La primera corresponde a la zona de mezcla aguda, delimitada por la zona donde se alcanza los criterios de calidad de condiciones agudas de máxima concentración (CMC). Estos criterios definen condiciones que son adversas para los organismos necesitando relativamente poco tiempo de exposición. Este criterio podría ser comparado dentro de la normativa europea a las NCA-CMA. La segunda es la zona de mezcla crónica, dónde se cumplen los criterios de concentración crónicos (CCC), que definen condiciones que son adversas para las comunidades que dependen del medio bajo tiempos de exposición prolongados. Este criterio puede ser comparable con las NCA-MA de la normativa europea. La Figura 4.2-1 muestra un esquema de estas áreas definidas por la EPA.

Como ejemplo de normativas estatales puede citarse la del estado de Oregon (*Regulatory Mixing Zone Internal Management Directive. State of Oregon. Department of Environmental Quality*). En esta normativa se establece que se compruebe en principio si el vertido, cumpliendo con los lineamientos del Sistema Nacional de Eliminación de Descarga de Contaminantes (**NPDES**), no presenta un riesgo potencial de exceder los criterios de calidad de agua en el momento de la descarga. Si esto se cumple, el vertido puede autorizarse sin necesidad de establecer un control en la zona de mezcla. En caso contrario se debe comprobar si es posible la dilución en el medio receptor. Puede determinarse que no es posible la dilución en aquellos casos en los que se presentan condiciones de **poco flujo de agua en el medio receptor**, o cuando los criterios de calidad de agua se

encuentren limitados, ya sea por concentración de sustancias de fondo o por vertidos previos. Si la dilución es posible, debe realizarse un estudio de la extensión de la zona de mezcla del vertido para analizar la posibilidad de autorizarlo. Esta norma tampoco establece una metodología específica para la realización de este estudio, pero se especifica que debe tener un nivel apropiado, lo que significa que debe considerar las características ambientales de la zona, y las características hidráulicas del medio receptor así como las de la descarga.

Otro ejemplo es el del estado de Wisconsin, en su normativa *Guía de Zonas de Mezclas para Toxicidad Crónica y Zonas de Dilución Inicial (Mixing zone guidance for chronic toxicity and zones of initial dilution)*, en las que se indica que no se podrán autorizar vertidos en caso que existan: efluentes que sean atractivos para los peces u otros organismos acuáticos móviles; Zonas de mezcla que interfieran con áreas de desove, cría, o rutas migratorias de especies acuáticas; Zonas de mezcla que se superpongan o estén a una distancia menor de 5 veces el ancho del medio receptor.

Por lo tanto, se reconoce la importancia de las zonas de mezcla y de poder definir las correctamente, aunque no se especifique que metodología hay que seguir para el análisis. Esto demuestra de que en general, las normativas de los distintos países coinciden en cuanto al concepto de establecer una zona de mezcla y difieren en los valores límite para aquello y en los diversos criterios de permisividad.

En el capítulo 5, del documento "*Manual de estándares de calidad del agua*" de la EPA, 2014 (Water Quality Standards Handbook (2014, EPA- WQS handbook-chapter5), dentro del análisis de las zonas de mezcla, se presenta en el capítulo 5.2 ciertos alcances que se vinculan con el presente proyecto del cálculo del caudal de dilución, pero se refieren a los "**Caudales bajos críticos para la implementación de los criterios de calidad del agua**" o "**Critical Low Flows for Water Quality Criteria Implementation**".

Para garantizar que los criterios adoptados protejan los usos designados, los estados ( y tribus) generalmente establecen valores críticos de flujo bajo para respaldar la implementación de los criterios aplicables a través de programas como los que permite el NPDES.

Las **condiciones críticas de flujo bajo** presentan desafíos especiales para la integridad de la comunidad acuática y la protección de la salud humana. La dilución es uno de los principales mecanismos por los cuales las concentraciones de contaminantes en las descargas de efluentes se reducen después de su introducción en el agua receptora. Los caudales bajos en el agua receptora generalmente agravan los efectos de las descargas de efluentes porque, durante un evento de caudal bajo, hay menos agua disponible para la dilución, lo que da como resultado concentraciones más altas de contaminantes en la corriente. Por lo tanto, la **dilución permisible** (que puede ser solo una parte del flujo bajo crítico según el WQS, con el fin de determinar la necesidad y establecer WQBEL (water

quality-based effluent limits) en los permisos NPDES debe garantizar la protección de los criterios aplicables en el valor crítico de flujo bajo calculado.

La mayoría de los estados de USA generalmente siguen la guía del *Technical Support Document For Water Quality-based Toxics Control (TSD<sup>7</sup>) de (1991)* cuando se adoptan valores críticos de flujo bajo para la implementación de criterios.

**La EPA recomienda que se adopten los valores críticos de flujo bajo para usar en análisis de estado estacionario para que los criterios se implementen de manera adecuada.** Si los criterios se implementan utilizando valores críticos de flujo bajo inapropiados (es decir, valores calculados que son demasiado altos), el control resultante de contaminantes tóxicos puede no ser totalmente protector porque las concentraciones ambientales resultantes podrían exceder los criterios cuando ocurren tales flujos bajos.

En el Apéndice D de la TSD y en el documento "*Technical Guidance Manual for Performing Wasteload Allocations, Book VI: Design Conditions – Chapter 1: Stream Design Flow for Steady-State Modeling (1986)*" la EPA describe y recomienda dos métodos para calcular los valores críticos aceptables de flujo bajo: (1) el método tradicional basado en la hidrología desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y (2) un método basado en la biología desarrollado por la EPA. El valor de caudal bajo crítico con base hidrológica se determina estadísticamente usando probabilidad y valores extremos, mientras que el caudal bajo crítico con base biológica se determina empíricamente usando la duración y frecuencia específicas asociadas con el criterio. En la Tabla 4.2-1 siguiente se presenta el resumen de estos criterios:

**Tabla 4.2-1: Resumen de Criterios para caudales bajos críticos**

Criterios	Flujo basado criterio hidrológico (USGS)	Flujo de base biológica (EPA)
Vida acuática aguda	1T10	1B3
Vida acuática Crónica	7T10	4B3

Fuente: Tabla 5.1. *Water Quality Standards Handbook Chapter 5: General Policies, EPA 2014.*

De la Tabla anterior, el método basado en la hidrología, 1T10 representa el evento de caudal promedio de un día más bajo que se espera que ocurra una vez cada diez años, en promedio, y el 7T10 representa el evento de caudal promedio de siete días consecutivos más bajo que se espera que ocurra una vez cada diez años, en promedio. En el caso del método basado en la biología, 1B3 representa el evento de flujo promedio de un día más bajo que se espera que ocurra una vez cada tres años, en promedio, y 4B3 representa el evento de flujo promedio de cuatro días consecutivos más bajo que se espera que ocurra una vez cada tres años, en promedio.

<sup>7</sup> <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/owm0264.pdf>

La EPA también ha recomendado valores críticos de flujo bajo que difieren de las recomendaciones anteriores para contaminantes específicos como 30Q5, 30Q10 y 30B3 para implementar criterios crónicos por ejemplo para el amoníaco.

#### 4.2.5 Normas Australianas y Neozelandesas

La legislación y regulaciones específicas australiana que controlan y protegen el recurso hídrico en su territorio, determina los requerimientos necesarios para mantener la calidad de sus aguas, es decir, cada Estado o territorio establece los límites de emisión de contaminantes a cuerpos de agua a través del otorgamiento de licencias que especifican la cantidad y concentración máxima de contaminantes en la descarga de residuos líquidos.

Las regulaciones son administradas y controladas por la Autoridad de Protección Ambiental/Agencia o Departamento Ambiental de la Jurisdicción respectiva. Además, el Gobierno Federal elabora Guías Ambientales relacionadas con el control de la contaminación de las aguas (*Guías para la Calidad de Aguas Dulces y Marinas en Australia y Nueva Zelanda, del año 2000*), las cuales se diseñan para apoyar la toma de decisiones de empresas y autoridades ambientales de cada Estado. Actualmente estas guías conforman una pauta de control de calidad del agua detallada y con un amplio respaldo de investigación científica. No obstante, no constituyen una obligación legal dentro de los Estados o jurisdicciones territoriales para el manejo de la calidad del agua en Australia. Cada Estado o territorio ha sido invitado a desarrollar su propio marco legal, el que debe ser compatible y consistente con estas Guías ya acordadas a nivel nacional.

El establecimiento de criterios de calidad para distintos cuerpos de agua (aguas dulces, lagos, humedales, estuarios, aguas marinas, entre otros) es lo más relevante de estas Guías, los que dependen en parte del uso de esas aguas, ya sea humano, industrial, agrícola u otro. Entre los distintos usos considerados están: Protección del Ecosistema Acuático (aguas dulces y marinas), Recreación y Estética, Agricultura y Ganadería y la Acuicultura.

Los valores límite para contaminantes en ecosistemas acuáticos indicados en las Guías provienen de un avanzado análisis estadístico de información (bases de datos) referente a toxicidad acuática. Estos valores límite fueron calculados para distintos niveles de protección, que implica un porcentaje de vida acuática a ser protegido.

La norma australiana para la gestión de la calidad del agua, corresponde a "*National Water Quality Management Strategy*<sup>8</sup>. *Australian Guidelines for Sewerage Systems. Effluent Management, 1997*", la cual trata sobre los **requerimientos en el tratamiento del efluente antes del vertido**. También promueve la reutilización del efluente en los casos en los que sea posible. Por otra parte, también se hace referencia a las normas Australianas y neozelandesas para la calidad del agua dulce y salada, "*Australian and New Zealand*

---

<sup>8</sup> <https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/effluent-management.pdf>

*Guidelines for Fresh and Marine Water Quality*<sup>9</sup> que definen las zonas de mezcla como las áreas cercanas a los efluentes donde no es necesario alcanzar los valores de calidad del agua del medio receptor, y son por lo tanto zonas de exclusión de protección ambiental.

Esta normativa establece que la administración ambiental debe garantizar que los impactos debidos al efluente se encuentren efectivamente dentro de la **zona de mezcla**. En las situaciones en las que haya más de un vertido interviniendo en el área de interés, se indica que el tamaño combinado de las zonas de mezcla producido por los diferentes vertidos debe ser pequeño, **de manera tal que los índices de calidad y los usos acordados** y designados para el medio receptor, no se vean comprometidos.

Para las especies sedentarias agudamente sensibles a componentes del efluente, la zona de mezcla puede llegar a ser una zona de sacrificio donde la recuperación ecológica será lenta cuando se detenga el vertido del efluente.

Cuando las condiciones hidrológicas son variables, la tasa de mezcla y la extensión del campo contaminante pueden variar con el tiempo, a veces requiriendo de una supervisión continua, y de la eventual suspensión del vertido durante un corto plazo.

Puede producirse un sutil detrimento ecológico en sitios remotos de la zona de mezcla, especialmente en sistemas fluviales, cuando se introduce material particulado, ya sea directamente a través del efluente o generado por la interacción con el agua a temperatura ambiente.

Las zonas de mezcla pueden inhibir la migración de los peces en los ríos pequeños, sobre todo en condiciones de bajo caudal del río. Para definir la zona de mezcla esta normativa permite la utilización de diferentes metodologías que van desde modelos conceptuales simplistas basados en el análisis de casos críticos, hasta modelos más complejos que analizan las condiciones particulares de cada caso.

Se indica que para el correcto uso de un modelo, es importante entender las diferentes condiciones de descarga y las condiciones ambientales que pueden encontrarse, así como también la frecuencia con la que es probable que ocurran estas diferentes condiciones. Los resultados deben ser por lo tanto discutidos en términos de probabilidad, y del rango de incertidumbre en las predicciones del modelo. En cuanto a los requerimientos del modelo a emplear para el análisis del vertido, las normas australianas y neozelandesas recomiendan tener en cuenta por ejemplo que: el modelo más simple que incluya los procesos requeridos, cuente con un registro de validación bueno y accesible; que se conozcan suficientemente bien las hipótesis hechas en la formulación y las consecuencias de dichas hipótesis; y que la complejidad esté acorde con los datos disponibles.

---

<sup>9</sup> <https://www.waterquality.gov.au/guidelines/anz-fresh-marine>  
<https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/framework>; <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines>

Como es posible apreciar, la norma Australiana también radica los esfuerzos en estudiar la Zona de mezcla y también se usan modelos. Sin embargo, no se encontraron mas detalles del caudal mínimo o crítico asimilable al caudal de dilución. **Se pone mayor énfasis en la supervisión de los datos y en realizar acciones concretas sobre el efluente mismo.**

#### **4.2.6 Normativa en Ecuador.**

En Ecuador, la **Ley de Gestión Ambiental de 1999** constituye el cuerpo legal específico más importante en la protección ambiental del país, al que incluye instrumentos de aplicación de normas ambientales las normas de efluentes y emisiones. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, así como determina las obligaciones, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo.

En el **año 2003 se publica el "Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente"**, compuesto por IX Libros, y el Libro VI corresponde a Calidad ambiental, **Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes**. Esta Norma Técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y que unifica la legislación secundaria ambiental y aplica a todo el territorio Nacional.

Dentro de las líneas de acción, esta Norma determina lo siguiente:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de **las aguas para sus distintos usos**; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

Esta Normativa de descargas de efluentes, incluye en 3.1 Clasificación por Usos, los que van desde "1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización", hasta "9. Criterios de calidad para aguas de uso industrial"; y en " 3.2 Criterios generales de descarga de efluentes", los que incluye la Normas y límites máximos permisibles.

Como criterios generales para descarga de efluentes, se indica en numeral 4.2.1.1 que el regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.

Un punto relevante a destacar, es que se encuentra prohibido todo tipo de descarga en: las cabeceras de las fuentes de agua, aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determine el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, Consejo Provincial o Municipio Local y, en todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos. (Ref. numeral 4.2.3 de la Norma Técnica).

Existe una única Tabla N°12 con los límites para descarga a un cuerpo de agua dulce.

Por otro lado, existe la "*Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*", promulgada en el año 2014. Tal como lo define su nombre, en dicha ley se definen (en la Sección II) la prelación de los Usos del Agua, los cuales quedan definidos a través de "Los planes de gestión integral de recursos hídricos por cuenca hidrográfica".

Los municipios son las autoridades encargadas de realizar los monitoreos a la calidad de los cuerpos de agua ubicados en su jurisdicción, llevando los registros correspondientes, que permitan establecer una línea base y de fondo que permita ajustar los límites establecidos en esta Norma en la medida requerida.

Dentro del análisis de la normativa de Ecuador, se tuvo acceso a un documento de trabajo previo al final de la Normativa antes señalada, **Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes [2003\_Libro VI\_PROPUESTA ANEXO 1\_Norma de Calidad de Aguas Ecuador.pdf]**, en el cual finalmente el que quedó descartó cierta información que mencionaba balances y modelo matemáticos. Se infiere, que aún no se tenía toda la información que pudiera ser aplicable a cada caso por la normativa.

Considerando los objetivos del presente informe, se considera importante indicar lo que mencionaba dicho Anexo preliminar, sólo como referencia para el análisis del caudal mínimo para dilución. Se señalaba que para obtener los permisos de descarga y vertidos los sujetos de control deberían realizar entre otros estudios, modelos matemáticos de la carga contaminante en relación a la capacidad de carga del cuerpo de agua receptor, los cuales serían requeridos por la autoridad ambiental mediante la norma técnica específica. Dicho párrafo fue eliminado.

La determinación de los límites de calidad para un vertido determinado se efectuaría mediante la siguiente relación desarrollada a través de un balance, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades, lo cual finalmente también fue eliminado (ref. 2003\_Libro VI\_PROPUESTA ANEXO, numeral 5.2.4.2 pág 25 pero documento no es la versión final de la Norma):

$$C_e = C_c + (C_c - C_r) R \quad \text{En donde:}$$

$C_e$  = concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en el vertido (o efluente tratado), para mantener el objetivo de calidad en el tramo aguas abajo del vertido, en condiciones futuras.

$C_c$  = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo del vertido.

$C_r$  = concentración del contaminante en el tramo aguas arriba del vertido, cuyo valor debe ser menor que la concentración que el criterio de calidad  $C_c$ .

$R = Q_r/Q_e$  = relación de caudales entre el río y el vertido

$Q_r$  = caudal crítico de cuerpo receptor, generalmente correspondiente a un período de recurrencia de 10 años y siete días consecutivos o caudal con una garantía del 95%, antes del vertido o caudal ambiental.

$Q_e$  = Caudal del descarga en condiciones futuras (generalmente se considera de 25 años, período que es el utilizado en el diseño de las obras de descontaminación).

*Fuente: texto tomado de 2003\_Libro VI Propuesta Anexo numeral 5.2.4.2. Pág. 25*

Si se observa, aparece un "Qr" como caudal crítico del cuerpo receptor, el cual se establecía podía asimilarse al 7Q10, o al caudal de probabilidad de excedencia del 95%, sin embargo, dicho análisis no quedó en la Norma Final.

Por otro lado, el concepto de caudales ecológicos, como una cantidad de agua que debe quedar en el río, fue introducido de forma aislada y en concordancia con la gestión sectorizada del agua en el Acuerdo Ministerial No.155, R.O. 41 del 14 de marzo de 2007, como Norma Técnica Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

Mediante Decreto Ejecutivo N°1088 del año 2008 se crea la Senagua otorgándole las competencias que eran del ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) para que la Senagua en coordinación con el MAE regule mediante norma expresa el tema de caudales ecológicos.

De lo antes expuesto, no se encontró información formal y vigente que permita vincular el concepto de caudal disponible para diluir o Caudal crítico del cuerpo receptor. El caudal ecológico tiene otros fines u objetivos.

#### **4.2.7 Normativa de Perú**

Dentro del análisis de la normativa de Perú, se tuvo acceso a la "Guía para la Determinación de las Zona de Mezcla y La Evaluación del Impacto del Vertimiento de Aguas Residuales Tratadas a un Cuerpo Receptor de Agua, 2017". Este documento se elabora como parte del proceso de adecuación de lo establecido en el artículo 7 del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, en relación con la verificación de estándares de Calidad Ambiental fuera de las

zonas de mezcla, particularmente en el numeral 7.2: "La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente".

Esta guía, propone criterios y metodologías para la determinación de la zona de mezcla en un cuerpo receptor natural de agua.

Entre los criterios propuestos en el punto 3. Determinación del Caudal disponible para dilución, se encuentran los siguientes:

- Si se dispone de una serie histórica del caudal del cuerpo receptor medido o generado mediante modelo hidrológico calibrado de por lo menos cinco años, en la ubicación del vertimiento, el caudal crítico será el valor mínimo de los caudales mensuales medidos en los últimos 5 años. En estos no se deberá considerar los caudales extremos debidos a la ocurrencia de fenómenos naturales, como el fenómeno El Niño.
- Cuando no se dispone de una serie histórica del caudal, se efectúa una medición del caudal del cuerpo receptor al final del mes, en el cual el promedio multianual de las precipitaciones mensuales tiene el valor mínimo (determinado con base en el récord histórico de la estación meteorológica más cercana).

El caudal crítico será un 50% del valor aforado.

En los casos que el cauce es parte de un sistema hidrológico regulado, el mes del aforo deberá ser determinado mediante una serie histórica de caudal.

- En el caso que el proyecto prevea la regulación del caudal del cuerpo receptor y deba asegurar un caudal mínimo para la atención de otros usos aguas abajo, el caudal crítico será igual al caudal mínimo establecido en el Instrumento de Gestión Ambiental.
- Cuando el caudal del vertimiento tenga una variabilidad mensual significativa, se recomienda efectuar los mismos análisis anteriormente señalados, pero para cada mes.

Por otra parte, se presentan criterios de reducción del caudal crítico en los casos en que la zona de mezcla se encuentre restringida.

#### 4.2.8 Resumen del Estado del Arte en Normativa Internacional

La normativa ambiental de los distintos países reconoce por una parte que las actividades humanas producen vertidos que introducen sustancias contaminantes en los cuerpos de agua, y, por otra, que para la gestión de los recursos hídricos es ineludible cumplir con los **objetivos de calidad de agua establecidos**. Para permitir la convivencia de estas dos situaciones, **las autoridades ambientales en general en el resto de los países admiten la existencia de una zona de mezcla, área dentro de la cual no se cumplen los objetivos de calidad de agua mientras se produce la dilución del vertido**. En esta medida, se le da importancia a delimitar la extensión que tiene la zona de mezcla de un vertido. Cuanto menor sea la extensión de la zona de mezcla, menor será la afección que sufre el medio receptor tras el vertido, y mayor será el área donde se cumplan los objetivos de calidad ambiental.

Por este motivo, las diferentes normativas indican que la admisibilidad de la zona de mezcla deberá estudiarse en función a que tan grande sea su impacto en el medio receptor.

La realidad Europea (DMA 2000/60/CE), entrega Guías Orientativas a los países, pero cada país o sector, dependiendo de su enfoque, decide si seguirlas o no. La verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua una vez que se haya puesto en marcha el vertido se realiza mediante una serie de muestreos en campo, en los que se mide directamente en el medio receptor dentro y fuera de la zona de mezcla, siendo responsabilidad de la autoridad local. En Chile, la exigencia de medición se realiza sobre el efluente vertido y no sobre el medio receptor.

En la CE existe lo que se denomina "**Orientaciones Técnicas para la Identificación de las Zonas de Mezcla**", elaborado en cumplimiento con el artículo 4 de la Directiva **2008/105/CE** (que ha sido modificada por la Directiva 2013/93/CE) y que define una estrategia escalonada dependiendo de los diferentes grados de complejidad.

Es en el nivel 1, donde aparece un concepto que podría ser asimilable al caudal disponible para diluir, denominado "caudal presente en el medio receptor" o "Qrío" y que se encuentra en las fórmulas de Contribución del Proceso (CP) usada bajo la hipótesis de mezcla completa de sustancia conservativa. **En dicho cálculo se recomienda usar un caudal estadísticamente excedido el 90% del tiempo, es decir Q90.**

Más que el Q90 de la Guía DMA 2013/93/CE, destacan otras consideraciones o recomendaciones, que permitirían resguardar o reducir las zonas de mezcla y que pudieran servir de referencia para futuros criterios de parte de la autoridad fiscalizadora, y que fueron enunciadas más arriba:

- Mejorar las técnicas de tratamiento de aguas residuales que genera el efluente;

- Reducir el caudal o la concentración de vertido, pudiendo establecer restricciones temporales según la variabilidad de las condiciones hidrológicas (régimen de caudales) del medio receptor;
- Mejorar, en los casos en los que sea posible, el método de vertido para aumentar la dilución inicial;
- Controlar, en los casos en los que sea posible, el caudal del medio receptor.

En particular, la Normativa de España, nos indica a través del "Manual para la gestión de vertidos, del MMA 2007" (Ministerio de Medio Ambiente), que existen **autorizaciones de vertido que se otorgan en general por un plazo máximo de 4 o 5 años**. Tras su vigencia, las autorizaciones están sujetas a renovación automática por plazos sucesivos **si no hay incumplimiento de las normas de calidad ambiental del medio receptor**. Si se dan otras circunstancias, el **Organismo de cuenca** procederá a su revisión, notificándolo al titular con 6 meses de antelación.

De acuerdo a la Directiva Marco Europea 2000/60/CE, establece que se deben fijar los límites teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles, y que una vez hecho esto se debe analizar si son compatibles con la consecución de las **normas de calidad ambiental del medio receptor**, en caso contrario se deben establecer límites más rigurosos. Dicha comprobación, la que mas se aplica a la realidad chilena, es la del Balance de Masa (BM), que se basa en la ecuación de continuidad que es consecuencia del principio de conservación de la masa y se asume la hipótesis de mezcla completa.

Existen una serie de hipótesis al momento de aplicar BM, y lo descrito en dicho Manual resultan ser **comparativamente las mismas hipótesis que actualmente se aplican en la Dirección General del Aguas en Chile, a través de la metodología para la determinación del caudal disponible para diluir, de la Minuta N°29 del año 2013**.

Además, la normativa española sugiere ciertas metodologías para cálculo de caudal en el cuerpo receptor, las cuales varían desde un caudal medio, hasta métodos que requieren de mayor información a nivel diario como, **por ejemplo, 7Q10, Q347, percentil 95, etc.**, sin adoptar o recomendar en particular ninguno de ellos.

También se indica que, el criterio de selección del tipo de valores a utilizar, **siempre que se disponga de los datos**, vendrá determinado por el escenario del medio receptor sobre el que se desee analizar el efecto del vertido y estará definido de acuerdo con los criterios de seguridad que quieran adoptarse en las condiciones del vertido.

Lo antes indicado en el recuadro, es relevante a considerar para el caso Chileno, en el cual depende caso a caso, depende de la región en que se esté, de la cuenca, del tipo de régimen del medio receptor, y los criterios de seguridad que se quieran adoptar. En este caso, se puede señalar, que el cálculo del caudal de dilución en Chile, considera actualmente para el caudal de dilución, el **50% de Q 95% (mitad del caudal de probabilidad de**

**excedencia 95%)**, es decir, una de los más restrictivos o conservadores de las anteriores propuestas o recomendadas por la Normativa Española.

Respecto a las zonas de mezcla, en España no existe una definición legal de hasta donde se extiende esta zona de mezcla, aunque como indicación puede considerarse que se ha producido la mezcla completa **cuando la variación de concentraciones del parámetro considerado en una sección transversal del río es menor del 5%**.

La normativa ambiental de Canadá, *Canada-wide Strategy for the Management of Municipal Wastewater Effluent (2009)*, en función de las características de cada vertido define los Objetivos de Descarga en el Efluente (*Effluent Discharge Objectives*). Estos objetivos son establecidos a través de una evaluación de riesgo ambiental realizada específicamente para la zona del vertido la cual debe incluir las características del efluente y la zona de mezcla generada.

En cuanto a las zonas de mezcla, dentro de los principales criterios, se establece que las tomas para agua potable no se encuentren dentro de ellas y que las zonas de mezcla producidas por vertidos adyacentes no deben superponerse. Este es un tema relevante y que actualmente en Chile no se encontraría regulado.

Específicamente en cuanto a los vertidos realizados en ríos, la norma indica que las condiciones críticas de dilución corresponden a los períodos con menor caudal. En este sentido, el concepto en Chile de caudal de dilución como un caudal mínimo crítico es consistente con lo señala en la Normativa Canadiense.

El caudal total del medio puede diluir el efluente antes de llegar a cualquier límite de longitud establecido, sin embargo, no debe asignarse el cien por ciento del flujo del medio a una única descarga con el fin de permitir el desarrollo de futuros vertidos y para mantener una zona de paso para peces, entre otras consideraciones.

Se rescata además de la normativa canadiense que, la suma de todas las cargas vertidas puede dar lugar a concentraciones perjudiciales de sustancias, por lo tanto, es necesario aplicar un **factor de dilución** que tenga en cuenta este hecho. En cuanto al método de cálculo, la normativa Canadiense indica que el modelo a emplear para la evaluación de la zona de mezcla de un vertido **debe ser capaz de analizar la masa de agua y los diferentes vertidos cercanos en su conjunto** (similar a las recomendaciones europeas). Sin embargo, la norma canadiense no detalla la metodología a seguir por estos modelos ni profundiza en sus requerimientos en cuanto a los procesos físicos a simular. Si precisa que requiere de un usuario con conocimientos de los conceptos de mezcla.

En relación a la Norma Estadounidense, considera de base la NPDES<sup>10</sup>, el cual otorga autorizaciones por períodos máximos de 5 años, similar al caso de España, de modo que

---

<sup>10</sup> *National Pollutant Discharge Elimination System*

periódicamente se puedan actualizar sus características desde el punto de vista técnico y de calidad de agua.

Al igual que todas las anteriores, también considera las zonas de mezcla, y relacionado con la temática, considera **flujos bajos críticos**. Se encuentran definidos usos para el agua. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA 1991) define una zona de mezcla como un área donde la descarga de un efluente sufre tanto una dilución inicial como una dilución secundaria con el cuerpo de agua receptor.

Por lo tanto, se reconoce la importancia de las **zonas de mezcla** y de poder definir las correctamente, aunque no se especifique que metodología hay que seguir para el análisis. Esto demuestra de que en general, **las normativas de los distintos países coinciden en cuanto al concepto de establecer una zona de mezcla** y difieren en los valores límite para aquello y en los diversos criterios de permisividad.

Del documento "*Manual de estándares de calidad del agua*" de la EPA, 2014 (Water Quality Standards Handbook (2014, EPA- WQS handbook-chapter5), dentro del análisis de las zonas de mezcla, se presentan ciertos alcances que se vinculan con el presente proyecto del cálculo del caudal de dilución, pero se refieren a los "**Caudales bajos críticos para la implementación de los criterios de calidad del agua**" o "**Critical Low Flows for Water Quality Criteria Implementation**".

Las **condiciones críticas de flujo bajo** presentan desafíos especiales para la integridad de la comunidad acuática y la protección de la salud humana. La dilución es uno de los principales mecanismos por los cuales las concentraciones de contaminantes en las descargas de efluentes se reducen después de su introducción en el agua receptora. La **dilución permisible** (que puede ser solo una parte del flujo bajo crítico según el WQS, con el fin de determinar la necesidad y establecer WQBEL (water quality-based effluent limits) en los permisos NPDES debe garantizar la protección de los criterios aplicables en el valor crítico de flujo bajo calculado.

**La EPA recomienda que se adopten los valores críticos de flujo bajo para usar en análisis de estado estacionario para que los criterios se implementen de manera adecuada.** Dentro de los valores recomendados para los valores críticos se encuentra el 7T10 o 7Q10 (criterio USGS) y que corresponde a el evento de caudal promedio de siete días consecutivos más bajo que se espera que ocurra una vez cada diez años (es decir, período de retorno 10 años – T10, en promedio).

Para la realidad en Chile, de poder aplicar el método 7T10, que es equivalente al "7Q10", se requiere tener información de caudales mínimos diarios, en las estaciones del país, dicha situación no ocurre en todas las estaciones existiendo vacíos en gran parte de ellas. Por otra parte de obtener la información necesaria en las estaciones esta se encuentra en un 99% en un punto distinto de las descargas solicitadas, no resulta un método para el caudal de dilución factible de aplicar. Por lo demás, analizado ciertos casos internacionales en los

cuales a través de tesis o estudios particulares se han aplicado dichos criterios, el método de 50% Q95% resulta más restrictivo, y por lo tanto, para la aplicabilidad en Chile, sería un criterio aún más conservador que el 7Q10.

Las Normas Australianas y Neozelandesas, también abordan el análisis de las zonas de mezcla como las áreas cercanas a los efluentes donde no es necesario alcanzar los valores de calidad del agua del medio receptor, y son por lo tanto zonas de exclusión de protección ambiental. No se encontraron detalles o descripción que vinculara con un caudal mínimo necesario para la dilución. **Por el contrario, se pone mayor énfasis en la supervisión de los datos y en realizar acciones concretas sobre el efluente mismo.**

En relación a la Normativa en Ecuador, [Ref. Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, 2003] se aplican criterios de calidad para distintos usos, estableciendo clasificación por usos. De la información recopilada, hubo alguna técnica pero que finalmente no habría sido implementada en la versión final de la Normativa de Calidad ambiental y descarga de efluentes.

En ella se recomendaba un caudal crítico ( $Q_r$ ) del cuerpo receptor, el cual se establecía podía asimilarse al 7Q10, o al caudal de probabilidad de excedencia del 95% (Q95), sin embargo, nada quedó estipulado finalmente.

Para el caso de Perú también se analizan las zonas de mezcla, y los criterios recomendados para el caudal crítico o mínimo son en resumen el menor valor mensual cuando se cuente con una serie histórica del caudal medido o generado mediante modelo hidrológico calibrado en el punto de descarga y cuando no existe esta información será el 50% del aforo a finales del mes de menor caudal histórico.

En consideración, a todo lo analizado se concluye que el criterio del 50% del caudal con 95% de Probabilidad de excedencia (50%Q95%), es entre, los criterios utilizados internacionalmente uno de los más conservadores.

Dado lo anterior, se estima continuar utilizando el criterio del 50%Q95% y poder retomar ciertos temas en la actualización de la metodología, con el único fin de hacer más robusta la verificación del cálculo del caudal de dilución y su actualización para considerar los cambios hidrológicos ocurridos hasta la fecha.

Considerando todo lo anterior, y también considerando la historia y marco normativo nacional, **los criterios propuestos se analizan y presentan en el numeral 4.3.**

#### 4.2.9 Brechas que no son aplicables al caudal de dilución

- **Definición de Zona de Mezcla**

Una de las brechas que se observan al analizar las normativas internacionales y las diferencias que existen con la regulación en Chile, es lo relacionado con las zonas de mezcla, cuestión que en Chile no existe y no se sabe si el anteproyecto de norma DS90 lo considera. Las autoridades ambientales en general, en el resto de los países, admiten la existencia de una zona de mezcla, definida en base estándares de calidad ambiental (NCA).

Mediante la aceptación de una extensión máxima de la zona de mezcla (*mixing zones*) definida con base a los NCA, las autoridades ambientales pueden ejercer un control sobre los impactos físicos, químicos y biológicos que genere el vertido en el medio. Hay casos en que la sustancia prioritaria excede el NCA en la descarga misma del efluente, sin embargo, deben cumplirse a una distancia cercana al punto de descarga. Las zonas cercanas a los puntos de descarga donde las sustancias prioritarias exceden los valores definidos relevantes se denominan zonas de mezcla. La concentración de sustancias prioritarias debe ser inferior a los valores de los NCA en las fuentes puntuales. Para ello se establecen las Normas de Calidad Ambiental<sup>11</sup>.

En general, la metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla son establecidos por la Autoridad respectiva que vela o regula el Agua en cada país respectivamente y en coordinación con el Ministerio del Ambiente y/o la autoridad competente.

Se observa que, en general, se le da importancia a delimitar la extensión que tiene la zona de mezcla de un vertido, mas que a definir un caudal de dilución. Cuanto menor sea la extensión de la zona de mezcla, menor será la afección que sufre el medio receptor tras el vertido, y mayor será el área donde se cumplan los objetivos de calidad ambiental.

También se le da énfasis y mayor relevancia a la verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua. Una vez que se ha puesto en marcha el vertido se realiza mediante una serie de muestreos de terreno, en los que se mide directamente en el medio receptor (cauce receptor) la concentración de las sustancias introducidas por el vertido, realizados con una periodicidad dada. Dichos muestreos se realizan en localizaciones fuera de la zona de mezcla. Considerando la filosofía de la definición de las NCA dada por la Directiva DMA 2013/93/CE, el valor medio de las concentraciones obtenidas de los distintos muestreos tomados en un período determinado no debe superar la NCA-MA (media anual) y ninguno de los muestreos debe registrar concentraciones superiores a la NCA-CMA (Concentración Máxima Admisible) para la

---

<sup>11</sup> En el caso de Chile están las Normas Secundarias de calidad ambiental, que dan cuenta de la calidad de aguas en un tramo de río, que incluye descargas puntuales y difusas.

sustancia analizada. De la misma manera, es decir, mediante toma de muestras se puede definir la zona de mezcla.

Para estudiar la zona de mezcla, se recurre a diferentes métodos dependiendo de cada país, pero en general varía entre levantar datos desde monitoreos y captura de datos, de manera de definir ciertas variables físicas que permitan relacionar el cauce (ancho, profundidad, etc.) y además mediciones de concentraciones a lo largo del cauce, hasta modelaciones avanzadas. Lo anterior depende de la información con la que se cuenta para cada caso.

Sería beneficioso y aconsejable que la Normativa en Chile pudiese avanzar en esa línea, de manera de proteger el cauce receptor y junto ello hacer seguimiento y verificación del cumplimiento de los objetivos de calidad de agua. Todo ello en plena coordinación con autoridades locales y en sintonía con las Normas Secundarias de Calidad del Agua.

- **Mas de una descarga en un punto.**

Actualmente, la metodología aplicada en Chile para el caudal de dilución se basa en la conservación de la Masa y con ello se admite que puedan existir más de una descarga en un mismo punto o muy cercanos entre sí.

Del análisis realizado de las Normas Internacionales, se pudo evidenciar que en varias de ellas se regula que no exista más de una descarga, básicamente para evitar la intersección o superposición de zonas de mezcla, y con ello proteger el recurso y la biota acuática existente.

- **Definir tipo de Uso en los cauces**

Otra de las brechas importantes que fue posible evidenciar del análisis, es la definición o clasificación de tipos de uso de aguas en los cauces. Con ello, se permite definir cuál será el tipo de uso principal del cauce y establecer claramente cuáles serán las restricciones y objetivos de calidad.

Lo anterior, permite una priorización de usos y canalizar de mejor manera los esfuerzos de seguimiento y fiscalización.

Por señalar algunos ejemplos, será distinto establecer los estándares de calidad de un cauce con uso de navegación, a que sea un cauce que se ha definido de uso para el consumo humano.

- **Permiso de Descarga**

Otras de las brechas que se levanta, tiene relación con que en otros países se otorgan "autorizaciones de vertido", las que son de manera temporal. A diferencia en Chile, en que es sin un tiempo definido.

Las autorizaciones son renovables y tras su vigencia, las autorizaciones están sujetas a renovación automática por plazos sucesivos siempre y cuando no exista incumplimiento de las normas de calidad ambiental del medio receptor. Si se dan otras circunstancias, el organismo de cuenca correspondiente procederá a su revisión, notificando al titular con tiempo de antelación.

Como es posible evidenciar, al entregar un permiso con un tiempo acotado (5 o 6 años por ejemplo), existirá un mayor control de las descargas y por lo tanto es posible un mayor manejo del control de la calidad de las aguas y de protección del recurso.

- **Regulación y medición fuera de la zona de descarga**

Se pone mayor énfasis en la supervisión de los datos y en realizar acciones concretas sobre el efluente mismo, fuera de la zona de mezcla.

En varios de los países, son los municipios las autoridades encargadas de realizar los monitoreos a la calidad de los cuerpos de agua ubicados en su jurisdicción, llevando los registros correspondientes, que permiten establecer una línea base y de fondo que permita ajustar los límites establecidos de la Norma que aplique en la medida requerida.

Lo que ocurre en Chile, es que no existiría un plan de monitoreo o seguimiento rutinario o de frecuencia periódica en las zonas aguas abajo de las descargas, excepto en aquellos proyectos sometidos al SEIA o cuando se producen emergencias o contingencias. Luego se entiende que no existe un seguimiento como parte de una regulación en los cauces y en las zonas de directa relación con los puntos de descarga.

### 4.3 CRITERIOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA METODOLÓGICA

Como se evidenció del capítulo anterior, existen brechas en la regulación Chilena, que escapan a los alcances del presente estudio, pero que se dejan a la vista de la DGA para que lo tenga en consideración en las actividades y trabajos normativos actuales y futuros, como en la actualización del anteproyecto de Norma DS90.

Las acciones y criterios que se incluyen en la propuesta de nueva metodología de cálculo de caudal de dilución, Apéndice 1, se explican a continuación.

- La metodología actual del cálculo del caudal disponible para de diluir toma como base el caudal ecológico mínimo. La determinación del caudal ecológico mínimo se debe realizar en consideración a lo establecido en el Decreto Supremo N°14 del año 2012, modificado por el Decreto Supremo N°71 de 2015, ambos del Ministerio del Medio Ambiente.

Lo anterior necesariamente establece una relación entre el caudal disponible para diluir y el caudal ecológico, lo cual, en la práctica, no debiera relacionarse dado que ambos tienen objetivos distintos. Es relevante entender que el caudal ecológico tiene fines ambientales de preservación y deben respetarse en todo momento; en cambio el caudal de dilución, es un caudal mínimo necesario en el cauce, pero corresponde al caudal máximo que tendrá el Titular en una fuente de descarga y tener así la opción de diluir sus concentraciones, entre los valores establecidos en la Tabla N°1 y Tabla N°2 (DS90/2001).

Por otra parte, al establecer que el caudal disponible para diluir se debe calcular en base a los DS N°14/2012 y N°71/2015, ambos del Ministerio del Medio Ambiente, establece una serie de restricciones en relación con la factibilidad de efectuar los ajustes para considerar las variaciones hidrológicas producidas en los últimos años, en consideración a que, los cálculos de los balances efectuados por el Departamento de Administración y Recursos Hídricos de la DGA (DARH), para el otorgamiento y establecimiento de caudales ecológicos en los puntos solicitados, no consideran en su gran mayoría, registros posteriores al año 2012.

Considerando lo anterior, la primera modificación que se propone es establecer que el caudal disponible para diluir se basa en la determinación de un **caudal mínimo o crítico** que escurre en el cauce receptor en el punto solicitado y no corresponde al caudal mínimo ecológico.

Dicho caudal mínimo o Crítico, se determinará, mediante un análisis hidrológico, el cual debe reflejar las variaciones hidrológicas de los últimos años, producto por ejemplo, del cambio climático.

Para ello, se deben generar los caudales a nivel medio mensual en el punto de descarga, mediante algún método hidrológico aceptado, directo o indirecto. Es fundamental en la elección del método a utilizar **la experiencia y coordinación de los profesionales** tanto del DCPRH como de la Unidad de Administración de Recursos Hídricos (UARH), para mantener la coherencia entre el método utilizado para la determinación del caudal disponible para diluir, como en la administración de los derechos de aprovechamiento.

- Para la generación de los caudales se debe considerar como regla general, la utilización de información que contenga a los menos los registros **de los últimos 30 años**, los cuales deben ser contabilizados desde diciembre del año anterior a la presentación de la solicitud. Se debe considerar la mayor extensión de información disponible hasta el año 1980. Esto es válido tanto para la generación mediante métodos directos como indirectos. Este es otro punto relevante que se modifica, dado que hasta la fecha se utiliza el periodo considerado por el DARH, el cuál en la mayoría de los casos es desde 1980 hasta 2012. **Por lo cual, con este cambio, se incorporaría así la variabilidad hidrológica de los últimos tiempos (cambio climático), asimilable a cada zona y cada punto en particular.**

En aquellos casos en que el cauce receptor no se ajuste a ninguna metodología, se debe solicitar efectuar aforos durante un año<sup>12</sup> y resolver considerando estos aforos.

Los caudales generados en el punto anterior se presentarán a diversas probabilidades de excedencia principalmente a 5%, 10%, 50%, 85% y 95%.

- **Incluir aforos para la época de estiaje, caso a caso**, de manera de validar la metodología utilizada para la generación de los caudales efectuada en el punto anterior. Esta validación debe ser efectuada cuando amerite, considerando los lineamientos que establezca el Departamento de Administración de Recursos Hídricos.
- **Determinación Caudal Mínimo o Crítico:** Una vez generado los caudales a las distintas probabilidades de excedencia y validada la metodología en los casos que corresponda, se procede a determinar el caudal mínimo crítico, el cual será el menor valor entre:
  - El 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia para cada mes, en el punto.
  - El 20% del Caudal medio anual, en el punto.

---

<sup>12</sup> Estos aforos, dependiendo de las características del cauce, pueden ser a nivel mensual o a nivel quincenal en los meses de estiaje y la periodicidad debe ser establecida por el técnico en consideración a su conocimiento del cauce en cuestión.

- Posteriormente, se debe validar mediante un **balance en el punto el caudal mínimo o crítico determinado**. Dicho Balance se realiza según la siguiente expresión:

$$Q_{pasante} = Q_{85\%} - \text{Derechos a Respetar}$$

Donde,

- $Q_{85\%}$  = Caudal con 85% de probabilidad de excedencia determinado en la etapa de generación de caudales.
- Derechos a respetar, serán:
  - Derechos superficiales consuntivos permanentes, ubicados aguas arriba del punto de descarga.
  - Derechos superficiales no consuntivos permanentes, cuya captación se ubique aguas arriba del punto de descarga y la restitución aguas abajo

Para la determinación de los derechos a respetar se debe tener especial cuidado en aplicar los siguientes Criterios:

- a. **Derechos constituidos anteriores al año 1980**. No se descuentan por considerar que se encuentran en ejercicio y, por lo tanto, ya descontados de la estadística.
- b. **Regularizaciones**. En consideración a que uno de los requisitos para regularizar un derecho de aprovechamiento por el 2º Transitorio del Código de Aguas, es haber estado en ejercicio a lo menos 5 años, a la entrada en vigencia del código de 1981, se considera que dichos derechos ya se encuentran en ejercicio y por lo tanto descontados de la estadística. En consecuencia, no se descuentan del balance.
- c. Se debe tener especial cuidado en **no arrastrar déficit**, hacia aguas abajo, es decir, si un derecho de aprovechamiento fue constituido como permanente a una probabilidad de excedencia menor del 85%, se debe determinar el caudal existente al 85% y respetar dicho caudal si este es menor al constituido.
- d. De igual forma se debe considerar revisar especialmente aquellos derechos de gran magnitud, en relación con el caudal de escurrimiento del cauce. Si dicho derecho debe respetar un caudal ecológico, se debe verificar cual es el caudal permanente de este derecho que es factible de captar respetando el caudal ecológico. El mismo tratamiento se deberá realizar en aquellos derechos asociados a una RCA y que establezcan un caudal ambiental mayor el determinado por la DGA.

e. Aquellos derechos constituidos que no son según Informes técnicos afluentes del cauce no deben ser descontados del balance.

- Finalmente, el caudal disponible para diluir en el punto de descarga se propone como el caudal mínimo entre:
  - El caudal mínimo o Critico;
  - El caudal pasante en el punto resultante del balance efectuado.
- Otro cambio relevante, se refiere a que se debe indicar en la Resolución respectiva, que el caudal disponible para diluir tendrá una vigencia de 5 años contados desde la fecha de dictación de la resolución. El titular deberá solicitar antes del término de este plazo la nueva determinación del caudal disponible para diluir.

De igual forma se debe indicar que, en aquellos casos, en los cuales, existiendo el caudal de dilución, pero por efecto de la morfología del cauce, intervención de terceros, etc. no se produce la mezcla entre el caudal descargado y el agua en el cuerpo receptor, entonces será responsabilidad del Titular realizar las obras necesarias para asegurar dicha mezcla. Para ello, deberá obtener todos los permisos necesarios y pertinentes (establecidos en el Código de Aguas<sup>13</sup>).

Algunos ejemplos de la aplicación de lo señalado anteriormente son:

- La descarga se realiza en un sector donde el cauce se divide en dos o más brazos;
- Zonas donde por el ancho del cauce este se desvía hacia el lado opuesto donde se realiza la descarga;
- Otro punto relevante que se debe considerar dice relación con la aprobación del proyecto de descarga. En este sentido la Resolución DGA N°135 (Exenta) del año 2020, señala que las obras de efluentes líquidos a cauces, deben contar con los permisos de modificación de cauce, establecidos en los artículos 41 y 171 del Código de Aguas.  
Luego, será responsabilidad del titular solicitar a la Dirección General de Aguas la aprobación del proyecto de descarga, de acuerdo con lo dispuesto en dichos artículos.

Se recomienda, que en la resolución que aprueba el proyecto de descarga, se indique "Será responsabilidad del solicitante verificar la existencia del caudal disponible para

---

<sup>13</sup> Resolución N°135 (Exenta) "Determina Obras y características que deben o no deben ser aprobadas por la Dirección General de Aguas en los términos señalados en el artículo 41 del Código de Aguas", 31 de enero de 2020.

diluir en el punto de descarga, la DGA determinará la frecuencia y época en la cual se debe realizar la verificación y reporte de esta información”.

En este mismo sentido, para los casos, en que producto de la configuración del cauce, se deban presentar proyectos de modificación de cauce para asegurar la mezcla entre el caudal descargado y las aguas del cuerpo receptor, el titular deberá junto con la presentación del proyecto para aprobación de la DGA, indicar un sistema que permita establecer una alerta en las ocasiones que el caudal de dilución no se encuentre en el sector de descarga o sea inferior al establecido y/o utilizado por el titular, para asegurar que las intervenciones del cauce se realicen en forma oportuna.

- Considerando la variabilidad de los cauces lóticos y las particularidades de los puntos de descarga, se debe verificar, la existencia del caudal de dilución establecido. En relación con lo anterior, se debe entender que el caudal de dilución establecido o determinado a través del acto administrativo es el caudal máximo de agua que puede ser considerada para la determinación de la tasa de dilución. Sin embargo, es el titular el que decidirá si utiliza el caudal determinado o uno inferior, asociado al nivel de tratamiento específico que adopte para las aguas descargadas. En este sentido, los caudales que se deberán verificar corresponderán a los realmente utilizados por el titular.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 EN RELACIÓN AL CATASTRO DE RESOLUCIONES DE CAUDAL DE DILUCIÓN

Del trabajo realizado en la sistematización y revisión de las resoluciones de caudal de dilución y de vulnerabilidad de acuíferos, se evidencia que no existe un formato único para las resoluciones que establecen caudal de dilución o vulnerabilidad de acuífero, no existiendo un único canal de ordenamiento de la información que contiene la Resolución en la DGA. Por lo anterior, la información que contiene cada resolución depende de la DGA regional que la dicta. Por lo tanto, no existe un único canal de ordenamiento de los actos administrativos que dicta la DGA, en este tipo de materias.

Del trabajo realizado, se recomienda establecer una nomenclatura única para identificar los expedientes administrativos de solicitudes de determinación de caudal disponible para diluir y otra nomenclatura para vulnerabilidad de acuíferos, en el CPA, que permitirá homogenizar la información que se entrega en cada resolución y facilitar la completitud de información en el sistema que se implemente para su seguimiento.

Mientras no se implemente este requerimiento en el CPA, se recomienda **instruir a las direcciones regionales para** que el ingreso en el CPA de los expedientes (VV), se complete en algún campo específico, tal como "Descripción de la Fiscalización o Expediente Antiguo o Respuesta al Solicitante", etc. que se ingrese el Código de Expediente definido para Caudal disponible para diluir o para Vulnerabilidad de acuífero. Lo anterior, permitirá identificar de una manera más simple y efectiva los expedientes relacionados a estas materias, lo que permitirá contar con información confiable futura en el caso de hacer una actualización de estos tipos de Resoluciones.

### 5.2 EN RELACIÓN A LA PROPUESTA METODOLÓGICA ACTUALIZADA

La nueva metodología propuesta para el cálculo del caudal a diluir, se considera conservadora y que permitirá poder representar las condiciones más actuales de los regímenes hidrológicos en los puntos de descarga que se analicen. Para ello se incluyeron nuevos criterios, tales como:

- Se establece el concepto de caudal de dilución, basado en la determinación de un **caudal mínimo o crítico** que escurre en el cauce receptor en el punto solicitado y no corresponde al caudal mínimo ecológico;
- El caudal mínimo o crítico, se determinará mediante un análisis hidrológico, el cual refleja las variaciones hidrológicas de los últimos años, producto por ejemplo, del cambio climático. El caudal mínimo o crítico corresponderá al mínimo entre: el 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia para cada mes, en el punto; y el 20% del caudal medio anual, en el punto.

- Para la generación de los caudales en el punto de descarga, se propone utilizar información que contenga a los menos los registros de los últimos 30 años, los cuales deben ser contabilizados desde diciembre del año anterior a la presentación de la solicitud. De existir la información se debe utilizar la estadística desde 1980 al año anterior al ingreso de la solicitud. Este cambio, incorpora la variabilidad hidrológica de los últimos tiempos (cambio climático), asimilable a cada zona y cada punto en particular;
- Se incluyen aforos para la época de estiaje, caso a caso, de manera de validar la metodología utilizada para la generación de los caudales. Esta validación debería ser efectuada cuando amerite, considerando los lineamientos que establezca el Departamento de Administración de Recursos Hídricos.
- El caudal disponible para diluir en el punto de descarga se propone como el caudal mínimo entre (a) El caudal mínimo o crítico; y (b) El caudal pasante en el punto resultante del balance efectuado.
- Otro cambio relevante, es que se propone indicar en la Resolución respectiva, que el caudal disponible para diluir tendrá una vigencia de 5 años contados desde la fecha de dictación de la resolución. Para ello el titular deberá solicitar antes del término de este plazo la nueva determinación del caudal disponible para diluir.

Del análisis de la normativa extranjera, fue posible por un lado verificar que los estadígrafos actuales usados por la DGA, tales como "50%Q95%" resultan ser conservadores para el cálculo del caudal mínimo crítico, frente a la gamma de otras posibilidades que se aplican en el exterior; y por otro lado, permitió evidenciar temas que cobran relevancia y que en Chile no se aplican ni usan. Lo anterior, se levantan como brechas del análisis internacional, ya que escapan a los alcances del cálculo de caudal de dilución y a las atribuciones mismas que la DGA posee.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- REF.1. DGA, 2001. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales y Calidad Natural. Minuta Técnica N°6, DCPRH-DGA - del 16 de noviembre del 2001. DGA. S.D.T N° 110.
- REF.2. DGA, 2004. Minuta Técnica S/N, DCPRH-DGA - de Octubre 2004. S.D.T N° 191. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales.
- REF.3:DGA, 2005. Minuta N°11. Criterios para la Determinación de Caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. DCPRH. SDT N°200, septiembre 2005.
- REF.4:DGA, 2008. Minuta N°143 Criterios para la determinación de caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. Determinación de Q Dilución, Nov2008.
- REF.5:MMA, DS14/2012. Decreto Supremo No 14, del 2012, (DS14/2012) del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo.
- REF.6:DGA, 2013. Minuta N°29 Criterios para la determinación de caudales Disponibles para la Dilución en Cuerpos Receptores Superficiales. Determinación de Q Dilución, 15 octubre 2013.
- REF. 7:Decreto Supremo N°71, del Ministerio del Medio Ambiente, año 2015. Modifica DS14 del 2012 que aprueba Reglamento para la determinación del Caudal Ecológico Mínimo. Diario Oficial 15 de enero 2015.
- REF. 8:Informe "Diagnóstico de la capacidad de dilución de cursos de aguas continentales superficiales" S.I.T. N372, Desarrolla Ingeniería - DGA, 2015.
- REF.9: Estudio: "Análisis Metodológico para determinar caudales de dilución en zonas estuarinas", SIT N°189 año 2009. DGA-Universidad de Chile, 2009
- REF.10: DS N°90/2001 que "Establece Normas de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las descargas de Residuos Líquidos de Aguas Marinas y Continentales Superficiales".
- REF.11: DS N°46/2002 que "Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.

- REF.12: Minuta N°27/2012, DCPRH-DGA. Actualiza procedimientos ante solicitudes de determinación de contenido natural en el marco de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas D.S. N°46/2002.
- REF.13: Manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos en la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas DS N° 46/2002, SDT N°170)", aprobado por Resolución DGA N°599/2004.
- REF.14: Manual de Aplicación del D.S.N° 46/2002. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2003.
- REF.15: Manual de Aplicación del D.S.N° 90/2002. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2002.
- REF.16: Manual de Normas y Procedimientos del Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, SIT N°132, junio 2007.

## **7. ANEXOS**

### **ANEXO 1: Bases de Datos de las Resoluciones Q Dilución y Vulnerabilidad**

Entregado en Formato digital

### **ANEXO 2: Resoluciones de Caudal de Dilución y Vulnerabilidad**

Entregado en Formato digital

### **ANEXO 3: Mapas –Figuras**

Entregado en Formato digital

### **ANEXO 4: Shapes**

Entregado en Formato digital