

UCH-FC
Q. Ambiental
063
C.1



**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE**

**“BASES CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UNA NUEVA
TABLA PARA EL DS 90/2000 QUE REGULE LOS LÍMITES MÁXIMOS
PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS
FLUVIALES CONSIDERANDO LA ZONA DE DILUCIÓN AMBIENTAL DEL
RECEPTOR”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial
de los requisitos para optar al Título de:

Químico Ambiental

Karina Andrea Ortega Castro



**Director de Seminario de Título: Ing. Mesenia Atenas
Profesor Patrocinante: Dra. Isel Cortés Nodarse**

**Agosto de 2010
Santiago – Chile**



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el o (la) candidato (a):

KARINA ANDREA ORTEGA CASTRO

“BASES CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UNA NUEVA TABLA PARA EL DS 90/2000 QUE REGULE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS FLUVIALES CONSIDERANDO LA ZONA DE DILUCIÓN AMBIENTAL DEL RECEPTOR”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

COMISIÓN DE EVALUACIÓN

Ing. Mesenia Atenas
Director Seminario de Título

Firma manuscrita en azul de Mesenia Atenas.

Dra. Isel Cortés Nodarse
Profesor Patrocinante

Firma manuscrita en azul de Isel Cortés Nodarse.

Dra. Irma Vila
Corrector

Firma manuscrita en azul de Irma Vila.

M. Cs. Ximena Molina
Corrector

Firma manuscrita en azul de Ximena Molina.



Santiago de Chile, agosto de 2010

RESEÑA



De todas las casas de estudio en el país, la Universidad de Chile siempre fue una de mis principales metas, debido al gran prestigio y tradición que esta posee en nuestra historia. El camino que tuve recorrer antes de ingresar a la universidad no fue fácil, sin embargo el esfuerzo y la perseverancia fueron los principales elementos que me permitieron lograr tan esperado objetivo.

La ciencia siempre ha sido un tema que me ha llamado bastante la atención y me ha entregado muchas respuestas a diversas interrogantes; debido a esto entonces, es que elegí la Facultad de Ciencias como mi generadora de conocimientos y la carrera Química Ambiental como el medio en donde podía ejecutarlos.

En esta facultad no solo dedique mi tiempo a estudiar, sino que también aprendí a relacionarme con muchas otras personas, que no siempre pensaban de las misma manera que yo, pero siempre de alguna forma existía un complemento que me ayudaba a conocer y abrir un poco más mi mundo.

Me hace sentir muy orgullosa el haber pertenecido a la Facultad de Ciencias, el haberme educado con los mejores profesores y científicos del país, el haber conocido personas tan especiales como los son algunos de mis compañeros y por supuesto ahora mis grandes amigos.

Pretendo seguir estudiando y perfeccionándome en esta y en otras áreas, así que este es sólo el primer paso que me permitirá ir por la lucha de muchos más.



DEDICADO

A mí Madre...



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a la Dirección General de Aguas (DGA), al Departamento de Conservación y Recursos Hídricos, a la Señora Mesenia Atenas Vivanco, por haberme dado un espacio y un tema para realizar mi Seminario de Título; especialmente quiero agradecer a Mónica Mussalem, que no sólo me orientó con sus conocimientos, sino que también me ayudo como persona, me apoyo y me incentivo para seguir adelante.

A la profesora Isel Cortés Nodarse, por guiarme en el proceso de elaboración de mi Seminario; por su infinita paciencia, generosidad y excelentes consejos; por entregarme su amistad y su buena voluntad.

Al centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA), por prestarme ayuda tanto en materiales de trabajo como materiales de información.

A mí amigo y colega Nicolás Silva quién me dedico tiempo de estudio y me tendió la mano a cambio de nada; a mí querida amiga y hermana Geraldine Schlotterbeck, mi eterna consejera, mi cable a tierra; a mí prima Solange Morales, siempre con una sonrisa, siempre con una palabra de aliento, siempre con una “vamos que se puede”; a Fernando Morales, mi soporte y gran apoyo, mi motivación a ser una mejor persona tanto el lo profesional como en lo personal, sabes que eres muy especial para mí.



A mí familia, especialmente a mí dulce y dedicada madre Patricia Castro, nunca olvidare tu infaltable cafecito despertador, tus abrazos de consuelo y también de felicitaciones, siempre has creído en mí, sabes que este paso los dimos juntas; a mí hermano Felipe Ortega a mi padre Carlos Ortega, a mis tíos Julio, Juan y Cecilia Castro y abuela Alicia Freire, han sido un pilar fundamental en mí vida, desde un principio, siempre han estado ahí. Doy muchas gracias y me siento muy orgullosa por tenerlos a todos.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN -----	xii-xiii
I. INTRODUCCIÓN -----	1-17
1. Revisión de antecedentes legales-----	1
1.1. Norma de emisión, DS 90/2000 del MINSEGPRES-----	1-5
2. Antecedentes generales-----	6
2.1. Contaminación del agua-----	6
2.2. Clasificación de los residuos líquidos según su fuente de origen-----	6 -8
3. Planteamiento del problema-----	9
4. Antecedentes Generales, criterios de zona de dilución, USEPA-----	9
4.1. Definición de zona de dilución-----	9
4.1.1 Características de una zona de dilución-----	9 -11
4.2. Dimensión de una zona de dilución-----	11
5. Recopilación de información, experiencia internacional-----	12
6. Objetivos-----	12
6.1. Objetivo General-----	12
6.2. Objetivos Específico-----	12-13
II. MATERIALES Y MÉTODOS -----	14
1. Materiales-----	14
2. Metodología-----	14-17
2.1. Recopilación de Información sobre una zona de dilución-----	14
2.2. Clasificación de los cuerpos de agua superficiales en Chile-----	15
2.3. Estudio y caracterización de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000-----	15-16
2.4. Diseño de la nueva tabla de parámetros para el DS 90/2000 y construcción del diagrama de fiscalización-----	16-17



III. RESULTADOS -----	18-67
1. Zona de Dilución en un cuerpo de agua receptor fluvial-----	18
1.2 Directrices para asignar una Zona de Dilución según la USEPA -----	19-20
1.3. Ubicación de una Zona de Dilución-----	20-21
1.4. Tamaño de una Zona de Dilución -----	22-23
1.4.1. Dimensión de una Zona de Dilución-----	24-25
1.5. Protección de los sistemas Acuáticos-----	25-26
1.6. Protección de la salud humana-----	26-27
2. Criterios propuestos por la USEPA, para la descarga de contaminantes en una zona de dilución-----	27-67
2.1. Requisitos para la descarga de contaminantes en una Zona de Dilución-----	28-30
2.2. Descarga de contaminantes sobre una zona de dilución y el DS 90/2000-----	30
2.3. Análisis de los parámetros normados en la Tabla 2 del DS 90/2000-----	30
2.3.1. Contaminación Física del agua-----	30-32
2.3.2. Contaminación Química y Biológica del agua-----	32-50
2.3.3. Alteraciones sobre la salud humana-----	51-53
2.3.4. Efectos sobre el ecosistema acuático y su toxicidad-----	54-58
3. Construcción de la nueva Tabla para el DS 90/2000-----	59-67
3.1. Identificación y agrupación de parámetros-----	59-61
3.2 Límites máximos para la descarga de contaminantes sobre una Zona de Dilución -----	61-65
4. Diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a-----	66-67



IV. DISCUSIÓN GENERAL -----	68-79
1.3. Ubicación de una Zona de Dilución-----	68
1.4. Tamaño de una Zona de Dilución-----	68
1.4.1. Dimensión de una Zona de Dilución-----	69
2. Criterios propuestos por la USEPA, para la descarga de contaminantes en una zona de dilución-----	69-76
2.1. Requisitos para la descarga de contaminantes en una Zona de Dilución-----	70
2.2. Análisis de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000-----	70-76
2.2.1. Contaminación Físicas del agua-----	70-71
2.2.2. Contaminación Química y Biológica del agua-----	71-74
2.2.3. Alteraciones sobre la salud humana-----	75
2.2.4. Efectos sobre el ecosistema acuático y su toxicidad-----	75-76
3. Construcción de la nueva tabla para el DS 90/2000-----	76-78
3.1. Identificación y agrupación de parámetros-----	76-77
3.2. Límites máximos para la descarga de contaminantes sobre una Zona de Dilución -----	78
4. Diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a-----	79
 V. CONCLUSIONES -----	 80-82
 VI SUGERENCIAS -----	 83
 VI. REFERENCIAS -----	 84-90
 VII. ANEXOS -----	 91-99
 Anexo I. Análisis comparativo entre Oregón y las zonas Hídricas de Chile -----	 93-99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla 2 de “Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales Considerando la Capacidad de Dilución del Receptor”-----	4-5
Tabla 2. Fuentes y contaminantes que afectan la calidad del agua-----	8
Tabla 3. Tamaño de una zona de dilución-----	23
Tabla 4. Características Geométricas de las zonas de dilución en EE.UU.-----	25
Tabla 5. Alteraciones físicas provocadas por contaminantes a un cuerpo de agua receptor-----	31-32
Tabla 6. Alteración de la salud humana, frente a la presencia de contaminantes en el agua-----	52-53
Tabla 7. Alteraciones a la salud y desarrollo de los ecosistemas acuáticos frente a la presencia de contaminantes en el agua-----	55-58
Tabla 8. Identificación y agrupación de los parámetros Regulados en el DS 90/2000 -----	59-60
Tabla 9. Parámetros y límites máximos permitidos para la descarga de efluentes en un cuerpo de agua fluvial con capacidad de dilución, regulados en la Tabla 2 del DS 90/2000-----	62
Tabla 10. Tabla de Ejemplo. Efluente que cumple con las norma de emisión-----	63
Tabla 11. Tabla de Ejemplo. Efluente que no cumple con la norma de emisión-----	64
Tabla 12. Tabla 2a de “Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales Considerando la Zona de Dilución Ambiental del Receptor”-----	65



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual; estructura y funcionamiento del DS 90/2000-----	2
Figura 2. Zona de Dilución en un cuerpo de agua receptor-----	11
Figura 3. Esquema resumen, metodología de trabajo-----	17
Figura 4. Ubicación de una Zona de Dilución-----	22
Figura 5. Sección Transversal de un Río-----	23
Figura 6. Estructura química de un triglicérido-----	33
Figura 7. Diagrama de estabilidad de compuestos de Hierro-----	41
Figura 8. Diagrama de estabilidad de compuestos de Manganeso-----	42
Figura 9. Grafico de Temperatura y Oxígeno Disuelto-----	48
Figura 10. Isómeros del Xileno-----	50
Figura 11. Diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a del DS 90/2000, a una fuente emisora-----	66



RESUMEN

Este seminario entrega las bases conceptuales para la definición de una nueva tabla para el DS 90/2000, donde se considera que la descarga de un efluente líquido se mezclará en una zona o longitud de un curso de agua, tal que las concentraciones resultantes dependerán de la mezcla del efluente y del cuerpo receptor.

Se llama zona de dilución al volumen, área o longitud donde un efluente experimenta una mezcla parcial desde el punto de descarga, prolongándose hasta llegar a una mezcla completa con el cuerpo de agua. Su tamaño está relacionado con las características propias del receptor y de las características de los contaminantes descargados. Dado que una dilución máxima puede alcanzar grandes extensiones en un curso de agua, es necesario conocerla y limitarla, a fin de no comprometer la totalidad de un río. En este seminario se recomienda una dimensión máxima a permitir en una zona de dilución para cada cuerpo receptor fluvial; esta dimensión será denominada como “zona de dilución”.

El Decreto Supremo 90/2000 del MINSEGPRES es la norma de emisión que regula los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales; esta norma abarca todo el territorio nacional; contempla una serie de tablas que indican los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a los diferentes tipos de cuerpos de agua receptores en el país. Para este trabajo se utiliza la Tabla 2 de la norma, que establece los requerimientos para la descarga de efluentes sobre cuerpos de agua fluviales con capacidad de dilución. En esta tabla se regulan parámetros de tipos orgánicos, inorgánicos y otros parámetros que pueden afectar la calidad de las aguas como pH y Temperatura. La nueva tabla a proponer para

el DS 90/2000 deberá distinguir los efectos negativos que los diferentes tipos de contaminantes pudieran causar sobre las distintas componentes ambientales del cuerpo receptor, con el objetivo de permitir mayores descargas en los casos en que mezcla completa se produce dentro de la zona de dilución.

Para la propuesta de la zona de dilución, este estudio se basa justificadamente en las referencias internacionales, utilizando como guía de orientación, dos documentos proporcionados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA); “Water Quality Standard Handbook, Mixing Zone” y “Technical Support Document for Water Quality- Based Toxic Control in Mixing Zone”.

De los resultados obtenidos, se recomienda que el tamaño de una zona de dilución sea lo mas pequeño posible. Para este caso la cuarta parte de la sección transversal de un río, sería una dimensión ambientalmente razonable; sin embargo el valor directo sería sobredimensionado para la diversidad de tipos de ríos que existen en el país, por lo mismo es aplicable es mismo valor pero a una escala $\leq \frac{1}{4}$ de la sección transversal de un cuerpo receptor fluvial.

Después de analizar cada parámetro regulado en la Tabla 2 del DS 90/2000, se obtuvo la nueva tabla 2a que regula solo aquellos parámetros que pueden ser descargados sobre sus límites normados, en un cuerpo de agua fluvial que posea una zona de dilución. Estos parámetros son: Aluminio (Al), Cloruros (Cl), Molibdeno (Mo), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sulfatos (SO_4^{-2}). A partir de estos datos se construye un nuevo diagrama de fiscalización para el DS 90/2000 que considere esta nueva tabla, para quienes cumplan con las condiciones dadas.

ABSTRACT

This seminar gives the conceptual basis for the definition of a new table for the DS90/2000, where it is considered that the discharge of liquid effluent will be mixed in area or length of a watercourse, in that case the resulting concentrations will depend on the mixture of effluent and the receiving body.

It is called dilution zone to the volume, area or length where the effluent experiments a partial mixture from the discharge point, extending until getting to a complete mixture with the water body.

Its size is related to the own receiver characteristics and to the discharged pollutants characteristics. Due to that maxim dissolution can reach large expanses in a stream, is necessary to know it and to limit it in order not to compromise the entire river. In this seminar, a maximum dimension permitted in a dissolution zone for each fluvial receiver body s recommended; this dimension will be denominated as “dilution zone”

The Supreme Decree 90/2000 from the MINSEGPRES is the emission rule that regulates the associated contaminants with the discharge of liquid waste to marine water and inland surface; considers a set of tables which established the maximum limits allowed for the discharge of liquid waste to the different types of water receiver bodies. For this work, it is used Table 2 of the rule, which establishes the requirements for the discharge of wastewater into bodies of fluvial water with dilution capacity. In this Table 2 parameters of organic, inorganic and other types can be found, and that can affect the quality of the water, such as pH and Temperature. The new table to propose to the

DS 90/2000 will have to distinguish the negative effects that the different types of contaminants could cause on the different environmental components of the receiver body, with the aim of allowing larger discharges in the case when a complete mixture occurs in the zone of dilution.

For the proposal of the zone of dilution, this study is fundamentally based on the international references, using as an orientation guide, two documents given by the “United States Environmental Protection Agency (USEPA); “Water Quality Standard Handbook, Mixing Zone” y “Technical Support Document for Water Quality- Based Toxic Control in Mixing Zone”.

From the results, it is recommended that the size of a dilution zone is as small as possible. For this case, the forth part of the cross section of a river, would be an environmentally reasonable dimension.

After analyzing each parameter covered in Table 2 of the DS 90/2000, the new table 2a was obtained, which regulates only those parameters than can be eliminated over the discharge limits, in a fluvial water body provided of an environmental dilution zone. These parameters are: Aluminum (Al), Chloride (Cl⁻), Molybdenum (Mo), Total suspended solids (TSS) and Sulphates (SO₄⁻²). From these data a new diagram of control for the DS 90/2000 that considers this new table is built.

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se entregan las bases conceptuales para la construcción de una nueva tabla a incluir en el Decreto Supremo 90/2000 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia (MINSEGPRES), que considere que una descarga de un efluente líquido no se mezcla en forma instantánea y completa con la totalidad del cuerpo receptor (cuerpo de agua, fluvial, lacustre o marino), sino que dicha mezcla se produce en una zona o longitud del cuerpo receptor, donde las concentraciones resultantes dependerán de la mezcla entre el efluente y el cuerpo receptor. La propuesta considera límites máximos de concentración permitidos para descargas que cumplan con ciertas condiciones de mezcla con el cuerpo receptor.

1. Revisión de antecedentes legales

1.1. Norma de emisión, DS 90/2000 del MINSEGPRES

El DS 90/2000, es la norma de emisión que regula los contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales de la República de Chile (CONAMA, 2000). Todas aquellas fuentes que descarguen sus contaminantes sobre un cuerpo de agua receptor, deben ser evaluadas con el objetivo de verificar si estas se encuentran o no dentro de la definición de fuentes emisoras propuesta por el DS 90/2000. Según la norma, se considera como fuente emisora al establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados en la sección 3.7, en la tabla de establecimiento emisor de dicho Decreto.

El DS 90/2000, es una norma de aplicación a todo el territorio nacional que se estructura mediante una serie de tablas, donde se estipulan los contaminantes regulados y sus concentraciones máximas según sea el cuerpo de agua receptor. En la Figura 1, se explica de manera resumida la secuencia de funcionamiento de la norma de emisión.

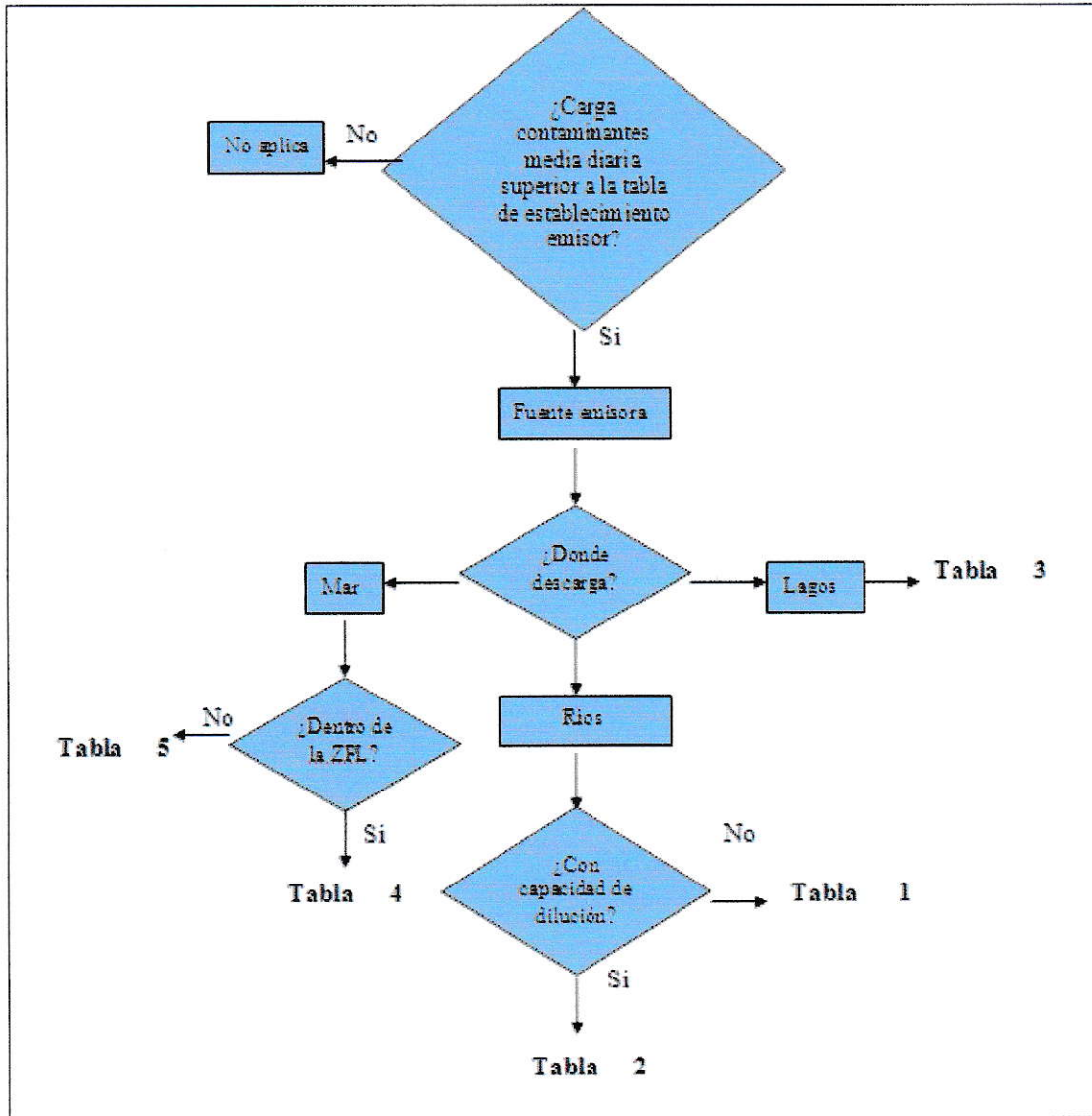


Figura 1. Esquema conceptual; estructura y funcionamiento del DS 90/2000

La secuencia de funcionamiento del DS 90/2000 expuesta en la Figura 1, se describe de la siguiente manera: En base a que un proyecto o actividad, se califique como una fuente emisora, que descarga sus residuos líquidos sobre un cuerpo de agua receptor, será aplicada la norma de emisión DS 90/2000. Dependiendo cuál sea el cuerpo receptor que reciba la descarga de efluentes, es la tabla que regulará la emisión de contaminantes.

Para este seminario en particular, se trabajará exclusivamente con todos aquellos cuerpos de agua receptores de tipo fluvial (ríos), que posean capacidad de dilución (caudal de dilución mayor que cero), los cuales hoy tienen que cumplir con lo establecido en la Tabla 2 que regula los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la capacidad de dilución del receptor.

La Tabla 2, regula un total de 35 parámetros (El DS 90/2000 utiliza el concepto de “parámetros” como la caracterización de las propiedades del agua, NCh410, Of. 96), que se clasifican en compuestos de tipo orgánico, como fenol (C_6H_5OH), xileno (C_8H_{10}) o pentaclorofenol (C_6Cl_5OH), entre otros; los de tipo inorgánico, clasificados en metales, como aluminio (Al), cadmio (Cd), cobre total (Cu), el hierro disuelto (Fe) entre otros y aniones como sulfatos (SO_4^{-2}), los cloruros (Cl), fluoruros (F^-). También son regulados parámetros como el pH y la temperatura. A continuación en la Tabla 1 se señala la Tabla 2 del DS 90/2000 adaptada, con sus respectivos parámetros, descripción química de los contaminantes y concentraciones máximas permitidas.

Tabla 1. Tabla 2 de “Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales Considerando la Capacidad de Dilución del Receptor”

Descripción química del contaminante	Parámetros	Unidades	Expresión	Límite Máximo Permitido
Compuesto	Aceites y Grasas	mg/L	A y G	50
Elemento	Aluminio	mg/L	Al	10
Elemento	Arsénico	mg/L	As	1
Elemento	Boro	mg/L	B	3
Elemento	Cadmio	mg/L	Cd	0,3
Ion	Cianuro	mg/L	CN⁻	1
Ion	Cloruros	mg/L	Cl⁻	2000
Elemento	Cobre Total	mg/L	Cu	3
Parámetro	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Parámetro	Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Ion	Cromo Hexavalente	mg/L	Cr⁺⁶	0,2
Parámetro	DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO₅	300
Elemento	Fósforo	mg/L	P	15
Ion	Fluoruro	mg/L	F⁻	5
Compuestos	Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	50
Elemento	Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Elemento	Manganeso	mg/L	Mn	3

Elemento	Mercurio	mg/L	Hg	0,01
Elemento	Molibdeno	mg/L	Mo	2,5
Elemento	Níquel	mg/L	Ni	3
Parámetro	Nitrógeno Total Kjeldhal	mg/L	NTK	75
Compuesto	Pentaclorofenol	mg/L	C₆OHCl₅	0,01
Parámetro	pH	Unidad	pH	6,0-8,5
Elemento	Plomo	mg/L	Pb	0,5
Parámetro	Poder Espumógeno	mm	PE	7
Elemento	Selenio	mg/L	Se	0,1
Parámetro	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	300
Ion	Sulfatos	mg/L	SO₄⁻²	2000
Ion	Sulfuro	mg/L	S⁻²	10
Parámetro	Temperatura	C°	T°	40
Compuesto	Tetracloroetano	mg/L	C₂Cl₄	0,4
Compuesto	Tolueno	mg/L	C₆H₅CH₃	7
Compuesto	Triclorometano	mg/L	CHCl₃	0,5
Compuesto	Xileno	mg/L	C₆H₄C₂H₆	5
Elemento	Zinc	mg/L	Zn	20

2. Antecedentes generales

2.1. Contaminación del agua

Se entiende como contaminación del agua, a los cambios que esta puede experimentar, debido a la adición de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales entre otros tipos, los cuales deterioran su calidad y la hacen inútil para los usos pretendidos (Cortés I, Montalvo S, 2010).

A nivel global se conocen tres principales fuentes de contaminación de las aguas; estas fuentes son las de tipo agrícola, aguas servidas domésticas y las de tipo industrial. Las dos últimas se dan con mayor frecuencia, debido al desarrollo acelerado de las ciudades e industrialización de las mismas.

Para efecto de este seminario, se trabajará directamente con la contaminación generada por la descargas de residuos líquidos, provenientes de las fuentes industriales y aguas servidas domésticas.

2.2 Clasificación de los residuos líquidos según su fuente de origen.

Generalmente los residuos líquidos, se clasifican según las fuentes que los producen. El crecimiento de las ciudades junto con el desarrollo industrial, ha contribuido a la generación de problemas ambientales que afectan las aguas de norte a sur en el país. Por ejemplo; en la Zona Norte, la industria de la minera metálica y no metálica, ha provocado efectos ambientales sobre las aguas del sector, producto de la descarga de residuos líquidos de carácter tóxico. En la Zona Centro y Centro Sur, la mayoría de sus residuos, son producidos por las industrias papeleras, las de conserva, la agroindustria,

entre otras. También los desechos se atribuyen a la industria minera metálica y no metálica, pero en menor extensión que la Zona Norte. En la Zona Sur, la actividad de la celulosa, las hidroeléctricas y la industria relacionada al procesamiento de los hidrocarburos, son los principales causantes de la generación de residuos peligrosos descargados sobre las aguas de la región (CONAMA, 2009).

A nivel nacional, existe un total de 2500 industrias analizadas para el Catastro Nacional de Descargas de Riles (1999) y 1780 son industrias potencialmente generadoras de residuos líquidos, en donde el 35% de ellas descargan sobre cuerpos de agua superficiales (CONAMA, 2009).

En la Tabla 2, se identifican las fuentes y los contaminantes que afectan la calidad de las aguas en Chile:

Tabla 2. Fuentes y contaminantes que afectan la calidad del agua
(Guzmán L, 2007; CONAMA, 2008)

Actividades Industriales	Contaminantes																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
Alimentarias	X						X				X										X	X				X		X									
Vegetales y Subproductos	X										X											X				X											
Fundición de Metales		X													X		X	X													X						
Petroquímica y Químicos Org		X	X	X	X		X			X	X	X	X		X	X		X			X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Alcaliz, Cloro, Prod Quím. Inorg.		X	X		X							X		X	X							X		X	X		X	X	X	X						X	
Refinación de Petróleo	X	X	X	X	X		X				X	X		X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fabri. de Metales no Ferrosos		X	X		X			X							X									X		X										X	
Fabr. De Hierro y Acero	X	X	X	X	X		X					X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Pulpa, Papel y Cartón							X	X			X					X	X				X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Textiles	X						X				X																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Curtido de Cuero	X		X							X	X																X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Centrales Energética Térmicas																														X						X	
Prod. Metal., Maquinaria. y Equip.			X	X	X		X			X				X								X															
Minería		X	X	X			X															X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fertilizantes		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Plásticos, Vidrio, PVC			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fabr. de Colorantes, Pinturas y Pigmentos										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Conservación de la Madera			X							X	X											X															
Sistemas Electrónicos			X				X					X									X			X	X												
Cemento y Asbesto										X		X	X														X	X									X
Sist. de Tratamiento de Aguas Serv.											X																	X									
Coque y Gas									X				X									X									X						
Producto de Limpieza (Detergentes)													X	X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mataderos y Conserva de Carne	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bebidas	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Automotriz	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

1. Aceite y grasas	6. Cianuro	11. Cromo hexavalente	16- Hierro disuelto
2. Aluminio	7. Cloruro	12. DBO5	17. Manganeso
3. Arsénico	8. Cobre total	13. Fluoruro	18. Mercurio
4. Boro	9. Coliformes fecales	14. Fósforo	19. Molibdeno
5. Cadmio	10. Índice de fenol	15. Hidrocarburos fijos	20. Níquel
21. Nitrógeno Total	26. Selenio	31. Tetracloroetano	
22. Pentaclorofenol	27. SST	32. Tolueno	
23. pH	28. Sulfatos	33. Triclorometano	
24. Plomo	29. Sulfuros	34. Xileno	
25. Poder espumogeno	30. Temperatura	35. Zinc	

3. Planteamiento del problema

Dado que en Chile hasta ahora, no se regula la extensión máxima que pueden recorrer los contaminantes descargados sobre un cuerpo de agua fluvial sin alcanzar la mezcla completa con el cuerpo receptor, es que en este seminario, se pretende (vía limitación de concentraciones y caracterización de riles vertidos), desarrollar las bases para regular esta área máxima de sacrificio llamada **Zona de Dilución**, como se explica más adelante; complementado justificadamente con el DS 90/2000.

Al ser un tema que afecta a una parte importante de los cuerpos de agua fluviales del país, la Dirección General de Aguas (DGA), requiere de un estudio que permita identificar el comportamiento de los contaminantes y su límite en la descarga en esta zona de dilución.

4. Antecedentes generales, criterios de zona de dilución, USEPA.

4.1 Definición de zona de dilución.

Una zona de dilución es el volumen, área o longitud en donde una descarga de un efluente experimenta una mezcla parcial, prologándose desde el punto de descarga, hasta el punto en donde se produce la mezcla completa con el cuerpo de agua receptor (USEPA, 1994).

4.1.1 Características de una zona de dilución.

Una zona de dilución depende de una serie de características, que comprometen tanto al cuerpo de agua receptor, como a la descarga; de este modo:

Características del cuerpo de agua receptor: Antes de ubicar una zona de dilución en un lugar específico, es esencial tener en cuenta las condiciones hidrodinámicas del cuerpo receptor, ya que estas permiten predecir los procesos de mezcla de un efluente; se deben

considerar parámetros hidráulicos como la turbulencia del flujo de agua, tanto de la superficie, como del fondo del cauce, ya que esta controla los procesos de transporte e intercambio de elementos o componentes entre sedimento y columna agua; la pendiente del cauce, que también juega un rol fundamental con respecto al transporte de los contaminantes vertidos sobre este; características como el caudal, la altura, la velocidad y el tipo de régimen de escurrimiento del río, están interrelacionadas entre sí, siendo el caudal la variable fundamental (CADE-IDEPE, 2003).

El caudal de un río es una variable aleatoria, que va experimentando cambios durante el transcurso del año, por lo mismo, al momento de situar una zona de dilución, es necesario considerar los diferentes escenarios que se van presentando.

Las características físicas y químicas del cuerpo de agua, también son variables importantes que se deben considerar, para este tipo de estudio.

Características de la descarga de efluentes: Como se comentó, una zona de dilución depende directamente de la descarga de efluentes sobre un cuerpo de agua receptor. Características como el volumen de la descarga, la frecuencia con que la fuente emisora vierte sus contaminantes sobre el cauce, la composición de la descarga y la caracterización de cada parámetro presente en el efluente, son variables importantes a considerar a la hora de establecer una zona de dilución. En la Figura 2 se presenta un esquema simplificado de una zona de dilución en un cuerpo de agua receptor.

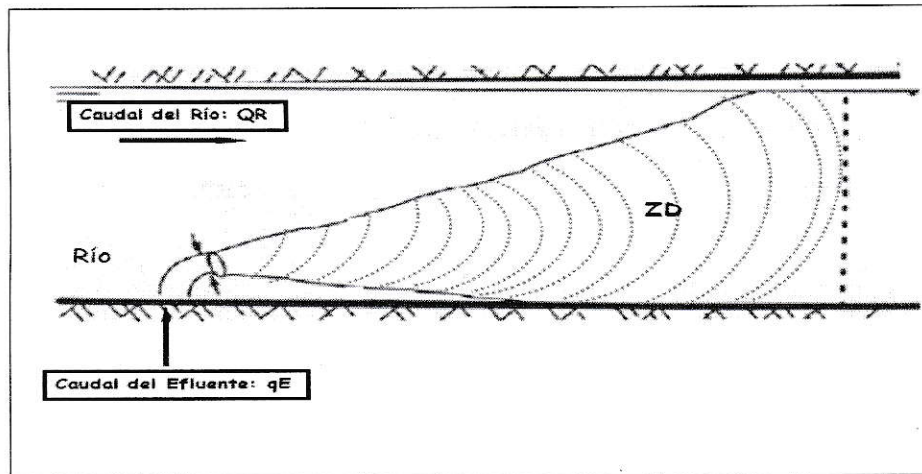


Figura 2. Zona de Dilución en un cuerpo de agua receptor, corte de planta de un río (CADE-IDEPE, 2003)

4.2. Dimensión de una zona de dilución.

Como la dilución es un proceso continuo, este puede alcanzar distintos grados de mezclas a distintas distancias, desde el lugar de la descarga hasta completar en algunos casos gran parte de la extensión de un río; por lo mismo es siempre necesario conocerla y limitarla, con la finalidad de no comprometer el cuerpo de agua en su totalidad y a la vez con el objetivo de prevenir y proteger el medio ambiente. Las zonas de dilución, pueden ser definidas como longitudes, áreas o volúmenes según se estime conveniente; en este tema la USEPA recomienda que para el caso de los ríos, la forma más cómoda para definir dimensiones de zona de dilución, se determine en función del ancho o sección transversal del cauce.

5. Recopilación de información, experiencia internacional

Son pocos los países que utilizan de algún modo la definición de zona de dilución. Canadá, El Reino Unido y Estados Unidos han adoptado el concepto, pero sólo el último posee una mayor recopilación de información y estudios, que datan desde el año 1972 (CADE-IDEPE, 2003). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, USEPA, desde el año 1994 ha señalado a través de los documentos, “Water Quality Standard Handbook, Mixing Zone” (Doc. I) y “Technical Support Document for Water Quality- Based Toxic Control in Mixing Zone” (Doc. II), una serie de criterios y metodologías para el establecimiento de una zona de dilución en un cuerpo de agua receptor. Ambos documentos son usados por la mayoría de los estados de Estados Unidos, como guías de orientación.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Entregar las bases conceptuales para la definición de una nueva Tabla para el DS 90/2000 que regule los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la zona de dilución del receptor.

6.2. Objetivos Específicos

- a. Revisar criterios establecidos por la USEPA, para la asignación de una zona de dilución con sus respectivas dimensiones.
- b. Establecer directrices para la ubicación y tamaño de una zona de dilución a cuerpos de agua fluviales en Chile, usando como referente los criterios y metodologías propuestas por la USEPA.

- c. Revisar los criterios propuestos por la USEPA, con respecto a la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución.
- d. Estudiar las propiedades físicas, químicas, biológicas y peligros ambientales que pueden ocasionar los parámetros regulados en la tabla 2 del DS 90/2000 cuando son vertidos sobre un cuerpo de agua fluvial.
- e. Identificar y agrupar los parámetros del DS 90/2000, dentro de los requisitos sugeridos por la USEPA para la descarga de contaminantes en una zona de dilución, con el fin de proponer una lista de parámetros a considerar en la nueva tabla para el DS 90/2000.
- f. Proponer límites máximos de descarga para cada parámetro propuesto, a ser regulado en la nueva tabla del DS 90/2000.
- g. Indicar a través de diagrama de flujos las condiciones que deben cumplir las fuentes emisoras y los cuerpos de agua receptores, para la aplicación de la nueva tabla de parámetros del DS 90/2000.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Materiales

Los materiales usados para el desarrollo de este seminario fueron los siguientes:

- ✓ Legislación y normativa ambiental nacional: Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente; norma de emisión, Decreto Supremo 90/2000 del MINSEGPRES; Norma Chilena (NCh) 410, Of.96 de Calidad del Agua; disponibles en la Dirección General de Aguas (DGA), en la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), en el Centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA) y en el Instituto Nacional de Normalización (INN).
- ✓ Fuentes de información bibliográfica, tanto nacional, como internacional; uso de manuales de aplicación y documentos técnicos de apoyo para la definición de una zona de dilución.
- ✓ Bibliografía técnica disponible en el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la DGA y en otros centros de estudio nacionales e internacionales (Universidad de Chile, Universidad de Santiago, Universidad de Puerto Rico, Consultores CADE-IDEPE, entre otros) relacionado al tema.

2. Metodología

La metodología aplicada, para el desarrollo de este seminario fue la siguiente:

2.1. Recopilación de información sobre la zona de dilución.

- ✓ Se revisó y compatibilizó la información nacional e internacional referida a la definición de zona de dilución.

✓ Se demostró la relación existente entre la definición de zona de dilución con la presente normativa nacional de emisión DS 90/2000. La información obtenida fue respaldada por los profesionales de la DGA.

✓ Se hizo una revisión bibliográfica referente a los criterios propuestos por la USEPA, con respecto al tamaño, ubicación de una zona de dilución, tipos de contaminantes descargados sobre esta zona.

2.2. Clasificación de los cuerpos de agua superficiales en Chile.

✓ Se clasificaron los cursos de aguas superficiales existentes en Chile, según las zonas hídricas que pertenecen, considerando los sistemas hidrológicos, el tipo de cuenca y la respectiva cobertura espacial.

✓ En relación con lo anterior, se compararon todos estos factores, con las diversas condiciones que presentan algunos de los cauces superficiales de los estados ubicados al noreste de Estados Unidos específicamente el estado de Oregón, como marco de referencia, con respecto al tema de estudio.

2.3. Estudio y caracterización de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000.

✓ Se hizo un análisis detallado de cada uno de los 35 parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000, con el objetivo de relacionarlos dentro de la lista de características propuestas por la USEPA para la descarga de contaminantes en una zona de dilución.

✓ Se estudió el comportamiento de cada contaminante en el agua, basándose específicamente en las posibles alteraciones que estos pueden provocar en la

composición física, química y biológica de este recurso. También se consideraron los posibles efectos que pueden provocar sobre la salud humana y el ecosistema acuático.

2.4. Diseño de la nueva tabla de parámetros para el DS 90/2000 y construcción del diagrama de fiscalización.

✓ Se diseñó una nueva tabla de parámetros para la norma de emisión DS 90/2000, que contiene sólo aquellos parámetros que puedan superar sus límites ambientales establecidos, al momento de ser descargados sobre una zona de dilución.

✓ Se elaboró un diagrama de fiscalización, que indica las condiciones necesarias que debiesen cumplir las fuentes emisoras y los respectivos cuerpos de agua receptores fluviales, para la aplicación de esta nueva tabla.

En el siguiente esquema se resume, la metodología a seguir:

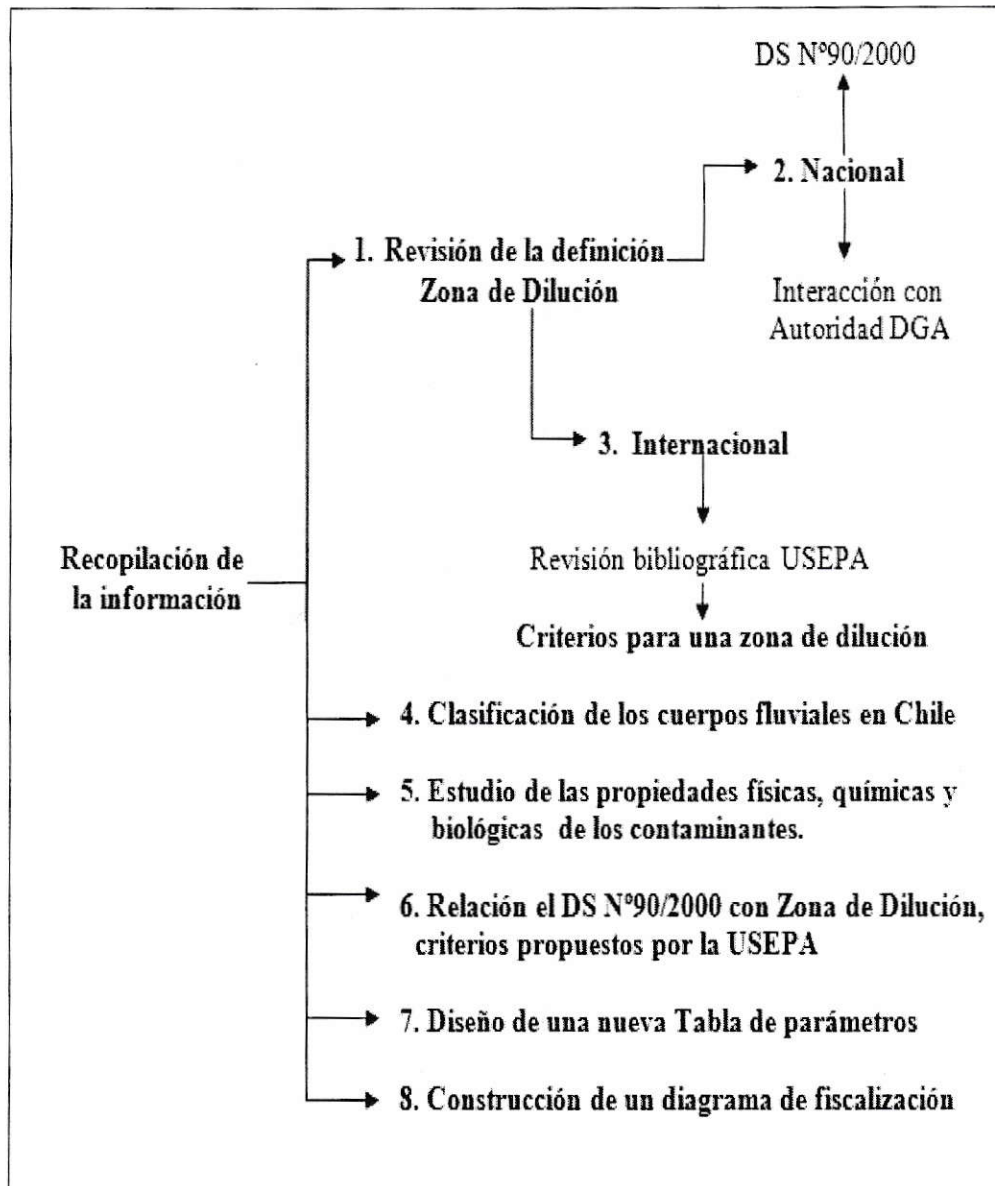


Figura 3. Esquema resumen, metodología de trabajo

III. RESULTADOS

1. Zona de Dilución en un cuerpo de agua receptor fluvial.

Estados Unidos, desde el año 1984 ha realizado un gran número de estudios relacionados a la ubicación de una zona de dilución, en un cuerpo de agua receptor fluvial. De los documentos recopilados por la USEPA el primer documento (Doc. I) señala criterios y metodologías (directrices) generales, tales que cumplen con el objetivo de guiar y orientar al interesado con respecto a cuándo, cómo y dónde correspondería asignar una zona de dilución. Este manual hace hincapié en tres principales características que debe cumplir una zona de dilución después de ser situada, estas son:

- a. La existencia de una zona de dilución, no puede alterar la integridad de la masa de agua en su conjunto.
- b. La existencia de zona de dilución, no puede alterar los ecosistemas acuáticos, ni debe interrumpir el paso de nado libre de los organismos en toda su extensión.
- c. La existencia de una zona de dilución, no puede poner en riesgo a la salud humana.

En el segundo documento (Doc. II), uno de los principales objetivos es, señalar qué tipos de contaminantes no pueden superar los límites de descarga ambientales al momento de ser eliminados sobre una zona de dilución, basándose principalmente en las características y propiedades generales que estos presentan en el agua.

1.2. Directrices para asignar una zona de dilución según la USEPA.

La USEPA indica que, “No siempre es necesario proteger el cuerpo de agua por entero, al momento en que este reciba una descarga de efluentes. A veces es necesario sacrificar pequeñas áreas, en donde los criterios de calidad puedan ser superados” (Quality Standard Handbook, 1991). A estas áreas de sacrificio, las llamé zonas de dilución.

Previamente a la asignación de una zona de dilución, se recomienda realizar estudios referidos a las condiciones del cuerpo de agua receptor y su entorno. Estos estudios deben abarcar información suficiente para poder conocer la capacidad de asimilación de un cuerpo de agua, entre otros aspectos. Para obtener este tipo de información se realizan diversas investigaciones que indican:

- a. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua fluvial; es necesario obtener información referida a la conformación de un río, como por ejemplo, el tipo de escurrimiento o el tipo de alimentación de este, su morfometría, entre otros; la composición química, como el contenido de sales, el pH, la temperatura y la riqueza biológica del lugar, como la biodiversidad y el número de organismos existentes.
- b. Los ecosistemas acuáticos que se desarrollan en el sector; antes de fijar una zona de dilución en un cuerpo de agua fluvial, es necesario conocer los diferentes tipos de organismos, ya sean peces, microorganismos o plantas que sobreviven en el medio; también es importante conocer, cómo es su comportamiento frente a diversos escenarios ambientales y a qué niveles de perturbación alcanzarían una vida “estable”.

- c. Los usos para recreación; destinos como aguas para el consumo humano, para la natación, la pesca, para la agricultura, para uso industrial.
- d. La identificación de las aguas, arriba y abajo de la descarga; el objetivo principal de este punto es que la fijación de una zona de dilución no perjudique las distintas instalaciones que puedan ser de uso humano, como una bocATOMA.
- e. La ecología del lugar; este tipo de investigación se refiere específicamente al análisis de la relación que existe entre los seres vivos y el ambiente que los rodea.
- f. La importancia cultural del medio; los problemas ambientales, no pueden ser estudiados sin incorporar el análisis de los sistemas sociales, simbólicos o culturales; la transformación del medio, no sólo afecta a los ecosistemas naturales, sino que también afecta a los diversos sistemas de vida, afecta a la economía del sector, a la religión o creencias, entre otros.
- g. Las descargas presentes y futuras hacia el río; el propósito de este tipo de estudio, es preservar y proteger el cuerpo de agua fluvial, con el objetivo de no comprometer las necesidades de las generaciones presentes ni futuras.

En el primer documento (Doc. I), se proponen los siguientes procedimientos y metodologías, para establecer una zona de dilución:

1.3. Ubicación de una zona de dilución.

Debido a que los cuerpos de agua fluviales poseen características y usos distintos, es necesario precisar los criterios y metodologías a seguir, para definir la ubicación y

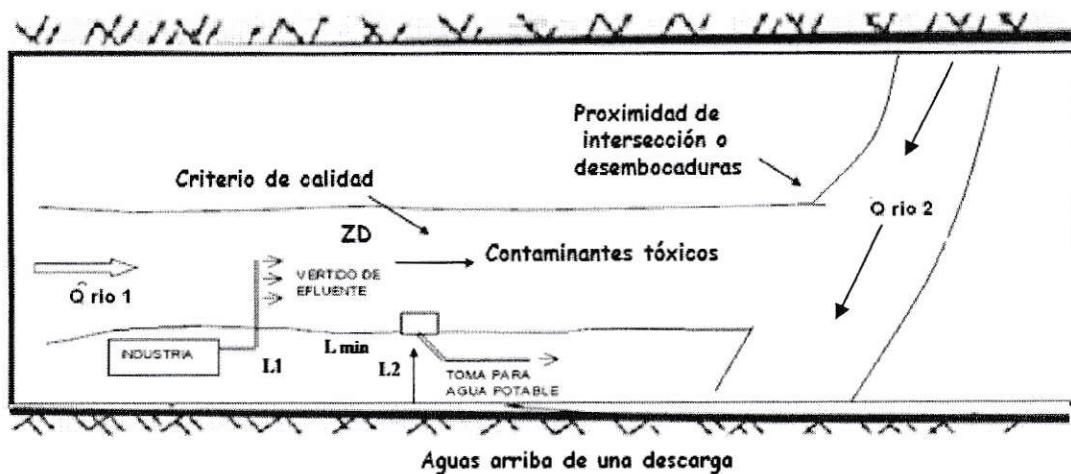
extensión de una zona de dilución; como cada caso es diferente la USEPA propone lo siguiente:

a. Una zona de dilución no puede estar ubicada aguas arriba de una bocatoma o de una zona protegida; lo anterior se considera siempre y cuando exista una distancia mínima entre ellos (Longitud (mtr) mínima., esto depende de las características del río), la cual evite un posible evento o accidente.

b. Una zona de dilución no puede estar ubicada entre la intersección de uno o más ríos; en este caso las consecuencias no sólo perjudicarían al cuerpo de agua receptor en cuestión, sino que también, alterarían a los cursos de aguas próximos (aquí también se respeta una distancia mínima).

c. Una zona de dilución no puede estar ubicada en un cuerpo de agua, si este presenta criterios de calidad natural similar o superior a los establecidos por las normas ambientales; debido a que una zona de dilución es una zona de sacrificio, en donde los criterios de descarga pueden ser superados, la posible existencia de esta, puede provocar graves problemas ambientales saturando el medio con diversos tipos de contaminantes. Una zona de dilución no puede estar ubicada en un cuerpo de agua, si esta presenta elevadas concentraciones de contaminantes de carácter tóxico; una zona de dilución no reemplaza el tratamiento previo, de los efluentes.

En la Figura 4, se resumen las principales metodologías y criterios a seguir, para permitir la ubicación de una zona de dilución en un cuerpo de agua receptor fluvial.



$L1 < L \text{ min}$: Se puede ubicar una zona de dilución
 $L2 > L \text{ min}$: No hay zona de dilución
 $Co < \text{norma}$; Se permite la ubicación de una zona de dilución
 $Co > o = a \text{ la norma}$: Se prohíbe la descarga, no hay zona de dilución

Figura 4. Ubicación de una Zona de Dilución (CADE-IDEPE; 2003)

1.4. Tamaño de una zona de dilución

La dilución de un residuo líquido en un cuerpo de agua es un proceso continuo, que puede alcanzar distintos grados de mezclas, a distintas distancias en un cuerpo de agua receptor. Si estas distancias no se conocen y se limitan, puede que se originen impactos que afecten, tanto la productividad de la masa de agua, como el desarrollo de las comunidades biológicas. La USEPA señala que, mientras menor sea el tamaño de una zona de dilución, menor será el daño provocado.

Para determinar el tamaño de una zona de dilución, primero se debe estimar la distancia entre el punto de descarga hasta el punto donde el efluente se mezcla completamente con el cuerpo de agua receptor. Para conseguir lo anterior se han propuesto técnicas como: las técnicas de estudio de seguimiento, el uso de diversos modelos matemáticos y el uso

de diferentes criterios geométricos, propuestos por la USEPA; Con respecto al último la USEPA señala que el tamaño de una zona de dilución debe ser lo más pequeña posible (comparado con el tamaño total de un río), con el objetivo de que este no perjudique la calidad de la masa de agua ni la calidad de vida de los organismos acuáticos. Según sea el caso, se recomienda limitar la zona de dilución de un cuerpo de agua, en función de $\frac{1}{4}$ de la sección transversal de su flujo (en esta sección debería ocurrir la mezcla completa del efluente con el cuerpo de agua)

Todas las herramientas nombradas anteriormente, son complementarias entre si para la determinación una zona de dilución. En la Tabla 3 se resumen estas:

Tabla 3. Tamaño de una zona de dilución.

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Trazador o Tinte	Consiste en la adición de un colorante al cuerpo de agua, de tal manera que se va registrando las concentraciones de ese tinte a distintos intervalos de tiempo.	Es una método, practico, aplicado en campo	Método bastante caro y complicado para la descripción de cada río en el país
Uso de modelos matemáticos. Ej. CORMIX	Herramienta computacional, que modela el comportamiento de una pluma de contaminantes.	Describe muy bien el comportamiento de cada contaminante descargado, requiriendo poco datos de terreno y se acomoda a distintos escenarios de descarga.	se debe hacer un modelos para cada descarga en particular
Sección Transversal del río	La EPA define que $\frac{1}{4}$ de la sección transversal, correspondería a la longitud, volumen o área, de una ZD, desde el punto de vista ambiental	Es ambientalmente aconsejables, para el paso y desarrollo de los peces	Valores referenciales, puede exceder la realidad del río

Tabla 4. Características Geométricas de las zonas de dilución en EE.UU (CADE-IDEPE, 2003)

Estados	Dimensiones	Estados	Dimensiones
Arkansas	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Missouri	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Connecticut	$\leq \frac{1}{4} *ST$	New jersey	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Illinois	$\leq \frac{1}{4} *ST$	New Hampshire	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Indiana	$\leq \frac{1}{4} *ST$	New México	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Iowa	$\leq \frac{1}{4} *ST$	North Dakota	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Kansas	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Oklahoma	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Lousiana	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Rhode Island	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Maine	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Texas	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Michigan	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Vermont	$\leq \frac{1}{4} *ST$
Minnesota	$\leq \frac{1}{4} *ST$	Wisconsin	$\leq \frac{1}{4} *ST$

ST: Sección Transversal

Apoyándose de la experiencia internacional, en este trabajo se limitará el tamaño de una zona de dilución, en base a la longitud de esta, interpretada como 1/4 de la sección transversal del flujo de un río.

1.5. Protección de los sistemas acuáticos.

Un ecosistema acuático, es la interrelación o equilibrio que existe entre los componentes bióticos (productores, consumidores y descomponedores) y los componentes abióticos (contenido salinico, oxígeno, sedimentos, entre otros.) del lugar. Una zona de dilución debe ser diseñada de tal manera, que esta no interfiera con el desarrollo normal y la sobrevivencia de los ecosistemas en el cuerpo de agua receptor fluvial. La USEPA propone una serie de criterios, con respecto a la determinación de una zona de dilución y la protección de los ecosistemas acuáticos, estos se resumen de la siguiente manera: Una zona de dilución, no puede intervenir con las rutas migratorias o natación libre de los organismos; es decir esta no debe alterar la capacidad de alimentación, de reproducción,

de crecimiento y distribución de éstos, sobre todo para aquellos que poseen un estado crítico o que estén en peligro de extinción.

1.6. Protección de la salud humana

La USEPA indica que la existencia de una zona de dilución, no puede poner en riesgo a la salud humana. Antes de asignar dicha zona, se debe visualizar supuestos razonables que indiquen posibles vías de exposición, como por ejemplo:

El contacto directo de las aguas contaminadas: dependiendo de la naturaleza y la cantidad de contaminantes vertidos sobre un cuerpo de agua, es cómo estos pueden provocar diversas alteraciones a la salud humana, por ejemplo: aquellas aguas ricas en contenido de sales, pueden provocar meningocefalitis, enfermedad que origina variados síntomas como, náuseas e intenso dolor de cabeza; el contacto directo de la piel con aguas contaminadas con orines y restos orgánicos de animales, pueden provocar leptostirosis, reflejado como erupciones cutáneas. Las aguas con altos contenidos de materiales tóxicos como los metales pesados, pueden provocar cambios irreversibles a piel, partiendo de graves irritaciones, hasta un posible cáncer.

La ingesta de aguas contaminadas: las típicas enfermedades provocadas por la ingesta de aguas contaminadas son: la amebiasis, giardiasis, el cólera. Estas son enfermedades provocadas por agentes patógenos, bacterias entre otros. En el caso de la ingesta de aguas con alto contenido de materiales tóxicos, puede provocar severos daños al sistema digestivo, como al sistema nervioso central (Más adelante, se mencionan con detalle, los efectos que pueden provocar en la salud humana, la presencia de ciertos contaminantes en el agua).

El consumo de peces contaminados: es uno de los principales focos de intoxicación y propagación de enfermedades para los humanos. Por este mismo motivo la USEPA recomienda, que en una zona de dilución no se practique la pesca artesanal ni el cultivo de peces, ya que al ser esta un área de sacrificio, puede que uno más de los contaminantes vertidos sobre los límites permitidos, sean de carácter tóxico o bioacumulables.

El uso de las aguas para el riego: no es conveniente usar las aguas de una zona de dilución para el riego, debido a las características propias que estas poseen; muchos de los productos provenientes de la tierra se consumen crudos, por ende el riesgo a contraer enfermedades por el uso de estas aguas es mucho más alto. De la misma forma, estas aguas también pueden alterar las condiciones propias del suelo, como es el grado de salinidad, el contenido de metales, la conductividad, el pH, entre otros.

2. Criterios propuestos por la USEPA, para la descarga de contaminantes en una zona de dilución.

En el segundo documento (Doc. II), se describen una serie de “requisitos” generales, que permiten identificar qué tipos de contaminantes eliminados sobre una zona de dilución “No” pueden superar los límites de descarga establecidos por las normas ambientales (para este caso en particular las normas de emisión). En este documento se especifican las precauciones que se deben asumir frente al tipo de efluente que se está descargando, con relación a las características físicas, químicas y biológicas que estos presentan.

2.1. Requisitos para la descarga de contaminantes en una zona de dilución.

Dado que un efluente líquido es la combinación de diversos tipos de contaminantes, la identificación de cada uno es bastante compleja. Debido a esto, es que la USEPA en el segundo documento, propone identificarlos mediante las características generales que estos presentan en el agua. A continuación se enumera una lista de requisitos que describen, a aquellos grupos de contaminantes que no pueden superar los límites de descarga establecidos en las normas, en una zona de dilución; estas características son:

1. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que tiendan a precipitar en condiciones normales (25°C, 1 atm)**: La precipitación es la reacción química, que produce sólidos a partir de líquidos; estos sólidos por lo general tienden a depositarse en el los sedimentos del cauce.
2. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que produzcan olor, color o sabor objetable**: la presencia de ciertos contaminantes pueden provocar diversas alteraciones físicas al agua, desde una coloración atípica, a una producción de malos olores y sabores, que indican contaminación en esta. Lo anterior depende tanto de la propiedad del contaminante, como la cantidad en que este es vertido al cuerpo receptor.
3. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que sean Aceites y Grasas**: las aceites y las grasas, se caracterizan por ser compuestos orgánicos insolubles con el agua; su alta presencia conlleva una serie de problemas ambientales, ya expuestos en el ítem anterior.

4. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que formen espuma**: la presencia de estos contaminantes le dan un aspecto desagradable al receptor que los capta. Es un indicador de contaminación.

5. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que puedan atraer especies molestas (flora, fauna o microorganismos acuáticos no deseados)**: estos contaminantes, tienen en común el efecto atractivo de nuevas especies o proliferación de las mismas, debido a su alta presencia. Las especies atraídas pueden contribuir positiva o negativamente a la calidad del agua y su medio.

6. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que posean un carácter persistente**: estos contaminantes no son fácilmente degradados y pueden permanecer en el ambiente por largos periodos de tiempo.

7. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que sean bioacumulables**: la bioacumulación es la acumulación de sustancias tóxicas en los organismos específicamente en sus tejidos adiposos, imposibilitando su eliminación hacia el exterior.

8. No pueden superar los límites de descarga, **aquellos contaminantes que sean altamente tóxicos para la vida acuática (toxicidad aguda)**: Se consideran contaminantes tóxicos a aquellos que tienden a ser persistentes en el ambiente y bioacumulables en los tejidos de los organismos. El nivel de toxicidad depende tanto del tipo de contaminante, como el tiempo y la cantidad de exposición de este.

Todos aquellos contaminantes que no se identifiquen en la descripción de la lista anterior, pueden superar sus límites de descarga, al momento de ser eliminados en una zona de dilución.

2.2. Descarga de contaminantes sobre una zona de dilución y el DS 90/2000

Se hizo un análisis detallado de cada uno de los 35 parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000 (Tabla 1), con el objetivo de identificarlos dentro de la lista de requisitos propuestos por la USEPA para la descarga de contaminantes en una zona de dilución. En este análisis se estudió el comportamiento de cada contaminante en el agua, basándose específicamente en las posibles alteraciones que estos pueden provocar tanto en la composición física, química y biológica de este recurso. También se consideró los posibles efectos que pueden provocar sobre la salud humana y el ecosistema acuático.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

2.3. Análisis de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000

El problema de la contaminación del agua en Chile y en el mundo es múltiple y se puede representar en variadas formas. En general se habla de tres tipos básicos de contaminación del agua, estos son:

1. Contaminación Física
2. Contaminación Química
3. Contaminación biológica

2.3.1. Contaminación Física del agua: es la contaminación que altera el aspecto del agua y que se puede detectar a través de los sentidos, como la vista, el olfato, el tacto y el gusto.; esta tiene directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad

del agua (Barrenechea A, 2004). Los contaminantes que alteran físicamente al agua son: los que generan color, olor, sabor, turbidez, espuma, los que tienden a flotar o los que alteran su temperatura y conductividad.

A continuación en la Tabla 5, se presenta un análisis de las posibles alteraciones físicas que pueden provocar en un cuerpo de agua receptor, la presencia de algunos de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000.

Tabla 5. Alteraciones físicas provocadas por contaminantes a un cuerpo de agua receptor.

Parámetros Tabla 2 DS 90/2000	Alteraciones Físicas
Aceites y Grasas	Forman películas flotantes sobre el agua otorgándole olores molestos a esta.
Cianuro	No hay indicios de color visible, olor o sabor en el agua, sin embargo la alta presencia de Cianuro de Hidrógeno (HCN) le otorga olor a almendras amargas a esta.
Cloruros	Las altas concentraciones de Cloruro confieren un sabor salado al agua. Los iones cloruros disueltos, contribuyen con el aumento de la conductividad de esta.
Cobre Total	En altas concentraciones, confiere un sabor amargo al agua.
Índice de Fenol	La alta presencia de compuestos Fenólicos en el agua, le otorga un olor y sabor dulce a esta.
DBO ₅	Las alteraciones físicas del agua, provocadas por la DBO en altas concentraciones, se determinan indirectamente, mediante la presencia de malos olores (putrefacción de la materia orgánica) por la falta de oxígeno y turbiedad (por la presencia de material suspendido).
Fósforo	El exceso de Fósforo presente en el agua, le otorga una coloración verdosa y maloliente a esta, producto de la eutroficación del cuerpo receptor. También le otorga turbidez, producto de la explosión del crecimiento de algas, entre otros.
Hidrocarburos Fijos	Otorga olor al agua y turbiedad
Hierro Disuelto	Las altas concentraciones de Hierro Disuelto presente en el agua, le confiere una coloración característica y un sabor metálico, astringente-dulce amargo a esta.
Níquel	Los compuestos de Níquel solubles en el agua, le confieren un color

	verdoso característico a esta, sin embargo estos no otorgan olor ni sabor.
Nitrógeno Total Kjeldhal	La presencia de Nitrógeno Amoniacal le otorga sabor y olor desagradable al agua.
Pentaclorofenol	Al tener propiedades similares a los Fenoles, los compuestos de Pentaclorofenol le otorga un cierto sabor y olor dulce al agua
pH	El pH ácido le otorga un sabor metálico al agua, mientras que el pH básico le otorga un sabor amargo al agua.
Poder Espumógeno	Otorga olor a detergente y olor séptico al agua, generando espuma.
Sólidos Suspendidos Totales	A altas concentraciones, le otorga un aspecto nebuloso o turbio no deseable al agua. No le otorga, sabor ni olor al agua.
Sulfuro	El Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S) que se desprende a la atmósfera desde las aguas residuales que contienen Sulfuro, produce un característico olor a huevo podrido.
Temperatura	El incremento de la temperatura, provoca la disminución de la calidad del agua, generando la propagación de malos olores.
Tetracloroetano	Su alta presencia le otorga un olor dulce al agua.
Tolueno	A altas concentraciones le otorga un sabor dulce y acre al agua.
Triclorometano	Su alta presencia le otorga un olor y sabor dulce al agua.
Xileno	Las altas concentraciones de Xileno en el agua, le otorga un sabor y color perceptible característico.

2.3.2. Contaminación Química y Biológica del agua: la contaminación química del agua, es aquella que no se observa a simple vista y que puede modificar totalmente la composición de esta. Los contaminantes que alteran químicamente al agua son: las sales inorgánicas en disolución, los contaminantes de origen orgánico e inorgánico, materia orgánica (DBO), contaminantes que provocan la acidez o alcalinidad del agua (Cortés I y Montalvo S, 2010). Por otro lado la contaminación biológica, es aquella que indica la presencia de agentes patógenos infecciosos en el agua como, virus, bacterias, hongos, entre otros, debido a la descarga de desechos fecales (Coliformes fecales) y restos orgánicos.

A continuación se presenta un análisis detallado de las características de cada parámetro normado en la tabla 2 del DS 90/2000, especificando como estos alteran la composición química y biológica del agua, como sigue:

Aceite y Grasas: En los residuos líquidos están clasificados como contaminantes de carácter orgánico. Están constituidos por esteres de alcohol o glicerol y de tres moléculas de ácidos grasos. A temperatura ambiente (25° C), los esteres que están en estado líquido se les denominan aceites y aquellos que estén en estado sólido como grasas. Son compuestos estables e insolubles en el agua. Aquellos que tengan origen animal o vegetal, se caracterizan por ser contaminantes polares y parcialmente biodegradables y los que son de origen mineral, como el petróleo, son contaminantes apolares y no biodegradables. Un aumento en las concentraciones de aceites y grasas en las descargas industriales sobre un cuerpo de agua receptor, contribuye al alza de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

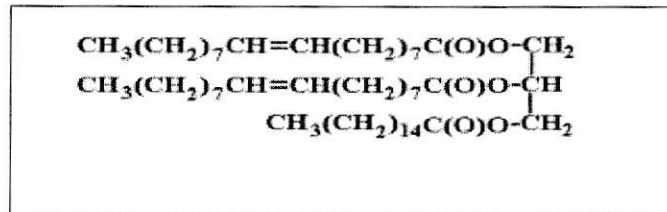


Figura 6. Estructura química de un triglicérido
Fuente: (Zamora A, 2008)

Aluminio (Al): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. Este es un metal pesado no tóxico que posee características anfóteras: a pH

neutros o básicos en el agua, puede encontrarse como un hidróxido insoluble ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$), mientras que a pH ácidos su solubilidad aumenta, tornándose disponible para los organismos acuáticos como sales de aluminio. Si el pH aumenta excesivamente puede producirse la formación de aluminatos, nuevamente solubles. Este no tiende a acumularse significativamente en los tejidos. No es persistente en la naturaleza. Usualmente en el agua esta combinado con otros iones, por ejemplo el cloruro de aluminio (AlCl_3).

Arsénico (As): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. Este es un semimetal altamente tóxico para el hombre (Barrenechea A, 2004), persistente y no biodegradable. Generalmente el arsénico en las aguas superficiales ricas en oxígeno se encuentra en el estado de oxidación (As^{+5}) arsenato y en las aguas subterráneas en condiciones reductoras como (As^{+3}) arsenito. Este último es mucho más tóxico y soluble en el agua.

Este tipo de contaminante tiende a acumularse en los tejidos de los organismos y a partir de su ingestión, puede transportarse por medio de las redes tróficas, generando envenenamiento y muerte de algunos de ellos.

El arsénico elemental (As) y los derivados orgánicos son menos dañinos y tóxicos que los inorgánicos.

Boro (B): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. Este semimetal es persistente en el ambiente y no se acumula en los tejidos de los organismos. Las formas comunes de boro como los boratos (BO_3^{-3}) y ácido bórico

(H₃BO₃) tienden a disolverse en el agua, sin embargo la forma de boro elemental no reacciona directamente con esta. Los compuestos de boro sirven como indicadores de contaminación, ya que revelan la presencia de otras sustancias peligrosas o tóxicas presentes en el agua.

Cadmio (Cd): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. Este metal pesado es altamente tóxico, persistente y bioacumulable en los tejidos de los organismos acuáticos y seres humanos. Normalmente en el agua se encuentra en cantidades muy pequeñas, sin embargo si esta se torna ácida, a pH <5 los efectos del Cd pueden ser dañinos para el medio ambiente. Por ejemplo, cuando existe la presencia de Cd y ácido clorhídrico en el agua, sucede la siguiente reacción química:



La presencia de cationes Cd⁺² en las aguas superficiales, genera serios problemas ambientales, que en ocasiones son difíciles de controlar. A pH alcalinos se precipitan como hidróxidos y en medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos.

Cianuro (CN): En los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. No es persistente en la naturaleza. Las sales alcalinas simples como las de cianuro de sodio (NaCN) y la de cianuro de potasio (KCN) son una de las formas más comunes de cianuro en el medio ambiente, especialmente en el agua. La reacción química entre una sal de cianuro alcalino simple con el agua, da como producto la

formación de cianuro de hidrógeno (HCN), gas altamente tóxico para el ecosistema acuático. Ejemplo de la reacción;



La toxicidad del Cianuro depende directamente de su concentración, del pH y la temperatura del agua.

Cloruros (Cl): en los residuos líquidos están clasificados como contaminantes de tipo inorgánico. La mayor parte de los cloruros por lo general son muy solubles con el agua a diferencia de los cloruros de Mercurio (Hg_2Cl_2) y el cloruro de plata (AgCl). Este anión se encuentra presente, tanto en las aguas naturales como en los vertidos industriales. La alta presencia de cloruros en el agua, indica un alto grado de salinidad.

Cobre Total (Cu): En los residuos líquidos está clasificado como un contaminante inorgánico. Este corresponde a la suma del cobre soluble o disuelto en el agua más el cobre suspendido en esta. Este metal, generalmente no se degrada en el medio ambiente, pero si sus compuestos, por ejemplo: el sulfato de Cobre (II) pentahidratado, ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); cianuro cuproso y el (CuCN); óxido cuproso, liberando cobre en el agua. El cobre disuelto en el agua puede ser transportado ya sea en la forma de: compuestos de cobre, cobre libre, como cobre unido a las partículas suspendidas en el agua o a los sedimentos de los ríos o unido a la materia orgánica. Cuando existe una gran cantidad de materia orgánica, esta tiende a reaccionar con los metales, formando complejos de cambio o quelatos. Este proceso asegura la solubilidad, la bioasimilación y disponibilidad del cobre para los seres vivos que se desarrollan en el lugar.

Coliformes Fecales o Termotolerantes: Son organismos indicadores de contaminación orgánica en las aguas. Los agentes patógenos se pueden clasificar en tres categorías: bacterias, virus y protozoos. Estos organismos son indicadores de contaminación biológica en el agua, transmisores de enfermedades endémicas y epidémicas. A diferencia de los contaminantes químicos, estos no se disuelven en el agua, sino más bien se depositan sobre las superficies de las partículas en suspensión o se adhieren sobre el material coloidal, presente en ella. Una gota de este tipo de residuo puede contener cientos o miles de agentes infecciosos que se multiplican rápidamente, distribuyéndose sin problemas por el agua soportando altas temperaturas.

Índice de Fenol (compuestos Fenólicos (C₆H₅OH)): En los residuos líquidos están clasificados como contaminantes de tipo orgánico. El parámetro índice de fenol, determina analíticamente estos grupos aromáticos mediante diversos métodos estandarizados.

Los Compuestos Fenólicos son moderadamente solubles y mucho más densos que el agua; por estas razones es que se hunden y diluyen lentamente, formando otros compuestos que pueden ser iguales o más tóxicos que ellos. Los fenoles naturales son fácilmente degradados por los microorganismos a diferencia de los sintéticos. Estos últimos son más tóxicos debido a su dificultad de descomposición y permanencia en el agua. Los derivados clorados y nitrogenados de fenoles son más peligrosos que otros compuestos fenólicos.

Cromo Hexavalente (Cr⁺⁶): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Los compuestos de cromo hexavalente, son solubles con el agua, sobre todo en sus formas aniónicas; también son buenos oxidantes de la materia orgánica. Este metal, en su estado de oxidación (Cr⁺⁶) es altamente tóxico y bioacumulable en los tejidos de los organismos. Su toxicidad depende de la temperatura del agua, el pH y la dureza.

La forma química del cromo, dependerá de la presencia de la materia orgánica en el agua, pues si está presente en grandes cantidades, el cromo hexavalente se reducirá a cromo trivalente (Cr⁺³), formando diversos complejos insolubles.

Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO₅): parámetro que indica la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia; una DBO₅ alta (según el DS 90/2000 por sobre 300 mg O₂/L) indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer los restos orgánicos disueltos en el agua. La temperatura del agua, también contribuye a los altos niveles de la DBO₅; a temperaturas superiores, el proceso de degradación de la materia orgánica tiende a acelerarse, por lo que la demanda bioquímica de oxígeno también. A menor cantidad de oxígeno proliferan organismos de comportamiento anaerobio.

Fluoruro (F⁻): hace referencia a todos aquellos compuestos que contienen este ión, ya sean de tipo orgánicos o inorgánicos. Los fluoruros de tipo inorgánicos, son los más abundantes y más dañinos para los sistemas vivos. Los fluoruros inorgánicos más conocidos son: los fluoruros de hidrógeno (HF), fluoruros de sodio (NaF) y fluoruros de

calcio (CaF_2). Los dos primeros son solubles con el agua y el último disminuye considerablemente su solubilidad con esta (la solubilidad depende de la temperatura del agua). En el agua este ión puede estar presente como tal, o combinado con el aluminio. Este anión tiende a acumularse en los tejidos de los animales y plantas.

Fósforo (P): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. El P, es considerado como un contaminante, cuando sus concentraciones están por sobre los límites naturales. Este no metal generalmente se encuentra en la naturaleza como fosfatos, polifosfatos, ortofosfato o fosfatos ligados orgánicamente. El fósforo es considerado como un nutriente esencial para los organismos, sin embargo su elevada exposición puede traer consigo una serie de problemas de tipo ambiental, que afectará directamente el desarrollo de estos. El incremento del contenido de fósforo en el agua, contribuye directamente al aumento de biomasa y la DBO_5 , provocando la disminución del oxígeno disuelto y la posterior eutroficación del cuerpo de agua receptor.

Hidrocarburos Fijos: en los residuos líquidos están clasificados como contaminantes de tipo orgánico. Los hidrocarburos son compuestos químicos constituidos principalmente por átomos de carbono e hidrógeno. Su estado físico en condiciones ambientales, puede ser en forma de gas, líquido o sólido de acuerdo al número de átomos de carbono y otros elementos que posean (CastroG, 2007). La fracción N°4, corresponde a aquellos hidrocarburos que poseen un número mayor de átomos de carbono (> 34); a estos se les denomina como hidrocarburos fijos. Cada fracción

contiene un gran número de compuestos químicos individuales que se caracterizan por ser altamente tóxicos para los organismos e insolubles con el agua; las partículas de hidrocarburos que no alcanzan ser degradadas por los microorganismos, tienden a depositarse en los sedimentos marinos por largos periodos de tiempo, acumulándose y almacenándose de tal manera que pueden dar origen a posteriores desastres ambientales.

Hierro Disuelto (Fe): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. En el agua, el hierro puede estar en forma de hidróxido, de partícula mineral o como catión (estos tienden a adherirse en las partículas de los sedimentos). A $\text{pH} < 6$ el hierro predomina en su forma reducida como hierro ferroso (Fe^{+2}); en contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se oxidan formando sales férricas (Fe^{+3}); a partir de un $\text{pH} > 8$ estas precipitan formando hidróxidos férricos ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) insolubles (esto también depende de las condiciones redox del agua). La presencia de hierro disuelto en el agua, condiciona la proliferación de un grupo de microorganismos aerobios llamadas, “bacterias del hierro”.

En la Figura 7 se muestran las regiones de estabilidad de las formas del Fe en función del Eh/pH.

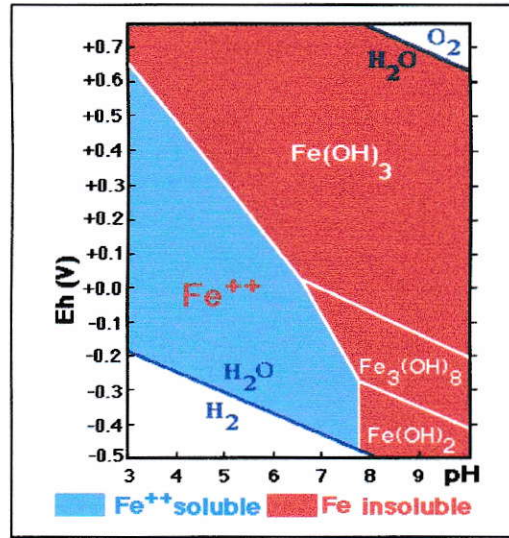


Figura 7. Diagrama de estabilidad de compuestos de Hierro (Dorronsoro B, Et al., 2009)

Manganeso (Mn): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. El comportamiento químico de este metal en el agua es bastante similar a la del hierro (Fe). En aguas profundas desprovistas de oxígeno, el manganeso generalmente se encuentra disuelto y disponible en su estado de oxidación divalente reducido (Mn^{+2}). En aguas más superficiales ricas en oxígeno el manganeso pasa al estado de oxidación (Mn^{+4}), precipitando como MnO_2 , volviéndose insoluble y menos disponible. Al igual que el hierro, la presencia de manganeso en el agua induce a la proliferación de bacterias ferrosas, que le otorgan color y sabor desagradable al agua. En la Figura 8 se muestran las regiones de estabilidad de las formas de Mn en función del Eh/pH.

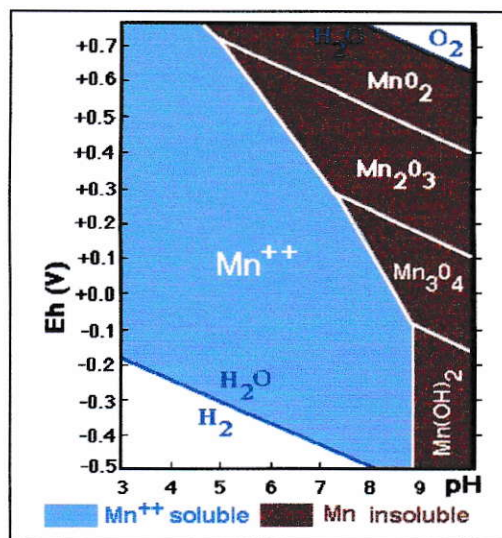


Figura 8. Diagrama de estabilidad de compuestos de Manganeso (Dorrnsoro B, et al., 2009)

Mercurio (Hg): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Tanto el mercurio metálico como el inorgánico se convierten en mercurio metilado (una de las formas más tóxicas del mercurio), mediante procesos biológicos que se producen en las aguas contaminadas con este metal. El metilmercurio ($CH_3-Hg-CH_3$) y el ion metilo de mercurio ($HgCH_3^+$), se bioacumulan y biomagnifican en los tejidos de los organismos a través de las cadenas tróficas. Este metal pesado y algunos de sus compuestos, logran ser muy solubles con el agua.

Molibdeno (Mo): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Este metal de transición en las aguas naturales se encuentra en pequeñas cantidades. El molibdeno se torna mucho más peligroso y tóxico para los seres vivos acuáticos, cuando el contenido de cobre en el agua es inferior al normal y el contenido

de sulfato es superior. La presencia del molibdeno junto con los sulfatos, inhibe la absorción y el transporte del cobre por parte de los organismos.

Níquel (Ni): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Este metal se puede combinar con otros elementos como es el cloro, oxígeno y azufre, para formar compuestos de níquel. La mayoría de los compuestos de níquel son solubles en el agua, por lo mismo son altamente móviles y disponibles para los sistemas acuáticos. A pH > 9 los compuestos de níquel son menos solubles y tienden a formar hidróxidos y carbonatos que precipitan y se acumulan en los sedimentos de las aguas superficiales. La toxicidad del níquel al medio acuático depende directamente de la dureza del agua.

Nitrógeno Total mg/L Kjeldhal: es un parámetro que corresponde a la determinación analítica del nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal. El nitrógeno orgánico se define como el nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación trinegativo. En la naturaleza se puede encontrar de diversas formas, por ejemplo: como proteínas, como ácido nucleicos, urea, aminas, etc. En las aguas superficiales el nitrógeno amoniacal se puede encontrar como ión amonio (NH_4^+) o como amoniaco (NH_3) (una de las formas de nitrógeno más tóxicas para los peces); cuándo el pH del agua es superior a 9.3, todo el amonio se convierte en amoniaco como sigue:



Entonces lo anterior depende directamente de las condiciones de pH, de la salinidad y de temperatura del agua. El nitrógeno en todas sus formas es un estimulador del

crecimiento desmesurado del fitoplancton y las algas verdes –azules; esto genera la modificación de las características del hábitat de los ecosistemas acuáticos. Esta modificación se conoce como eutroficación de las aguas.

Pentaclorofenol (C₆Cl₅OH) o (PCP): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo orgánico. Este compuesto órganoclorado de origen antropogénico es altamente contaminante, bioacumulable en los tejidos y persistente en el ambiente. Los PCP tienden a formar sales de sodio solubles con el agua, como el pentaclorofenato de sodio (C₆Cl₅ONa) o más bien conocido como NaPCP. Cuando los PCP entran al cuerpo de agua, pueden depositarse en los sedimentos, pueden adherirse a los sólidos suspendidos o pueden ser consumidos por los organismos acuáticos, transportándose a través de la cadena trófica. Dependiendo del nivel de exposición el Pentaclorofenol es muy peligroso para la mayoría de las formas de vida acuáticas. El pH y la temperatura del agua condicionan la toxicidad y persistencia de este compuesto.

pH: las bruscas variaciones de pH en el agua, puede provocar serios trastornos en el desarrollo de los diversos procesos biológicos y químicos de esta, por ejemplo: el desarrollo en la reproducción y sobrevivencia de los organismos acuáticos, la disolución o precipitación de compuestos, la formación de complejos, procesos redox, etc. Las causas que provocan estas variaciones pueden ser tanto naturales como antropicas. Estas últimas han provocado graves problemas en la calidad de este recurso.

Plomo (Pb): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Este metal pesado, se caracteriza por ser persistente en el ambiente y

bioacumulable en los tejidos de los organismos; el plomo elemental no es soluble con el agua a diferencia de sus sales. En general todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferentes grados; esto depende tanto de la solubilidad como de la naturaleza química de cada uno.

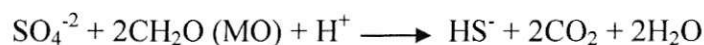
Poder Espumógeno: Los compuestos con propiedades tensoactivas tienen por naturaleza la capacidad de generar espumas a la hora de ser vertidos sobre un cuerpo de agua en movimiento. Estas espumas se pueden generar de un segundo a otro, amontonándose de tal forma que se crean películas sobre la superficie del agua. La persistencia de la espuma formada depende directamente de la estabilidad de sus interacciones coloidales. De los compuestos formadores de espumas, están los surfactantes. Estas moléculas poseen una parte polar hidrofílica y otra parte apolar hidrófoba. Tienden a acumularse entre las interfaces acuosa y aire, provocando la disminución de la tensión superficial del agua; Esta ubicación impide el tráfico de las moléculas que van desde el exterior al interior del agua, especialmente las moléculas de oxígeno, por lo que el fenómeno físico de la difusión se reprime. Los procesos fotosintéticos también se ven desfavorecidos, esto se debe a la dificultad del paso de la luz solar hacia el interior del curso de agua.

Selenio (Se): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. Este metaloide es persistente en el medio ambiente y se bioacumula en los tejidos de los organismos. De sus formas solubles inorgánicas, el ión selenato (SeO_4^{-2}) o Se (VI) y el ión selenito (SeO_3^{-2}) o Se (IV), son bastante móviles y tóxicos para el

ambiente acuático. Existen otros compuestos de selenio que son menos solubles con el agua y por lo general tienden a depositarse en los sedimentos como partículas.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): el aumento de las concentraciones de SST en el agua, puede provocar una serie de impactos negativos sobre esta, por ejemplo: limita el paso de la luz solar hacia el fondo del cuerpo receptor; esto perjudica tanto los procesos de termorregulación como los procesos fotosintéticos por parte de las plantas o algas verde- azules; sus partículas sirven como lecho para la ubicación de un gran número de agentes patógenos, entre otros.

Sulfatos (SO₄⁻²): en los residuos líquidos están clasificados como contaminantes de tipo inorgánico. Los sulfatos generalmente suelen ser sales solubles con el agua, principalmente aquellos que son de sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y en menor medida los de calcio (Ca). Naturalmente estos se pueden encontrar en variados intervalos de concentraciones y están relacionados directamente con la salinidad de las aguas. Los sulfatos con los metales pesados disueltos en el agua tienden a formar sales insolubles; esto contribuye eficazmente a la disminución de la toxicidad de estos metales. Por la presencia de un alto contenido de materia orgánica y en condiciones anaeróbicas, los sulfatos son reducidos a sulfuro, mediante reacciones de tipo bacterianas (las bacterias anaerobias median la transferencia de electrones) y reacciones de tipo termoquímicas (en donde se necesitan altas temperaturas). La reacción de reducción del sulfato es la siguiente:



Sulfuro (S⁻²): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. En la química se conoce como sulfuro a la combinación binaria entre azufre en estado de oxidación menos dos (S⁻²) con otro elemento metal o no metal o con un radical. Los sulfuros metálicos tienden a ser más solubles en el agua que los sulfuros no metálicos. Su presencia en las aguas residuales se debe en parte por la descomposición de la materia orgánica presente a veces en el residuo líquido y por la reducción bacteriana de los sulfatos. La combinación del azufre con el elemento hidrógeno, formará el compuesto sulfuro de hidrógeno (H₂S) o ácido sulfhídrico (ácido inorgánico) cuando está en un medio acuoso. Su presencia provoca la generación de olores molestos; su toxicidad aumenta a medida que disminuye el pH en el agua y viceversa. Cuando está en un medio acuoso, sus elevadas concentraciones pueden causar una serie de efectos negativos sobre la fauna acuática, ya que este es letalmente tóxico para los peces y otros organismos.

Temperatura: La contaminación térmica, es aquella alteración en donde los contaminantes son una fuente de calor, que se manifiesta como una reducción de la calidad del agua causada por incrementos de la temperatura (Cortes I, Montalvo S, 2010). Este incremento influye en diversos procesos fisicoquímicos del agua como por ejemplo: la solubilidad de los gases (especialmente la solubilidad del oxígeno), el pH y la densidad del agua; también influye en la velocidad de las reacciones metabólicas en

los seres vivos. En la Figura 9, se representa en un gráfico la influencia de la temperatura en el contenido en % de oxígeno disuelto:

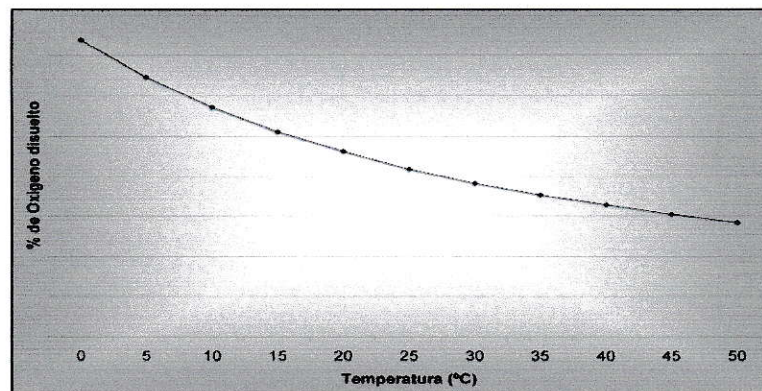


Figura 9. Grafico de Temperatura y Oxígeno Disuelto (Domingo J, 2007)

Tetracloroetano (C_2Cl_4): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo orgánico. Estos compuestos son insolubles y más densos que el agua; son persistentes en el medio ambiente. Mediante diversos estudios se ha comprobado que estos no se acumulan en los tejidos de los organismos. Como resultado de su degradación se obtienen los siguientes productos: el ácido tricloroacético (CCl_3COOH) y el ácido clorhídrico (HCl); sus presencias en el agua afectan directamente el pH de estas.

Tolueno ($C_6H_5CH_3$): En los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo orgánico. Forma parte del grupo de los hidrocarburos aromáticos volátiles. Dentro de sus características, este es poco soluble con el agua, no es persistente en el ambiente

ya que se evapora con facilidad y no se bioacumula en los tejidos de los organismos. Es fácilmente degradado por las bacterias aeróbicas, por lo que su alta presencia en el agua puede provocar serios problemas con respecto al contenido de oxígeno disuelto.

Triclorometano o Cloroformo (CHCl₃): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo orgánico. Este se disuelve parcialmente con el agua y es considerado no persistente en el ambiente, ya que es un compuesto altamente volátil. Tiene un bajo potencial de bioacumulación y tiende a moverse fácilmente por los sedimentos. Es biodegradable en condiciones anaeróbicas.

Xileno o Dimetilbenceno (C₈H₁₀): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo orgánico. Según la posición de los grupos metilos en el anillo bencénico, se diferencian en orto- meta y para Xileno. Este hidrocarburo aromático, no es persistente en el medio ambiente debido a que es un compuesto altamente volátil. Parte del xileno que no fue evaporado, es degradado por los microorganismos presentes en el curso receptor. Dentro de sus características posee un bajo potencial de bioacumulación en los tejidos de los organismos y su toxicidad se ve favorecida por otros factores como la temperatura del agua, la salinidad y la presencia de otros materiales tóxicos. En la Figura 10, se ilustran los isómeros del Xileno.

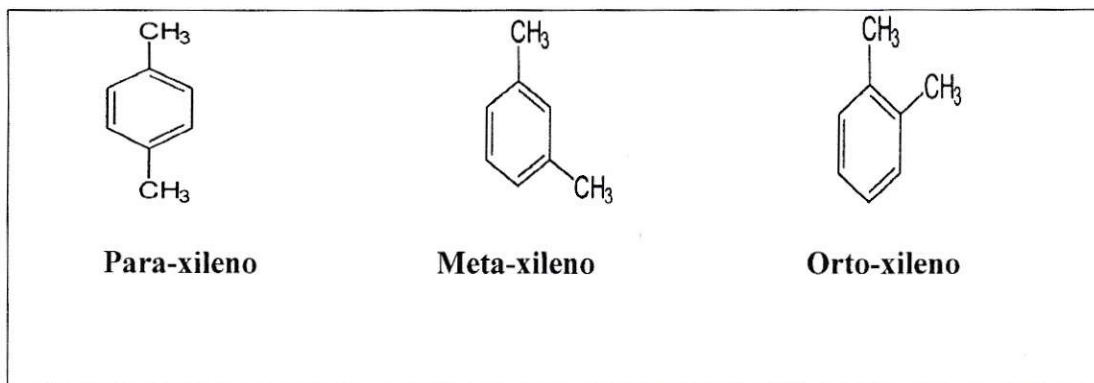


Figura 10. Isómeros del Xileno. (Alonso C, 2008)

Zinc (Zn): en los residuos líquidos está clasificado como un contaminante de tipo inorgánico. El Zinc en su estado elemental no está valorado como un metal peligroso, pero si sus derivados o sales; no reacciona directamente con las moléculas de agua; su solubilidad y toxicidad depende directamente del pH y la temperatura del cuerpo de agua receptor. A pH cercanos a 7, el zinc es insoluble con el agua, a pH < 5 el zinc se disuelve en el agua como catión (Zn^{2+}) y a pH > 11 se disuelve en el agua como tetrahidroxizincatos ($Zn(OH)^{-2}$); Ejemplo de reacción del zinc a pH < 5:



2.3.3. Alteraciones sobre la salud humana

El consumo de agua contaminada puede provocar diversos efectos sobre la salud. Estos efectos dependen directamente de:

- a. La cantidad del contaminante consumido: alta, baja o a nivel traza.
- b. Del tipo y naturaleza del contaminante: Tóxico, persistente, bioacumulable, de naturaleza física, química o biológica.
- c. Del tiempo de exposición del contaminante en el organismo: a corto, mediano o a largo plazo.
- d. De la forma de exposición: A través del contacto directo del agua con la piel, a través de la ingesta de agua y alimentos contaminados, consumo de verdura o frutas regadas con aguas contaminadas.
- e. De las características de población afectada: sexo, edad, etc.

A continuación en la Tabla 6 se señalan los posibles efectos que pueden provocar en la salud, la presencia de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000 sobre los valores permisibles en un cuerpo de agua receptor:

Tabla 6. Alteración de la salud humana, frente a la presencia de contaminantes en el agua.

Parámetro Tabla 2 DS 90/2000	Efecto en la salud en caso de valores extremos o consumo sostenido en el tiempo
Aceites y Grasas	La exposición directa no causa problemas a la salud
Aluminio	Problemas al *SNC, demencia, pérdida de la memoria, temblores severos en el cuerpo
Arsénico	Irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cancerígeno (cambios en la piel, irritación en los pulmones). Su exposición puede alterar la información genética ADN
Boro	Infecciones al estómago, hígado, riñones, cerebro, puede provocar el síndrome llamado borismo, irritación de la nariz, garganta y ojos
Cadmio	Diarreas, dolor de estomago, vómitos severos, fractura de huesos, fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad, daño al *SNC, daño al sistema inmune, desordenes psicológicos
Cianuro	Irritación de la mucosa, ardor en la boca y faringe, náuseas, vomito, convulsiones, coloración rojiza a la piel, dolor de cabeza, fatiga, alteración en el apetito y el sueño.
Cloruros	Problemas estomacales o renales.
Cobre Total	Dolor de cabeza, irritación de nariz, boca, ojos, causa problemas al hígado, a los riñones.
Coliformes Fecales o Termotolerantes	Según el agente patógeno infeccioso en el agua, es la enfermedad que se contrae, por ejemplo: gastroenteritis causada por bacterias, virus o parásitos, enfermedades a la piel e infecciones genitales, causada por hongos, etc.
Índice de Fenol	Parálisis del *SNC, dificultades renales, pérdida del conocimiento, paro cardíaco, convulsiones.
Cromo Hexavalente	Problemas de tipo renal, hepático y ciertas reacciones alérgicas. Es un elemento altamente tóxico para salud y cancerígeno.
DBO ₅	Indirectamente un alza de la DBO, genera un ambiente propicio para la proliferación de agentes de origen infeccioso, provocando una serie de enfermedades, dependiendo de la naturaleza del contaminante.
Fósforo	Osteoporosis, daño a nivel renal.
Fluoruro	Provoca la enfermedad llamada fluorosis, que es el desgaste del esmalte dental. Genera problemas a los huesos.
Hidrocarburos Fijos	Cánceres, alteraciones genéticas, afecciones respiratorias y cardíacas.
Hierro Disuelto	Problemas hepáticos, efectos sobre el crecimiento, insuficiencia cardíaca.
Manganeso	Afecta el *SNC, puede causar enfermedades como el párkinson,

	embolia de los pulmones y bronquitis.
Mercurio	Provoca trastornos *teratogénitos graves, lesiones renales, alteraciones al *SNC, alteración la información genética, ADN.
Molibdeno	Provoca dolores articulares, diarrea, anemia.
Níquel	Provoca defectos de nacimiento, problemas cardiacos, cáncer
Nitrógeno Total Kjeldhal	Un aumento de nitrógeno total, genera un ambiente propicio para la proliferación de agentes infecciosos, causando una serie de enfermedades.
Pentaclorofenol	Provoca daño hepático, difusión renal, daño cerebral, daño cardiaco, problemas al sistema digestivo, dermatitis, urticaria crónica.
pH	El pH interviene en la solubilidad de compuestos tóxicos en el agua, esto conlleva a la generación de diversas enfermedades, producto de estos compuestos.
Plomo	Genera problemas de ceguera, amnesia, raquitismo, incremento de la presión sanguínea, perturbación al sistema nervioso. Una de las enfermedades más características por el consumo de plomo es el saturnismo (afección renal, digestivo y al *SNC)
Poder Espumógeno	Un aumento en la cantidad de espuma en las aguas, genera un ambiente propicio para el desarrollo de agentes infecciosos, propagando una serie de enfermedades.
Selenio	Hinchamiento de la piel y las mucosas, efectos neurológicos, cancerígeno
SST	Problemas gastrointestinales y en la piel
Sulfatos	Diarrea y posterior deshidratación del organismo, cálculos renales.
Sulfuro	Alteración en la circulación sanguínea, daño cardiaco, daño al sistema inmunitario, causa problemas renales y hepáticos.
Temperatura	Indirectamente, la elevación de la temperatura en las aguas genera un ambiente propicio para la proliferación de agentes patógenos termófilos, provocando una serie de enfermedades al ser humano.
Tetracloroetano	Irritaciones a la piel, cancerígeno
Tolueno	Problemas al *SNC, narcosis (vértigo, náuseas, dolor de cabeza), cancerígeno
Triclorometano	Daño hepático y renal. Provoca quemaduras en la boca y garganta. Genera severas ulceraciones a la piel. Cancerígeno
Xileno	Daño hepático, renal, *SNC, pulmones
Zinc	Provoca úlceras estomacales, irritación de la piel, inhibición de la absorción del cobre, anemia.

*SNC: Sistema Nervioso Central.

*Teratogénitos: Malformaciones Físicas.

2.3.4. Efectos sobre el ecosistema acuático y su toxicidad.

Los sistemas acuáticos poseen una gran sensibilidad frente a la contaminación de las aguas; esta sensibilidad depende tanto de:

- a. Las características que presentan los organismos: estadio vital (huevo, larva etc.), cambios en su ciclo vital, edad, sexo, especie, tamaño, etc.
- b. Las características que poseen los contaminantes descargados sobre un cuerpo de agua receptor: toxicidad, persistencia, bioacumulación, solubilidad, etc.
- c. La adaptación fisiológica de los contaminantes tóxicos descargados: permeabilidad de los organismos, etc.
- d. La alteración del hábitat: pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, dureza, luz, entre otros.

La contaminación del agua puede provocar cambios en la estructura de las comunidades acuáticas, en sus funciones biológicas; puede afectar sus ciclos de vida, crecimiento, capacidad reproductiva, entre otros (Bartram y Balance, 1996).

A continuación en la Tabla 7 se señalan los posibles efectos que pueden provocar en la salud y desarrollo de los ecosistemas acuáticos, la presencia de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000 sobre sus valores permisibles en un cuerpo de agua receptor.

Tabla 7. Alteraciones a la salud y desarrollo de los ecosistemas acuáticos frente a la presencia de contaminantes en el agua.

Parámetro Tabla 2 DS 90/2000	Alteración sobre el ecosistema acuático y Toxicidad, en el caso de valores extremos
Aceites y Grasas	La películas flotante que forman las Aceites y Grasas sobre el cuerpo de agua receptor, impide el paso de la luz solar hacia el fondo marino, imposibilitando la actividad fotosintética de las algas. Esto trae como consecuencia la disminución del contenido de oxígeno, provocando la muerte de los peces por asfixia.
Aluminio	Al disminuir el pH en el agua, el Aluminio se solubiliza y se vuelve disponible para los organismos. Un aumento de aluminio en el agua, puede provocar tenciones crónicas en los peces, puede afectar en su crecimiento y en su capacidad de sobrevivencia.
Arsénico	Se caracteriza por acumularse en los tejidos de los peces. A través de la red trófica, este se va transportando entre uno y otro organismo, provocando la muerte por intoxicación (cada dosis letal varía según el tipo de organismo acuático). También afecta el material genético.
Boro	A pesar de que el Boro es un elemento esencial para el desarrollo de los organismos, el aumento de su concentración en el agua, puede provocar severos daños en el crecimiento de algunas algas y peces.
Cadmio	El Cadmio es altamente tóxico, tanto para la flora como para la fauna acuática. Esto se debe a que es fácilmente asimilable, sobre todo por los peces. Su presencia puede provocar graves problemas en la presión sanguínea de los peces, en su peso y desarrollo del esqueleto.
Cianuro	Una alta exposición de Cianuro en el agua, acompañado de condiciones de pH, temperatura y nivel de oxígeno, genera un ambiente bastante tóxico para los sistemas acuáticos; esto provoca la inhibición de las reacciones de oxidación fotoquímica que permiten la respiración celular en los organismos.
Cloruros	Perjudica los mecanismos de osmorregulación de algunas especies de peces; la sobreexposición de cloruros provoca la migración de estos a otros lugares; perjudican el crecimiento y la absorción de nutrientes de ciertas plantas acuáticas.
Cobre Total	A pesar que el Cobre es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, una alta exposición de éste puede inducir una serie de problemáticas que afectan el desarrollo de los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, en el caso de los peces jóvenes la sobreexposición les provoca efectos irritantes sobre los epitafios branquiales y a la lisis de las células sanguíneas. La toxicidad del cobre, depende de la alcalinidad, del pH y del contenido de materia orgánica en el agua.
Coliformes	Los peces que crecen en aguas infectadas por Coliformes Fecales,

Fecales o Termotolerantes	también pueden contaminarse con ellos. Estos patógenos son transportados pasivamente por medio de las escamas, de las agallas, por vía digestiva, por los músculos de los peces o mediante el líquido intraperitoneal.
Índice de Fenol	Generalmente los compuestos Fenólicos no se acumulan en los tejidos de los organismos acuáticos, sin embargo, su presencia puede provocar daños cardiovasculares en los peces. No se conoce mucho sobre los efectos adversos que pueden provocar sobre las plantas acuáticas.
Cromo Hexavalente	Los compuestos de Cromo (VI) son tóxicos y móviles en el ecosistema acuático. Su presencia en altas cantidades puede alterar el material genético de los organismos; estos ejercen un gran poder inhibitorio para el crecimiento de las bacterias.
DBO₅	Un alza en el valor de la DBO, conlleva a una reducción del contenido de oxígeno disuelto en el agua. La deficiencia de este gas genera un medio no apto para la sobrevivencia de algunas especies.
Fósforo	El exceso del contenido de Fosforo en las aguas, estimula el crecimiento de la biomasa (toxica y no toxica); esto provoca problemas de eutroficación y dificultad para el paso de la luz solar hacia el fondo del cuerpo de agua receptor. Ambos fenómenos evitan el desarrollo y sobrevivencia de los organismos acuáticos.
Fluoruro	A partir de ciertas concentraciones, los Fluoruros pueden inhibir en los peces una serie de actividades vitales, como es el crecimiento y la reproducción. Un gran número de especies de plantas acuáticas son resistentes frente a las fluctuaciones de las concentraciones de fluoruro en el agua.
Hidrocarburos Fijos	Un aumento del contenido de Hidrocarburos en el agua provoca la disminución de la productividad de los organismos acuáticos, que constituyen principalmente el fitoplancton; esto conlleva al colapso de las redes tróficas entre productores, consumidores y depredadores.
Hierro Disuelto	Un alto contenido de Hierro Disuelto en el agua, puede acumularse en las láminas branquiales de los peces, irritando mecánicamente sus epitelios, provocándoles la muerte por asfixia.
Manganeso	El Manganeso soluble a niveles trazas es un elemento esencial para el desarrollo de las actividades metabólicas de los organismos. Su nivel de letalidad afecta según el tipo de especie.
Mercurio	Este tiende a acumularse en los tejidos de los organismos transportándose por la cadena trófica a niveles superiores. Su presencia en el agua puede provocar en los peces alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos, ocasionándoles hasta la muerte.
Molibdeno	Elemento esencial para el buen funcionamiento de las enzimas encargadas de las reacciones de oxido-reducción en los diversos sistemas biológicos. El alto contenido de molibdeno inhibe la

	absorción del cobre por los organismos.
Níquel	Elemento esencial para el desarrollo de la vida. Un alto contenido de Níquel en el agua puede generar problemas de crecimiento tanto para la flora como la fauna acuática.
Nitrógeno Total Kjeldhal	Tanto el Fosforo como el Nitrógeno son nutrientes que estimulan el crecimiento desmedido de la biomasa, lo que conlleva a la posterior eutroficación del cuerpo de agua receptor y la disminución del oxígeno disuelto; esto último limita el crecimiento normal de los organismos que dependen de las concentraciones de oxígeno para su sobrevivencia.
Pentaclorofenol	La presencia de Pentaclorofenol en el agua es altamente tóxico para los organismos acuáticos. En las algas acuáticas, provoca la destrucción de la clorofila, inhibiendo sus procesos fotosintéticos. En los peces altera ciertas actividades enzimáticas; provoca alteraciones morfológicas, retarda el crecimiento y metabolismo.
pH	Generalmente las variaciones bruscas de pH afectan en gran orden la sobrevivencia de ciertas especies acuáticas. La mayoría de ellas se desarrollan entre los pH 5,0 a 9,0. Tanto los pH altos como los bajos son directamente tóxicos para los peces, de tal manera que muchas poblaciones de ellos tienden a disminuir o desaparecer frente a estos cambios de adaptación.
Plomo	Este elemento es altamente tóxico para los organismos sobre sus niveles traza. Tiende a acumularse en los tejidos transportándose mediante la cadena trófica. En los peces origina una película coagulante provocando alteraciones hematológicas. En las plantas limita la síntesis clorofílica.
Poder Espumógeno	La película que forman las espumas sobre el cuerpo de agua receptor, genera una serie de problemáticas ambientales como: disminución en la capacidad autodepuradora del cuerpo de agua, disminución de la actividad bacteriana por la falta de oxígeno disuelto y la muerte de los organismos por hipoxia y asfixia, disminución de la tensión superficial del agua, afectando la locomoción de varios animales acuáticos, entre otros.
Selenio	Este tiende a acumularse en los tejidos de los organismos y se transporta mediante la cadena trófica a niveles superiores. En las plantas acuáticas la absorción es mucho mayor. En las especies de peces más jóvenes y anfibios, la exposición continua de Selenio, puede provocar serios problemas en el desarrollo del embrión.
SST	Un alto contenido de SST en el agua, dificulta el paso de la luz solar hacia el fondo marino ocasionando efectos nocivos sobre la biota.
Sulfatos	Los procesos de reducción del Sulfato, proporcionan la posterior formación de Ácido Sulfhídrico, que es altamente tóxico para los peces, siendo muchas veces letal.
Sulfuro	Los compuestos de sulfuro como el Ácido Sulfhídrico, son capaces

	de atravesar las membranas de las mucosas branquiales de los peces mucho más rápido que el oxígeno; este tiende a unirse con el hierro de la hormona respiratoria dando como resultado la inhibición de la respiración y posterior muerte por asfixia. El pH es un condicionante con respecto a la toxicidad de los compuestos de sulfuro para el ecosistema.
Temperatura	Cada organismo sobrevive a una cierta temperatura, la cual favorece tanto en su crecimiento como en la proliferación de su especie. Ejemplo: cuando cambia bruscamente la temperatura de mayor a menor en 10°C, en los peces se produce la destrucción de los glóbulos rojos de los vasos sanguíneos, provocándoles una “hemolisis intravascular” que los puede llevar a la muerte. Un cambio a más de 5° C o a 7° C produce el llamado “Shock térmico” que es la pérdida del equilibrio y movimientos espasmódicos; un cambio brusco a menos 5°C, les causa stress a los peces, en donde los hace más susceptibles a enfermarse, ya que su sistema inmunológico decrece.
Tetracloroetano	En altas cantidades, la presencia de Tetracloroetano en el agua, puede provocar efectos *teratogénitos a un gran número de especies acuáticas.
Tolueno	Se desconocen los efectos que puede provocar la presencia de Tolueno en el agua en los organismos acuáticos, sin embargo esta sustancia está catalogada como peligrosa para estos tipos de sistemas.
Triclorometano	Está comprobado que el Triclorometano no tiende a acumularse en los tejidos de los peces u otros animales acuáticos, sin embargo al igual que el Tolueno, es considerado como una sustancia peligrosa para estos tipos de sistemas.
Xileno	El Xileno es catalogado como una sustancia altamente toxica. Su presencia (a niveles trazas) en el agua puede afectar la permeabilidad celular de los peces, actuando como una neurotoxina; provoca la pérdida del equilibrio y parálisis de estos organismos, ocasionando su posterior muerte. El p-xileno es uno de los isómeros del Xileno más tóxico para el medio ambiente.
Zinc	A pesar que el Zinc es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, el alto contenido en el agua, puede acumularse en los órganos de los peces, provocando la destrucción de sus epitelios branquiales (esto depende directamente del tipo de especie entre otras características).

***Teratogénitos:** Mal formaciones física

3. Construcción de la nueva tabla para el DS 90/2000

3.1. Identificación y agrupación de parámetros.

A partir de los análisis anteriores, en la Tabla 8 se identifican y agrupan los parámetros regulados en la tabla 2 del DS 90/2000, con respecto a la lista de requisitos propuesta por la USEPA, para la descarga de contaminantes en una zona de dilución, según corresponda:

Tabla 8. Identificación y agrupación de los parámetros regulados en el DS 90/2000

Criterios propuestos por la USEPA								
Parámetros De la tabla 2 del DS 90/2000	*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7	*8
Aceites y Grasas		x	X		x			
Aluminio								
Arsénico						X	x	X
Boro						X		
Cadmio						X	x	X
Cianuro								X
Cloruros								
Cobre Total		x						X
Colif. Fecales					x			
Índice de Fenol		x				X		X
Cromo (Cr ⁺⁶)						X	x	X
DBO ₅		x			x			
Fósforo		x			x			
Fluoruro							x	X
Hidrocarburos Fijos	X	x						X
Hierro Disuelto	X				x			
Manganeso	X				x			
Mercurio						X	x	X
Molibdeno								
Níquel		x						
NKT		x			x			
Pentaclorofenol		x				X	x	X
pH	X	x	X		x	X	x	X

Plomo					X	x	X
Poder Espumógeno		x		X			
Selenio					X	x	X
*SST							
Sulfatos							
Sulfuro		x					
Temperatura				x			
Tetracloroetano					X	x	X
Tolueno		x					X
Triclorometano		x					
Xileno		x					X
Zinc							X

■ : Está dentro de la lista

□ : No se identifica con ninguna de las características nombradas en la lista

*SST: Sólidos Suspendidos Totales

*NKT: Nitrógeno total Kjeldahl

- *1. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que tiendan a precipitar en condiciones normales (25°C, 1 atm)
- *2. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que produzcan olor, color o sabor objetable al agua
- *3. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean Aceites y Grasas
- *4. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que formen espuma
- *5. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que puedan atraer especies molestas
- *6. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que posean un carácter persistente.

*7. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean bioacumulables en los tejidos.

*8. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean altamente tóxicos para la vida acuática.

Según las propiedades que posee cada parámetro, se observa en la Tabla 8 que sólo 5 de los 35 de ellos, están exentos de todos los aspectos que la USEPA identifica como restrictivos; estos parámetros son:

- ✓ Aluminio (Al)
- ✓ Cloruros (Cl)
- ✓ Molibdeno (Mo)
- ✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- ✓ Sulfatos (SO_4^{-2})

3.2. Límites máximos para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución.

Los límites máximos de descarga para cada parámetro de la lista anterior, pueden superarse dentro de una zona de dilución, si y sólo si, estos después no generen algún tipo de alteración o modificación en la calidad de las aguas. La presencia de estos parámetros en un cuerpo de agua a una concentración por debajo de las normas

ambientales, generalmente no provocan graves problemas, sin embargo, debe existir algún límite tal que, no supere la condición “estable” del medio y sus alrededores.

En la Tabla 9, se extrae de la Tabla 2 del DS 90/2000, los 5 parámetros no identificados en la lista de requisitos, con su respectivo límite máximo permitido para la descarga de efluentes en un cuerpo de agua receptor fluvial con capacidad de dilución:

Tabla 9. Parámetros y límites máximos permitidos para la descarga de efluentes en un cuerpo de agua fluvial con capacidad de dilución, regulados en la Tabla 2 del DS 90/2000

Parámetros	Unidades	Límite Máximo Permitido Tabla 2
Aluminio	mg/L	10
Cloruros	mg/L	2000
Molibdeno	mg/L	2,5
*SST	mg/L	300
Sulfatos	mg/L	2000

*SST: Sólidos Suspendedos Totales

Dada las características de una zona de dilución, los parámetros indicados en la tabla 9, pueden superar sus límites máximos de descarga, siempre y cuando dicha zona cumpla con las metodologías y criterios establecidos (mirar sección 1.2. de los resultados, directrices para asignar una zona de dilución).

Como ya fue mencionado en la sección 5. de los antecedentes generales, criterios de zona de dilución; pocos países han logrado establecer zonas de dilución en sus cuerpos de agua fluviales, debido especialmente por la falta de experiencia y de información. Países como Estados Unidos, los valores de concentración para la descarga de contaminantes líquidos sobre una zona de dilución, van variando según sea el Estado y las diferentes condiciones que sus ríos presentan; por lo mismo es complicado usar como

referencia alguno de estos valores, ya que las condiciones y características de los cuerpos de aguas de dichas zonas no se asemejan completamente con las de los cuerpos de agua fluviales nacionales. También suele generalmente suceder que la información no se encuentra disponible (pasa en la mayoría de los casos). Debido a lo anterior y a modo de propuesta, para el establecimiento de concentraciones límites para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución, se utilizará como referencia lo señalado en el DS 90/2000, en el punto 6.4.2. Letra a). Este último indica lo siguiente: “No se considerarán sobrepasados los límites máximos establecidos en las tablas 1,2,3,4 y 5 de la norma si: a) Analizadas 10 o menos muestras mensuales, incluyendo los remuestreos, sólo una de ellas excede, en uno o más contaminantes, hasta un 100% el límite máximo establecido en las referidas tablas” (CONAMA, 2000). Ejemplo:

Tabla 10. Tabla de ejemplo. (CONAMA, 2000)

Muestras Nº	Parámetro A (Límite máximo 10)	Parámetro B (Límite máximo 5)
1	5	4
2	7	3
3	7	3
4	8	4
5	9	3
6	20	10
7	10	4
8	7	3
9	8	5

En la Tabla 10 se observa que el efluente sí cumple con la norma. Del total de las muestras solo la muestra 6 excede en uno o más contaminantes, hasta un 100% el límite máximo establecido en la norma de emisión.

Ahora bien, en el caso contrario

Tabla 11. Tabla de ejemplo. (CONAMA, 2000)

Muestras N°	Parámetro A (Límite máximo 10)	Parámetro B (Límite máximo 5)
1	5	4
2	7	3
3	7	3
4	8	4
5	9	3
6	21	5
7	10	4
8	7	3
9	8	5

En la Tabla 11 se observa que el efluente No cumple con la norma. Del total de las muestras solo la muestra 6 excede en un contaminante, por sobre el 100% del límite máximo establecido por la norma de emisión.

Adaptando el concepto anterior para este caso en particular, se propone lo siguiente: Previamente asignada la zona de dilución del receptor fluvial, todos los efluentes descargados sobre dicha zona, solo podrán exceder hasta un 100% sus límites máximos

establecidos en la tabla 2 del DS 90/2000, los parámetros Aluminio, Molibdeno, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfato y Cloruro.

Según la propuesta anterior, la nueva tabla 2a quedaría de la siguiente forma:

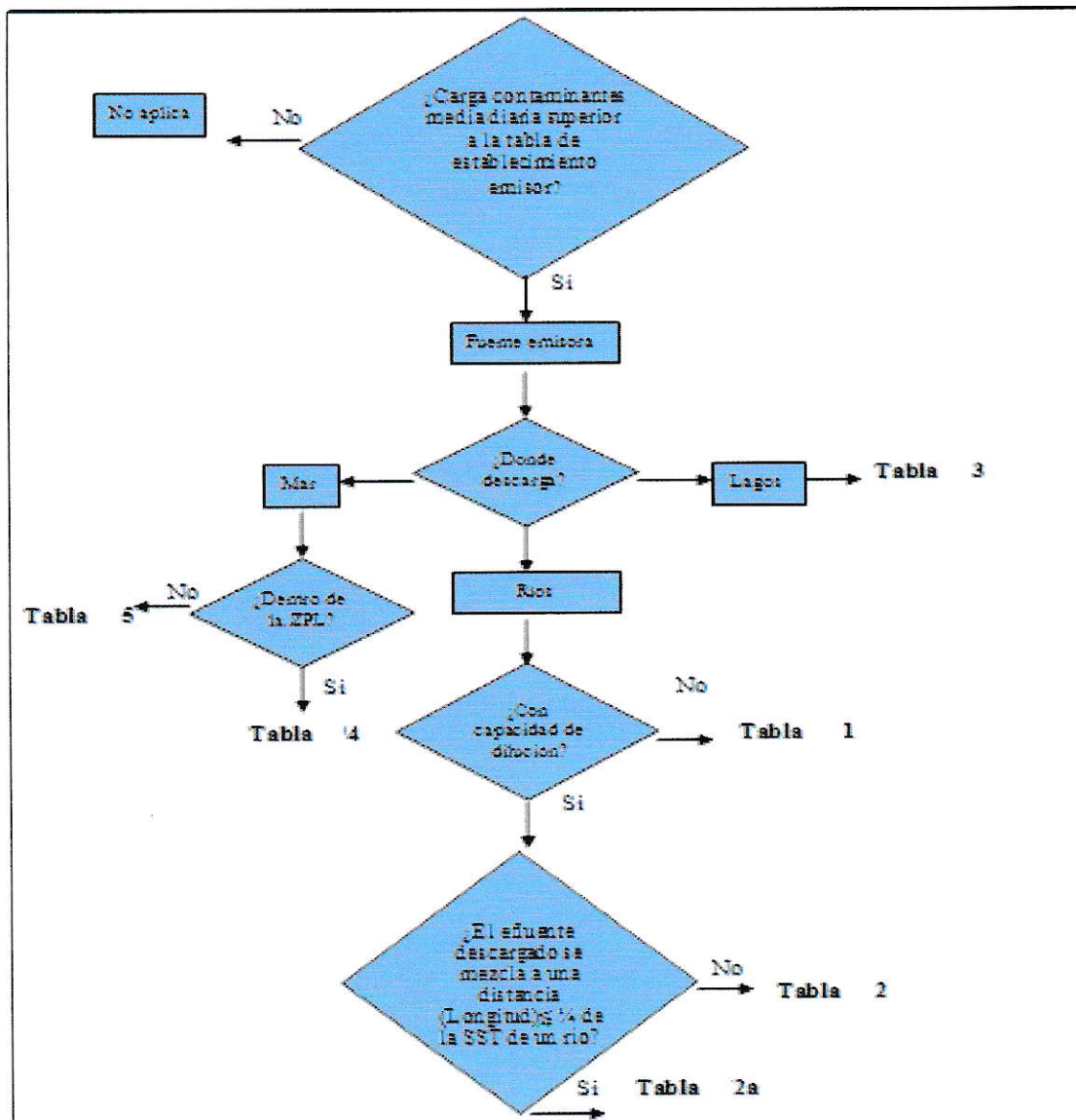
Tabla 12. Tabla 2a de Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales Considerando la Zona de Dilución Ambiental del Receptor

Parámetros	Unidades	Expresión	Límite Máximo Permitido, Tabla 2	Límite Máximo Permitido, Tabla 2a (100%)
Aluminio	mg/L	Al	10	20
Cloruros	mg/L	Cl	2000	4000
Molibdeno	mg/L	Mo	2,5	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SST	300	600
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	2000	4000

En la Tabla 12, se visualizan las nuevas concentraciones máximas de descarga para cada parámetro en un efluente, antes de ser eliminados sobre una zona de dilución. Es importante considerar que este solo es un alcance a los posibles valores que pueden ser descargados sobre estas zonas.

4. Nuevo diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a.

El diagrama de fiscalización, indica las condiciones que deben cumplir las fuentes emisoras y los cuerpos de agua receptores para la aplicación de la nueva tabla 2a del DS 90/2000



SST = Sección transversal de un río

Figura 11. Diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a del DS 90/2000, a una fuente emisora.

La Figura 11 indica el diagrama de fiscalización que deberá someterse la fuente emisora, para el control de sus efluentes descargados sobre un cuerpo de agua receptor.

Según lo explicado en la figura 1 de la sección 1.1. de revisión de antecedentes legales, si el proyecto o actividad a desarrollar, es calificado como una fuente emisora, esta debe cumplir con la norma de emisión DS 90/2000 que controla la descarga de residuos líquidos sobre un cuerpo de agua receptor. Si este cuerpo de agua receptor es de tipo fluvial, se debe comprobar si este posee o no capacidad de dilución; en el caso que sí, en el diagrama se incluye una nueva pregunta referida a la zona de dilución del receptor; esta indica si el efluente descargado se mezcla o no a una distancia \leq a $\frac{1}{4}$ de la sección transversal del río. Si cumple con esta condición, anticipadamente verificada a través de las diferentes técnicas, la fuente emisora podrá aplicar la tabla 2a de dicho decreto.

IV DISCUSIÓN GENERAL

1.3. Ubicación de una Zona de Dilución.

Con respecto a la ubicación de una zona de dilución en un cuerpo de agua receptor, la USEPA propone que esta no puede estar ubicada aguas arriba de una bocatoma o de una zona protegida a menos que cumpla entre ellas una distancia mínima. Esta distancia necesariamente depende de las características del río, sin embargo, hay países que fijan valores específicos que no pueden ser quebrantados; por ejemplo en USA en el estado de Virginia, esta distancia mínima corresponde a una longitud de 800 metros (CADE-IDEPE, 2003). En los ríos de Chile, establecer una distancia fija de 800 metros entre una zona de dilución y una bocatoma por ejemplo, puede ser un criterio un tanto exagerado, debido a que los ríos nacionales por lo general, se caracterizan por ser de corta extensión.

1.4. Tamaño de una Zona de Dilución.

Una zona de dilución, debe ser lo más pequeña posible. Debido a lo anterior, la USEPA propone un valor aproximado que permite limitar dicha zona $\frac{1}{4}$ de la sección transversal del río. Para el caso de los ríos Chilenos, un valor como este puede ser sobredimensionado. Los ríos nacionales, también se caracterizan por ser en su mayoría, ríos angostos. Por lo mismo, dependiendo del caso en particular en nuestro país, se puede estimar que la zona de dilución puede estar dentro del un valor $\leq \frac{1}{4}$ de la sección transversal de un cuerpo de agua receptor fluvial.

1.4.1. Dimensión de una Zona de Dilución.

En la Tabla 4, se indican los límites geométricos que adoptan algunos de los estados de USA para el establecimiento de dimensiones en una zona de dilución; la mayoría de estos Estados limitan dicha zona a un valor $\leq \frac{1}{4}$ de la sección transversal del cauce. Los demás Estados poseen un valor mayor o simplemente no adoptan el concepto de zona de dilución.

Usando como referencia las experiencias de cada estado de USA, se comparó las características de sus ríos con respecto a los ríos de Chile (zonas hídricas) y se observó que los ríos ubicados en el Noroeste de Estados Unidos, especialmente los ríos del estado de Oregón, poseen características muy similares a los ríos de las zonas hídricas subhúmeda, húmeda y nordpatagónica de Chile (ver Anexos I).

2. Criterios propuestos por la USEPA, para la descarga de contaminantes en una zona de dilución.

Todos aquellos contaminantes que están exentos a los criterios que la USEPA identifica como restrictivos (en concentraciones elevadas) en una zona de dilución, pueden superar sus límites de descarga, al momento de ser eliminados sobre dicha zona. Esto no implica descargar concentraciones a la deriva, sino más bien, antes de fijar un nuevo límite máximo, se debe realizar una serie de estudios complementarios (relacionados a la toxicidad, persistencia, bioacumulación, efectos deletéreos, entre otros) de cada contaminante, con el objetivo de determinar estos nuevos valores de concentración.

2.1. Requisitos para la descarga de contaminantes en una zona de dilución.

En los requisitos propuestos por la USEPA para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución, se indica que no pueden superar sus límites ambientales aquellos contaminantes que formen espuma; en este caso, no se limita a un contaminante en particular, ya que en una descarga pueden haber más de un contaminante que presente este tipo de característica, por lo mismo se acepta que un valor exprese y represente en forma general esta condición. En Chile en la norma de emisión DS 90/2000 se determina la capacidad que tiene una solución para producir espuma mediante el parámetro poder espumógeno (NCh 2313/21, 2009).

De la lista también se indica, que no pueden superar los límites ambientales aquellos contaminantes que posean carácter persistente en el ambiente, que sean bioacumulables en los tejidos y tóxicos para los peces. Muchas de las sustancias descargadas sobre una zona de dilución, pueden cumplir con uno o con todos estos requisitos. Generalmente estas sustancias están relacionadas entre sí y son conocidas como sustancias PBT. Los compuestos que están dentro de esta categoría son aquellos que forman parte de los compuestos orgánicos persistentes COPs, algunos metales, compuestos organometálicos, entre otros.

2.2. Análisis de los parámetros normados en la tabla 2 del DS 90/2000.

2.2.1. Contaminación Físicas del agua.

En la Tabla 5, se identificaron todas las alteraciones físicas que puede sufrir el agua, debido a la presencia de uno o varios de los parámetros normados en el DS 90/2000, descargados por sobre los límites establecidos en esta norma. Un determinado número de ellos no provocan cambios físicos sobre el agua, debido a sus diferentes propiedades

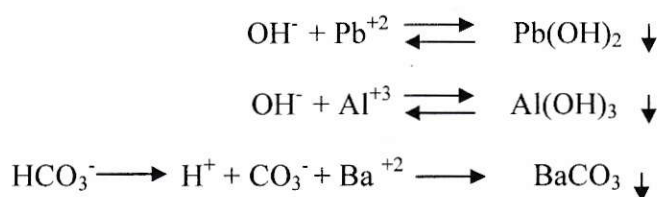
o características; por ejemplo: una alteración física, comprende un cambio superficial en la coloración del agua, formación de películas flotantes, espumas, olor, sabor entre otros; compuestos como el cromo hexavalente (Cr^{+6}), su alta presencia no denota algún cambio visible en el agua (entiéndase como cambio visible a esos cambios detectados por los sentidos del olfato, gusto, tacto y visión); sin embargo existen otros tipos de contaminantes que, independientemente de la cantidad en que estos se encuentran en el agua, ya provocan cambios notables en esta, como es el caso de las grasas y aceites y los compuestos orgánicos como los fenoles que le otorgan un fuerte olor y sabor.

Existen sustancias que pueden provocar alteraciones físicas en el agua, de forma indirecta, como es el caso del cianuro (CN). Este compuesto en solución acuosa y en determinadas condiciones de pH, tiende a formar compuestos de cianuro de hidrógeno (HCN), que en grandes cantidades, le otorga un intenso olor a almendras al agua.

2.2.2. Contaminación Química y Biológica del agua.

La contaminación química, como fue explicado en la sección 2.3.2. de los resultados, se entiende como aquella contaminación que modifica totalmente la composición del agua. De los parámetros estudiados, aquellos que forman parte del grupo de los compuestos orgánicos, en su mayoría contribuyen con la disminución del contenido del oxígeno disuelto en el agua, como consecuencia de su consumo para los procesos de degradación de los contaminantes. Aquellos contaminantes que forman parte del grupo de compuestos inorgánicos, sus consecuencias dependen directamente del efecto tóxico que pueden provocar sobre los organismos acuáticos. La alta presencia de compuestos inorgánicos como el fósforo (P) o el nitrógeno total o nitrógeno kjeldhal, también pueden demandar grandes cantidades de oxígeno disuelto.

El parámetro pH según su valor, puede ser un factor determinante con respecto a la disponibilidad o acumulación de algunos compuestos en el agua y en sus sedimentos; en el caso de los metales, estos tienden a estar más disponibles a pH ácidos. A pH altos se puede producir la precipitación como hidróxidos o carbonatos, disminuyendo su toxicidad; en medios muy alcalinos pueden volver a pasar a la solución como hidroxicomplejos (Vega, 1985); ejemplo de hidróxidos y carbonatos metálicos a pH > 8: hidróxido de plomo (II), hidróxido de aluminio (III) y carbonato de bario.



Los compuestos que se encuentran depositados en los sedimentos, son considerados como grandes “fuentes de contaminación”. Por ejemplo: Si llegara a ocurrir un accidente o derrame de alguna sustancia química que afectara el pH del agua, estos compuestos se volverían inmediatamente disponibles para los seres vivos y su entorno, lo que como consecuencia provocarían graves e irreversibles daños ambientales. Por otra parte, estos sedimentos también son considerados como fuentes de alimentación; los compuestos depositados en ellos tienden a movilizarse desde un organismo a otro por medio de la cadena trófica.

La temperatura es otro factor determinante, que influye en la solubilidad de los gases (oxígeno), en la disponibilidad de los contaminantes (sales), la toxicidad y en la velocidad de las reacciones biológicas (Cortes I, Montalvo S, 2010). En la Figura 9 se representa en un gráfico, las variaciones del contenido de oxígeno disuelto con respecto

a la temperatura del agua: en intervalos pequeños de temperatura, no se observan grandes variaciones de oxígeno; por ejemplo: el cambio de temperatura de 20°C a 25 °C en el agua, el oxígeno disuelto disminuye no más allá de un 5%, sin embargo, en intervalos más amplios esta variación es mayor, por ejemplo; si la temperatura varía de 25°C a 50°C, el oxígeno disuelto disminuye en un porcentaje mucho mayor al anterior. Desde el punto de vista fisicoquímico, no existe gran variación, pero la diferencia está en que estas variaciones pueden ser peligrosas para la sobrevivencia de varios organismos acuáticos.

Parámetros como el Poder Espumógeno, la DBO₅, el Índice de Fenol, Coliformes Fecales y Sólidos Suspendidos Totales, son indicadores de contaminación, que miden el efecto determinado de varios contaminantes. Cada uno de estos parámetros posee un método analítico estandarizado que permite obtener valores que serán interpretados para el uso necesario.

Generalmente la presencia del parámetro manganeso (Mn) en el agua, siempre se ve asociado a la presencia del hierro (Fe). En las Figuras 7 y 8, los diagramas de estabilidad de ambos compuestos indican que el comportamiento de cada uno se ve influenciado por las condiciones redox y de pH del agua. A pH < que 8 el hierro se encuentra en su estado de oxidación Fe⁺², entre los valores de potencial redox de -0,4 (V) a +0,7 (V). A pH > que 8 el hierro se encuentra en su estado de oxidación Fe⁺³, entre los potenciales -0,1 (V) a +0,7 (V). A un pH > que 7,5 y a potenciales redox entre los valores -0,35 (V) a -0,5(V) el hierro se encuentra como un hidróxido insoluble, hidróxido de hierro (II) (Fe(OH)₂), precipitado en los sedimentos. Para el caso del manganeso a pH < que 9, este se encuentra en su estado de oxidación Mn⁺² soluble, entre los potenciales redox de -0,5

(V) a $+0,7$ (V). Para pH $>$ que 9 en general el manganeso se encuentra en un estado de oxidación Mn^{+4} insoluble.

De los metales evaluados, según su nivel de toxicidad, persistencia y bioacumulación, se pueden clasificar en:

- ✓ **No críticos:** Fe, Al
- ✓ **Tóxicos pero muy insolubles o muy raros:** Ninguno
- ✓ **Muy tóxicos y relativamente accesibles:** Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg, Pb.

De los compuestos orgánicos analizados, los que están clasificados como tóxicos en su mayoría no son persistentes en el ambiente, debido a sus propiedades químicas. Para el caso de los xilenos, tolueno y el triclorometano, son poco persistentes en el ambiente debido a que son extremadamente volátiles, a diferencia de los compuestos de tetracloroetano y pentaclorofenol, que son compuestos orgánicos persistentes, bioacumulables y tóxicos para los organismos acuáticos (PBT).

La contaminación de tipo biológica, dentro de los parámetros evaluados, se identifica con la medición de los Coliformes fecales o contaminación de tipo fecal. Este tipo de contaminación puede aportar diferentes microorganismos patógenos existentes en la población circundante como; (Educar para el Medio Ambiente, 2007).

- ✓ **Virus:** *Virus de la Hepatitis A, Rotavirus (Grupo A), Calicivirus, Virus Norwalklike, etc.*
- ✓ **Bacterias:** *Vibrio cholerae, Salmonella, Eschericia coli enteronasiva, etc.*
- ✓ **Protozoos:** *Giardia lamblia, Balantidium coli, Cryptosporidium parvum, etc.*

2.2.3. Alteraciones sobre la salud humana.

La Tabla 6 indica algunas de las alteraciones que pueden provocar los parámetros evaluados, en la salud de los seres humanos, cuando están descargados en concentraciones superiores a las reguladas en las norma de emisión. Se debe recalcar, que el grado de alteración por cada contaminante depende de varios factores como: la naturaleza del contaminante, el tiempo de exposición, el tipo de exposición, edad y sexo del individuo, etc. Muchos elementos como el Fe, Cu, Zn, Mo entre otros son necesarios para el desarrollo normal del organismo, siempre y cuando se encuentren en cantidades muy bajas o cantidades trazas; un aumento en el contenido de estos puede provocar severos daños, llevando al individuo a contraer enfermedades de tipo aguda (enfermedades que aparecen pronto con síntomas severos) a enfermedades de tipo crónica (enfermedades que se desarrollan lentamente y persisten en el tiempo).

2.2.4. Efectos sobre el ecosistema acuático y su toxicidad.

Los organismos acuáticos se identifican por ser mucho más débiles y sensibles frente a un evento de contaminación ambiental, debido a sus características de tamaño, especie, sexo, tipo de reproducción, etc. En la Tabla 7, se observa que cada parámetro evaluado, descargado sobre las concentraciones normadas, provocan en algún nivel algún tipo de alteración en la salud de estos; otra de las alteraciones provocadas por la presencia excesiva de estas sustancias en el agua, es la disminución o proliferación del número de individuos de la misma o de otras especies.

Al igual que los seres humanos, tanto la flora como la fauna acuática necesitan de la presencia de algunos de estos elementos en pequeñas cantidades, para el desarrollo de

sus actividades metabólicas; un aumento en el contenido de estos puede generar severos daños para su salud y sobrevivencia.

Con respecto a las sustancias tóxicas, estas van aumentando su concentración conforme van recorriendo la cadena trófica (biomagnificación); los organismos más pequeños pueden concentrar contaminantes por encima de la concentración que hay en el ambiente acuático; a medida que estos son depredados, se va movilizando el material de un organismo a otro de tal manera que su concentración puede doblar al valor anterior. Este fenómeno ocurre generalmente con aquellos contaminantes que no son solubles o que son persistentes en el medio ambiente (Silva A, 2005).

La temperatura juega un rol importante con respecto a la distribución y desarrollo de los organismos en un sistema acuático. A cambios bruscos de temperatura los organismos pueden sufrir una serie de complicaciones que pueden comprometer tanto sus funciones sistémicas como de adaptación. (Domingo J, 2007).

3. Construcción de la nueva tabla para el DS 90/2000.

3.1. Identificación y agrupación de parámetros.

Se aprecia en la Tabla 8 que sólo 5 de los 35 parámetros regulados en el DS 90/2000, no se identifican dentro la lista de requisitos propuestos por la USEPA para la descarga de contaminantes en una zona de dilución. Los 30 parámetros restantes según sus características si se identifican en uno o más de los puntos definidos en la lista descrita en la sección 2.1.3. de los resultados; por ejemplo: las aceites y grasas, los hidrocarburos fijos y el índice de fenol se identifican en tres de los 8 puntos de esta lista. Parámetros como el Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo Hexavalente (Cr^{+6}), Mercurio (Hg),

Pentaclorofenol, Plomo (Pb), Selenio (Se) y Tetracloroetano, se identifican en el grupo de los compuestos de carácter persistente en el medio ambiente, Bioacumulables en los tejidos y tóxicos para los organismos acuáticos.

El Boro (B), Cianuro (CN⁻), Cobre Total (Cu), Coliformes Fecales, DBO₅, Fósforo (P), Fluoruros (F⁻), Hierro Disuelto (Fe), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Nitrógeno total kjeldahl, pH, Sulfuros (S²⁻), Tolueno, Triclorometano, Xileno, Temperatura y Zn, todos se identifican con dos o menos puntos.

Los parámetros Aluminio (Al), Cloruros (Cl⁻), Molibdeno (Mo), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Sulfatos (SO₄⁻²), no se identifican dentro de ninguno de los puntos establecido de la lista de requisitos, debido a las características que estos presentan en el agua:

Para el caso del Al, su toxicidad depende directamente del pH del cuerpo receptor; el Mo su toxicidad depende del contenido de Cu y SO₄⁻²; los Cl⁻ a diferencia de los otros compuestos, debe sufrir variaciones muy bruscas con respecto al contenido natural del agua para recién provocar algún tipo de alteración; los SO₄⁻² naturalmente se pueden encontrar en variados intervalos de concentración, por lo mismo independiente de esto, un límite prudente no provocaría graves consecuencias, lo mismo ocurre con los SST. Este último también depende de la hidráulica del río.

La mayoría de estos compuestos pueden afectar la calidad del agua de manera individual o en conjunto. En el caso del Mo, cuando las concentraciones de Cu disuelto en el agua son inferiores al contenido natural y las concentraciones de SO₄⁻² son superiores, este se torna tóxico para los peces.

3.2. Límites máximos para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución.

Extraído de la Tabla 2 del DS 90/2000, la Tabla 9 indica los 5 parámetros que no están dentro en la lista de requisitos de la USEPA, junto con sus respectivos límites máximos permitidos. Como se indicó en apartados anteriores, estos límites corresponden al valor máximo que pueden estar estos compuestos en el efluente, antes de ser descargados sobre un cuerpo de agua fluvial con capacidad de dilución.

La Tabla 12, indica la nueva Tabla 2a para el DS 90/2000 que regula los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la zona de dilución del receptor fluvial. Según la propuesta hecha, en una zona de dilución ($\leq \frac{1}{4}$ de la sección transversal del río), un efluente que contenga cada parámetro descartado en la lista de requisitos, podrá superar hasta un 100% los límites de este, establecidos en la Tabla 2 del DS 90/2000.

Necesariamente estos valores son solo un alcance de los posibles valores límites que pueden adquirir estos parámetros, a la hora de ser descargados sobre una zona de dilución. Es recomendable realizar una serie de estudios complementarios que detallen los posibles efectos que pueden provocar estos compuestos a la calidad del agua y sus alrededores, mediante estudios de toxicidad, determinación de la sinergia entre los contaminantes, estudios sobre los efectos a medianos o largo plazo, etc.

4. Diagrama de fiscalización, para la aplicación de la tabla 2a.

En el diagrama de la figura 11, se indican los pasos del proceso de fiscalización que se le aplicara a una fuente emisora que descarga sus efluentes sobre un cuerpo de agua receptor.

En el caso que la descarga ocurra sobre un cuerpo de agua fluvial con capacidad de dilución, el fiscalizador genera una nueva pregunta en donde incluye el término de zona de dilución; esta indica si la descarga del efluente se mezcla o no a una distancia (longitud) $\leq \frac{1}{4}$ de la sección transversal del río. Para verificar esto último es necesario usar herramientas complementarias como las técnicas de estudio de seguimiento o el uso de modelos matemáticos como el CORMIX; ambas herramientas otorgan una mejor visión sobre el comportamiento de una descarga en un cuerpo de agua receptor. Si ocurre lo anterior, esta fuente emisora podrá aplicar la nueva Tabla 2a del DS 90/2000, que señala que sólo se puede descargar un total de 5 parámetros (aluminio, cloruros, molibdeno, sólidos suspendidos totales y sulfatos) por sobre los límites regulados en la Tabla 2 del DS 90/2000. Los parámetros restantes deben cumplir con la Tabla 2 de dicho decreto.

V. CONCLUSIONES

1. Se revisaron los criterios establecidos por la USEPA para la asignación de una zona de dilución con sus respectivas dimensiones.

2. Se establecieron las siguientes directrices para la ubicación y tamaño de una zona de dilución en cuerpos de agua fluviales en Chile, usando como referente los criterios establecidos por la USEPA. Estas son las siguientes:

- Una zona de dilución no puede estar ubicada aguas arriba de una bocatoma o de una zona protegida.
- Una zona de dilución no puede estar ubicada entre la intersección de uno o más ríos.
- Una zona de dilución no puede estar ubicada en aquellos cuerpos de agua que posean concentraciones de sustancias por sobre las condiciones naturales del río.
- Una zona de dilución debe ser lo mas pequeña posible en comparación con el tamaño total del un río.
- Se recomienda limitar el tamaño de una zona de dilución en función de $\frac{1}{4}$ de la sección transversal de un río
- La existencia de una zona de dilución no debe poner en riesgo a la salud humana

- Una zona de dilución debe ser diseñada de tal manera que esta no interfiera con el desarrollo normal de los diversos organismos acuáticos.

3. Se aceptan los 8 criterios propuestos por la USEPA para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución. Estos criterios son los siguientes:

1'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que tiendan a precipitar en condiciones normales (25°C, 1 atm)

2'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que produzcan olor, color o sabor objetable al agua

3'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean Aceites y Grasas

4'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que formen espuma

5'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que puedan atraer especies molestas

6'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que posean un carácter persistente.

7'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean bioacumulables en los tejidos.

8'. No pueden superar los límites de descarga, aquellos contaminantes que sean altamente tóxicos para la vida acuática.

Todos aquellos contaminantes que no se identifiquen en la descripción de la lista anterior, pueden superar sus límites de descarga, al momento de ser eliminados en una zona de dilución.

4. El concepto de zona de dilución en Chile, se relaciona directamente con la norma de emisión DS 90/2000, que regula la descarga de residuos líquidos sobre cuerpos de agua receptores. De los parámetros regulados en la tabla 2 del DS 90 /2000, sólo los parámetros Aluminio (Al), Cloruros (Cl⁻), Molibdeno (Mo), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sulfatos (SO₄⁻²), sus límites establecidos podrían ser permitidos para exceder dentro de una zona de dilución.

5. Se propone una tabla 2a para el DS 90/2000, que regule los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales considerando la zona de dilución del receptor.

6. Se propone un diagrama de flujo que indica los pasos que debe cumplir una fuente emisora que descarga sus efluentes en un cuerpo de agua receptor que posee zona de dilución; en este diagrama se incorpora la nueva tabla a cumplir de límites máximos propuestos para la descarga en dicha zona.

VI. SUGERENCIAS

- Se sugiere reevaluar cada cierto tiempo las zonas de dilución establecidas para cada río, con el objetivo de verificar si ha existido algún cambio con respecto a su ubicación, tamaño, tipos de descarga, nuevas descargas, con respecto a la situación natural y social afectada debido a su existencia, entre otros.

- Se sugiere hacer estudios complementarios que permitan verificar si los nuevos valores límites propuestos para la descarga de contaminantes sobre una zona de dilución descritos en la tabla 2a para el DS 90/200, provocan alguna alteración de tipo física, química al agua o si generan algún impacto en la salud de los organismos acuáticos y a los seres humanos.

VI. REFERENCIAS

Agency For Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR) (1997). Resumen de salud pública, Cloroformo; http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs6.html; **Visitada el 15/02/2009.**

Agency For Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR) (2005). Resumen de salud pública, Níquel; http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html; **Visitada el 15/02/2009.**

Alberta Environmental Protection (1995). Water Quality Based Effluent limits Procedures Manual, Stream flows and Mixing Zone Restrictions for Screening Cap 5. Pág 1.2, Mixing Zones Cap 6, Pág. 6 - 4.

American Petroleum Institute, (1980). Benzene, Xylene, and Toluene in Aquatic Systems; <http://www.bookrags.com/research/xylene-enve-02/>; **Visitada el 19/07/2009.**

Bartram y Balance, (1996). Water toxicity and metal contamination assessment of a polluted river: the Upper Vistula Rive; http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VDG-49D2BBV1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1163551022&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=62b02fa16dc5a0d068e274edc23cc3f8; **Visitada el 07/11/2009.**

Barra R, Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción, (2007). Criterios para seleccionar sustancias tóxicas persistentes para la construcción de la Base de Datos sobre Sustancias Tóxicas Persistentes y Metales Pesados; <http://www.oas.org/dsd/Quimicos/Inventory/CriteriosSTP.pdf>; **Visitado el 25/08/2009.**

Barrenechea Ada, (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua <http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/uno.pdf>; **Visitada el 18/11/2009.**

CADE-IDEPE, Consultores en Ingeniería y DGA (2004). Diagnostico y Clasificación de Cursos de Agua según Objetivos de Calidad, Zona de Dilución, A6- A11.

Calderón (1988). Estado de oxido-reducción del Hierro y Manganeso y pH del agua; <http://www.drcalderonlabs.com/Labnews/Labnews5.html>; **Visitada el 17/08/2009.**

Campaign to Safeguard America's Waters (C-SAW), (2008). National mixing zone survey;
<http://74.125.47.132/search?q=cache:7CFM0FsukxsJ:https://www.earthislandprojects.org/c-saw/csawMZsurvey.doc+mixing+zone+size+25%25+across&hl=es&ct=clnk&cd=2&gl=cl>; **Visitada el 16/12/2008.**

Castillo I y Bárcenas C, (1998). Pentaclorofenol: toxicología y riesgos para el ambiente;
<http://www.inecol.edu.mx/myb/resumeness/4.2/pdf/Castillo%20y%20Barcenass%201998.PDF>; **Visitada el 17/05/2009.**

Castro G, (2007). Informe final, diseño monitoreo frente al derrames de Hidrocarburos;
http://74.125.47.132/search?q=cache:f_WfRUyhdAkJ:www.sag.gob.cl/OpenDocs/asp/agVerRegistro.asp%3FargInstanciaId%3D54%26argRegistroId%3D2497+enfermedades+por+hidrocarburo+fijos&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=cl; **Visitada el 13/12/2009.**

Centro de Estudio de Sanidad Ambiental (2008). Cromo Hexavalente y sus efectos en la salud; <http://www.lemona.biz/CROMO-2/cromo%20hex>; **Visitada el 05/06/2009.**

Centro de Enfermedades Infecciosas (CDC-USA), (2007). Enfermedades por el agua contaminada;
<http://64.233.163.132/search?q=cache:dtsLsRLMTIsJ:www.clavedevida.com.ar/ecologia/enfermedades.html+enfermedades+por+el+contacto+directo+con+el+agua+contaminada&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cl>; **Visitada el 11/12/2009.**

CEPIS/OPS (1997). Impacto sobre el ambiente y la salud humana;
http://www.google.cl/search?hl=es&source=hp&q=impacto+sobre+el+ambiente+y+la+salud+humana&meta=&rlz=1R2ADFA_esCL344&aq=f&oq=; **Visitada 24/06/2009.**

CONAMA (2004). Guía de Conama para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, Definiciones - 24 zona de dilución, Pág. 4

CONAMA (2002). Manual de Aplicación, Decreto Supremo N° 90/2000, del Ministerio Secretaria General de La Presidencia.

CONAMA (2007). Residuos Líquidos Industriales,
<http://www.conama.cl/rm/568/article-908.html>; **Visitada el 22/12/2008.**

Cortes I, Montalvo S., (2010). Aguas: calidad y contaminación. Un enfoque químico ambiental. Capítulo 2.

Curso de Contaminación de Aguas (2007). Dra. Isel Cortés Nodarse, Contaminación de Aguas Superficiales.

Denominaciones del Fenol (2008). Efectos sobre la salud humana, ecosistema acuático y calidad de las aguas; <http://www.scribd.com/doc/6572819/Fenol>; **Visitada el 15/01/2009.**

Department of Environmental Quality, DEQ (2007). Regulatory Mixing Zone, Internal Management Directive, pages 1-35.

Dirección General de Aguas, DGA (2006). Dpto. de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Ministerio de Obras Públicas, Minuta DCPRH N° 50, Zona de Dilución.

Dirección General de Aguas, DGA (2005). Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos; Criterios para la determinación de caudales disponibles para la dilución en cuerpos receptores superficiales; <http://64.233.169.104/search?q=cache:iMd66j8gdhkJ:www.dga.cl/otros/publicacioneslinea/archivos/criterios.pdf+definicion+de+capacidad+de+dilucion&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=cl>; **Visitada el 05/06/2009.**

Dirección General de Aguas, DGA (1987). Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas.

Dirección General de Aguas, DGA (2007), Manual de Normas y Procedimientos para la Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Normativa Ambiental, DS N° 90/2000.

Domingo J, (2007). Parámetros del agua; http://acuario.drpez.com/acuario13/articulo3_0409.html; **Visitada el 08/08/2009.**

Educar para el Medio Ambiente, (2007). Contaminación biológica de las aguas; http://www.venadovirtual.com.ar/agua_potable/contam_biol.htm; **Visitada el 15/12/2009.**

Efluentes Industriales (2002). Características de los efluentes industriales; <http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=835>; **Visitada el 15/01/2009.**

Entorno Natural de Chile. Clima, Vegetación, fauna e hidrografía; <http://74.125.47.132/search?q=cache:fM0tF-dtjsJ:www.colegiohumberstone.cl/profesores/guias/2008/JBARRAZA/relieves,%2520climas,%2520vegetacion%2520y%2520fauna%2520de%2520Chile.ppt+entorno+natural+de+chile&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=cl>; **Visitado el 10/02/2009.**

Environmental Protection Agency, EPA (1991). Technical Support Document for Water Quality – Based Toxic Control, Water Quality Criteria and Standards, Mixing Zones, Chapter 2, page 33; Mixing Zone Analyses, Chapter 4, page 72 – 90.

Environmental Protection Agency, EPA (1994). Water Quality Standards Handbook, Second Edition, Mixing Zone, Chapter 5, pages 1- 12

Estado de Oregon (2009). Página Oficial Estado de Oregon, recursos naturales;
<http://www.oregon.gov/>; **Visitada el 15/01/2009.**

Facultad de Tecnología UMSS, (1998). Eutroficación de los cuerpos de agua; Contenido de Nitrógeno Total;
<http://74.125.47.132/search?q=cache:SPJWzKTQvjcJ:www.feyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica5.pdf+nitrogeno+organico+y+la+eutrofizacion&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cl>; **Visitada el 2/02/2009.**

FAQ de los Contaminantes del Agua (1998). Biblioteca Virtual, Propiedades y Peligros de los Contaminantes en el Agua; <http://www.lenntech.es/faq-contaminantes-del-agua.htm>; **Visitada el 12/03/09.**

García C, (2005). Responsabilidad por contaminación por hidrocarburos;
<http://www.prodiversitas.bioetica.org/des13.htm>; **Visitada el 15/012/2009.**

Guía Geográfica; Estados Unidos.
<http://geografia.laguia2000.com/hidrografia/estados-unidos-hidrografia>; **Visitado el 08/02/2009.**

Guillaume J, (2002). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos; Capítulo 1, paginas 211-222.

Gustavo Silva Medina, (2003). Ríos y corrientes naturales; sección transversal de un río; <http://www.geocities.com/gsilvam/cauces.htm>; **Visitada el 25/09/2009.**

Guzmán L, (2007). Evaluación y control de la contaminación del agua;
<http://www.slideshare.net/daniel526/evaluacin-y-control-de-la-contaminacin-del-agua-1-presentation>; **Visitada el 17/05/2009.**

Ingeniera Ambiental y Medio Ambiente (2000). Agua;
<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html>; **Visitada el 25/11/2008.**

Joint Committee on Administrative Rules (2008). Allowed Mixing, Mixing Zones and ZIDs;
<http://www.ilga.gov/commission/jcar/admincode/035/035003020A01020R.html>
Visitada el 12/01/2009.

Krauskopf, K.B. y Bird, D.K. (1995). Minerales, compuestos químicos y seres vivos, una difícil pero inevitable convivencia; <http://www.uclm.es/users/higuera/Mam/MAM7.htm#MetPesas>; **Visitada el 11/12/2009.**

McFarland M y Dozier M (2008). Problemas del agua potable, el Hierro y el Manganeseo; http://texaswater.tamu.edu/Resources/drinkg_water_factsheets/L5451SIronandMan.pdf; **Visitada el 10/11/2009.**

Mendoza A e Ize I, (2007). Plaguicidas; <http://images.google.cl/imgres?imgurl=http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/447/images/cap4f3.gif&imgrefurl=http://www.ine.gob.mx/publicaciones/libros/447/cap4.html&usq=9myObov0LS3JerIgJBspcMZMgXE=&h=178&w=200&sz=3&hl=es&start=2&um=1&tbnid=v27x3Cs5jgfqjM:&tbnh=93&tbnw=104&prev=/images%3Fq%3Dpentaclorofenol%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1>; **Visitada el 17/05/2009.**

Motta P, M. R., (1994). Hierro y Manganeseo en Aguas Superficiales; <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/argcca011.pdf>; **Visitada el 15/01/2009.**

NCh2313/21 (2009). Aguas Residuales, métodos de análisis, parte 21: determinación del poder espumógeno; http://www.siss.cl/articles-5853_NCh231321.pdf; **Visitada el 15/01/2009.**

Nevill J, (1999). Zona de dilución, junto a la descarga de efluentes; http://translate.google.cl/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.tucs.org.au/~cnevill/Mixing_zones.doc&ei=e9mZSey9L8H7tgeQzfc-Cw&sa=X&oi=translate&resnum=5&ct=result&prev=/search%3Fq%3DUSEPA%2B1984.%2B1985%2Bmixing%2Bzone%2Bsize%26hl%3Des; **Visitada el 14/01/2009.**

Núñez R, (2007). Boro, Aplicación en el medio ambiente, energía y salud; <http://www.icmab.es/icmab/files/boro.pdf>; **Visitada el 05/06/2009.**

Organización de las Naciones Unidad, para la agricultura y la alimentación, (2000). Recursos hídricos de Chile; http://www.rlc.fao.org/proyecto/gcp/rla/126/jpn/ciren/chi_water.htm; **Visitado el 13/02/2009.**

Organización Mundial de la Salud, (OMS), (1995). Pentaclorofenol, guía para la salud y la seguridad; <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/eco/030496.pdf>; **Visitada el 17/05/2009.**

Organización Mundial de la Salud (OMS), (2005). Nickel in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del

agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud; http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_quimicos/Niquel.pdf; **Visitado el 2/02/2009.**

Orozco C y Pérez A, (2005). Miembros del Departamento de Química de la EPS de la Universidad de Burgos, Contaminantes Orgánicos en Agua; <http://www.alt64.org/articulo/contam.htm>; **Visitada el 15/02/2009.**

PNUMA (2002). Biomagnificación del Mercurio en los peces; <http://www.greenfacts.org/es/mercurio/n-3/mercurio-3.htm>; **Visitada el 18/11/2009.**

Quintana I, (2006). Grasas, Aceites y jabones; <http://www.monografias.com/trabajos/grasas/grasas.shtml#top>; **Visitada el 2/02/2009.**

República de Chile. Ley N° 19300 de Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial 09 de Marzo de 1994.

Sancha A, (2002). Desafíos de la aplicación de las normas de calidad para la protección de las aguas continentales superficiales en Chile; <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/xi-007.pdf>; **Visitada el 18/11/2008.**

Servicio de Sanidad Ambiental, Murcia, España, (2008). Tetracloroetano, riesgo químico, accidentes graves; <http://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/138602-Tetracloroetileno.pdf>; **Visitada el 15/02/2009.**

Silva A, (2005). Flujo de energía y cadena trófica; http://www.latierraysuentorno.cl/Flujo_energetico.htm; **Visitada el 23/06/2009.**

Toxicología de sustancias (2002). Cadmio; <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=42>; **Visitada el 05/06/2009.**

Toxicología de sustancias (2002). Cloroformo; <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=1083>; **Visitada el 15/02/2009.**

Vargas J, (2006). Nuevas Tendencias en la Modelación de Calidad de las Aguas, en Chile, en Relación con la Legislación Vigente; <http://eias.utralca.cl/semii/12.pdf>; **Visitada el 2/02/2009.**

Vega (1985). Metales pesados presentes en el agua; <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practica4.pdf>; **Visitada el 28/07/2009.**

Ventura B y Cilliers (2003). Dynamic froth stability in froth flotation, Definición de Espuma;
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/alva_d_mm/capitulo3.pdf;
Visitada el 15/01/2009.

Wikipedia, Estado de Oregón;<http://es.wikipedia.org/wiki/Oreg%C3%B3n>; **Visitado el 08/02/2009.**

Wikipedia, Hidrografía de Estados Unidos (2009).
http://es.wikipedia.org/wiki/Categor%C3%ADa:R%C3%ADos_de_Estados_Unidos_por_estado; **Visitado el 08/02/2009.**

VII ANEXOS

**Anexo I. Análisis comparativo entre el estado de
Oregón y las zonas hídricas de Chile**

1. Análisis Comparativo entre el estado de Oregón y las zonas hídricas de Chile

Cuando se realizan estudios relacionados a las distintas características que pueden tener los diversos cuerpos de agua fluviales ubicados en una zona específica del planeta, se debe contemplar una serie de factores que están directamente ligados con la región natural en donde estos se desarrollan. Estos factores son principalmente la localización geográfica del territorio, la diversidad de características geográficas y su variabilidad climática.

Basándose en la experiencia internacional específicamente la experiencia de Estados Unidos, se eligió el estado de Oregón a modo de referencia, debido a que este presenta características muy similares a los ríos de Chile; se hará una relación entre clima e hidrografía correspondiente a este estado de USA, con las zonas hídricas de Chile, distinguiendo tanto similitudes como diferencias entre cada caso.

2. Clima e Hidrológica del estado de Oregón en Estados Unidos

Estados Unidos, país ubicado en el norte del continente Americano, conformado por 50 estados diferentes. Desde el punto de vista geográfico, su principal característica es la gran extensión de su territorio; este posee una inmensa variedad topográfica, como sus grandes sistemas montañosos, ríos, lagos, entre otros. Todos estos dependen de una serie de factores como son el clima, el relieve, etc. Este territorio es muy rico en recursos naturales, esto se debe a las diferentes condiciones climáticas que les son favorables para obtención de una variedad de productos agrícolas como ganaderos. (Guía Geográfica; <http://geografia.laguia2000.com/hidrografia/estados-unidos-hidrografia>).

El clima es templado en la mayor parte de Estados Unidos. En líneas generales, es más cálido cuanto más al Sur, y las estaciones presentan más diferencias entre sí cuanto más al Norte y hacia el interior.

Respecto a la hidrografía, a pesar de la extensión del país y de la gran cantidad de ríos que hay en la red hidrográfica, estos se organizan en tres grandes cuencas que son:

La Cuenca del Misisipi, La cuenca Missouri y La Cuenca de Ohio con un total de 2980 km² de superficie. En general los ríos de Estados Unidos son ríos bastante amplios y largos, en donde la mayoría nacen desde las montañas y desembocan en el mar.

(Enciclopedia Wikipedia, 2009)

Estados Unidos se divide en cuatro subzonas:

- ✓ Noroeste de USA
- ✓ Noreste de USA
- ✓ Suroeste de USA
- ✓ Sureste de USA

Estado de Oregón:

El estado de Oregón pertenece al sector Noroeste de USA, específicamente en el Litoral del Pacífico.

(Wikipedia, Estado de Oregón; <http://es.wikipedia.org/wiki/Oreg%C3%B3n>)

- Ubicación geográfica: Desde los 42° Latitud Sur hasta los 46° Latitud Sur.

- Clima: El clima más representativo de Oregon, sobre todo en el sector costero es el tipo Templado lluvioso; este se caracteriza por sus moderadas temperaturas y elevadas precipitaciones por efecto de su cercanía al mar. Las precipitaciones son regulares a lo largo de todo el año y generalmente sin época seca, superando los 1000 mm por metro cuadrado.

- Hidrología: Los ríos de esta zona son por lo general ricos en agua, esto debe por la abundancia de precipitaciones; por consiguiente la mayoría de estos cuerpos de agua, tienen un sistema de alimentación tipo Pluvial. Las cuencas de Oregon en su mayoría son de escurrimiento exorreico, es decir desembocan directamente al mar.

En la Tabla 1, se resume las condiciones nombradas del Estado de Oregon, considerando solo aquellos macroclimas que lo caracterizan.

Tabla 1. Tabla resumen, relación del clima, ubicación geográfica, y ríos del Estado de Oregon Estados Unidos.

Características	Estado de Oregon en USA
Ubicación Geográfica (lat. sur)	42° hasta 46°
Tipo de Clima	Clima Templado lluvioso
Tipo de Escurrimiento de los Ríos	Exorreicos
Régimen de Alimentación de los Ríos	Pluvial-Nival

2. Zonas hídricas de Chile

Chile esta ubicado en el extremo Suroeste de América del Sur, situado entre los paralelos 17° 30' y 56° 30' latitud Sur. Es mucho más pequeño y menos denso que los

Estados Unidos, sin embargo posee una larga y estrecha franja de tierra de unos 4.200 Km. (aprox.), en donde permite diferenciar cada zona o características propias de ellas, como por ejemplo: la gran diversidad de climas, que se relacionan directamente con las marcadas diferencias que presenta el relieve, en donde se distinguen tres grandes entidades como son, la Cordillera de los Andes (por el este), la Cordillera de la Costa (por el oeste) y la Depresión Intermedia. Desde el punto de vista geográfico está dividido en seis zonas continentales, que son:

- ✓ Norte Grande
- ✓ Norte Chico
- ✓ Zona Centro
- ✓ Zona Sur
- ✓ Zona Austral

2.1. Zonas hídricas de Chile

Las zonas hídricas identificadas en Chile son:

- zona Altiplano
- zona Semiárida
- zona Subhúmeda
- zona Húmeda
- zona Nordpatagónica

La clasificación de zonas hídricas en Chile, propuestas por Niemeyer y Cereceda en 1984, puede ser visto bajo tres visiones diferentes, estas son:

La macroregión: es la división del territorio en distintas regiones, bajo aspectos biogeográficos y variables globales.

Sistema Hidrológico: es la división de territorio bajo aspectos morfológicos y climatológicos.

Tipo de cuenca: esta clasificación separa la unidad territorial en base a las características básicas de la hoya hidrográfica (endorreica o exorreica).

En la tabla 2, se identifican las zonas hídricas del país, junto a estos tres aspectos, agregando un cuarto que es la cobertura espacial que ocupan los ríos en el territorio nacional, como sigue:

Tabla 2. Zonas Hídricas

Zona Hídrica	Sistema Hidrológico	Tipo de cuenca	Cobertura
Altiplano	Región desértica endorreica	Endorreica	Desde el Río Lauca al Río Loa
Semiárida	Ríos nivo-pluviales	Exorreica	Desde el Río salado al Río Petorca
Subhúmeda	Ríos de flujo nival y torrencial	Exorreica	Desde el Río La Ligua al Río Bio-Bio
Húmeda	Ríos con flujo constante, pendiente baja y regulación lacustre	Exorreica	Desde el Río Imperial hasta el río Maullín
	Ríos de isla grande de Chiloé	Exorreica	Isla de Chiloé
Nordpatagónica	Ríos trasandinos septentrionales de la Patagonia	Exorreica	Desde el Río Palena hasta Río Pascua
	Ríos Magallánicos	Exorreica	Desde el Río Serrano hasta Río San Juan y al sur del estrecho de Magallanes

A modo práctico, los aspectos generales de esta tabla, facilita la comparación de normas extranjeras, entre otros, con normas nacionales o aspectos similares. Sin embargo debe dejar en claro, que al ser un aspecto general, puede tender a homogenizar cada situación en particular de un río, que por lo cual puede ser muy diferente dentro de la misma zona.

3. Análisis Comparativo: Clima e Hidrológica de Oregón USA vs. Zonas Hídricas de Chile

Debido que en el estado de Oregón no existe una clasificación de zona hídrica como la que se propone en Chile, se hará una comparación u homologación de los datos analizados de este estado con los existentes en el territorio nacional, como sigue:

Estado de Oregón;

Tipo de Clima: Templado lluvioso

Sistema Hidrológico: Ríos con flujo constante, con sistema de alimentación tipo pluvial.

Tipo de cuenca: Exorreica

De estos datos se puede inferir que por las características anteriores, los sistemas de río en general del estado de Oregón son similares a los de la zona hídrica húmeda y Nordpatagónica. Ahora bien según su ubicación geográfica en el planeta (42° a 46° Latitud Sur), sus condiciones climáticas son muy similares a las condiciones de algunas regiones de la zona Austral (44° a 56° Latitud Sur) que se caracterizan por tener un clima en donde existe la presencia de abundantes lluvias en forma regular durante todo el año, sin época seca, por efecto de la cercanía al mar.

Como ya fue mencionado en apartados anteriores, el estado de Oregón es una de las localidades en donde existe una mayor información y experiencia sobre el tema de

asignación de zona de dilución en un cuerpo de agua fluvial en forma general; después de la comparación anterior y para efectos de este seminario, se recomienda designar zonas de dilución (siempre y cuando cumpla con todos los criterios ya establecidos) a aquellos ríos de Chile ubicados desde la zona hídrica Húmeda hasta solo una parte de la zona hídrica Nordpatagónica. Es importante mencionar que este es solo un alcance, ya que existen otros tipos de características que pueden diferenciar un río de otro.