

# Ensayos de toxicidad en el control de descargas de residuos líquidos

XXV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, noviembre 2023

Verónica Droppelmann, MMA y Gladys Vidal, CRHIAM



## INTRODUCCIÓN

Los ensayos de toxicidad de los residuos líquidos también conocidos como evaluación directa de toxicidad (UK) o toxicidad total del efluente (USA), son **pruebas estandarizadas** y reproducibles diseñadas para determinar el efecto que tiene el residuo líquido sobre organismos vivos.



# Objetivos

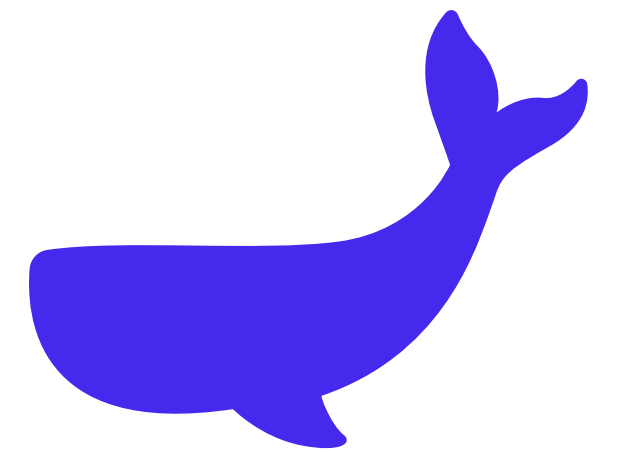
Aportar información respecto al control de las descargas de residuo líquidos mediante ensayos de toxicidad.

# Metodología empleada

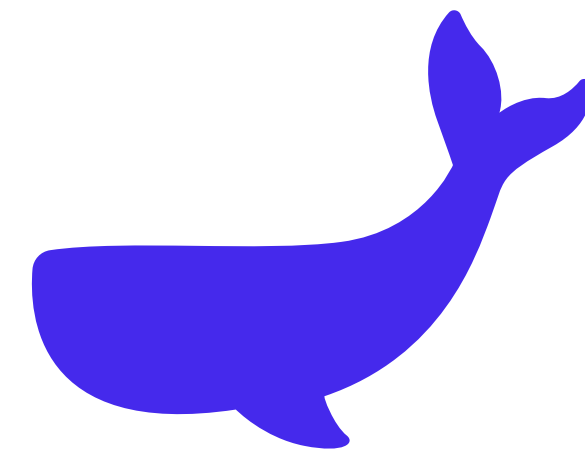
Revisión bibliográfica tanto de estudios científicos como de regulaciones y documentos de instituciones internacionales.



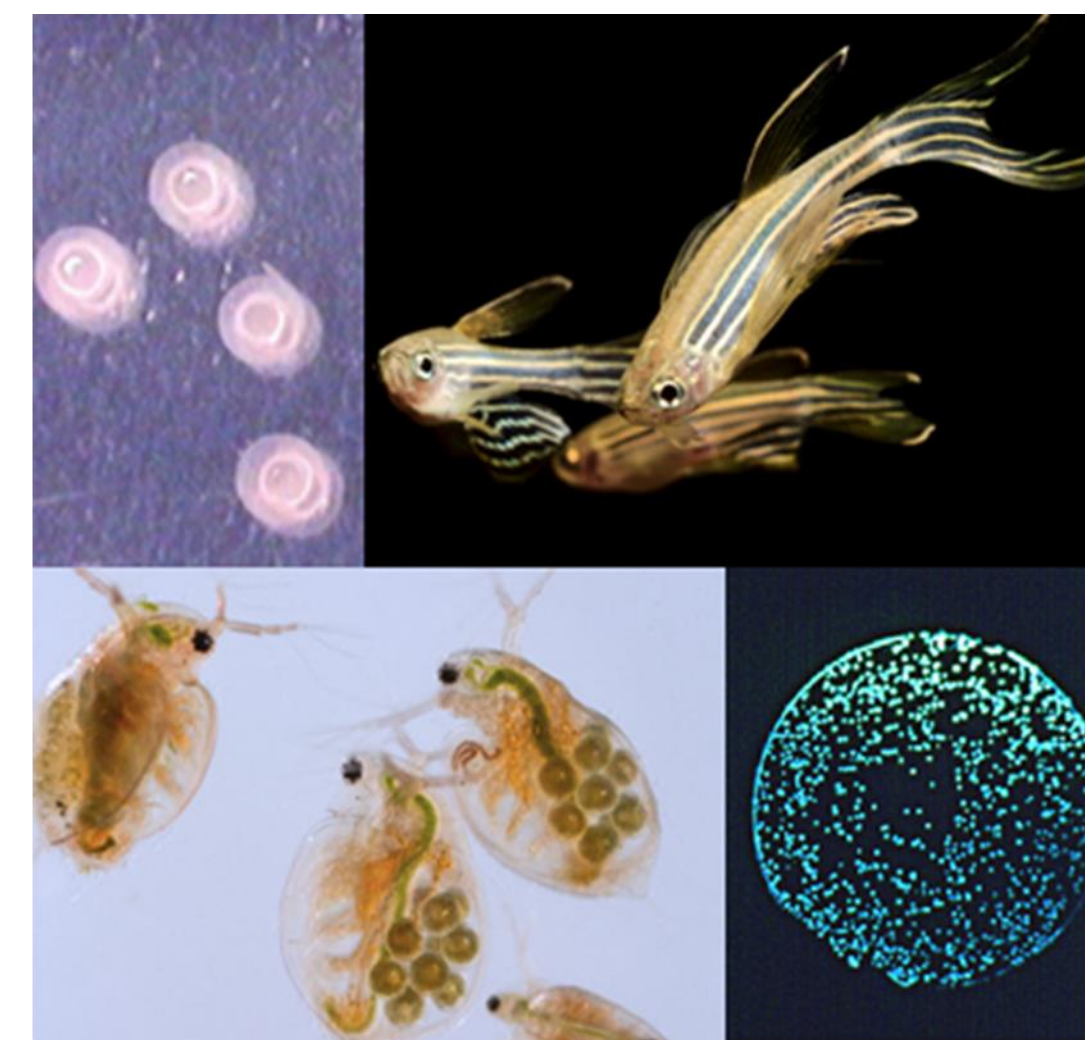
En general, los ensayos de la toxicidad de los efluentes implican la exposición de organismos a diferentes concentraciones (fracciones) del residuo líquido y la observación de los efectos sobre la supervivencia, crecimiento, reproducción, comportamiento y otros parámetros biológicos. Los resultados de los ensayos de toxicidad se analizan estadísticamente y se comparan con controles no expuestos.



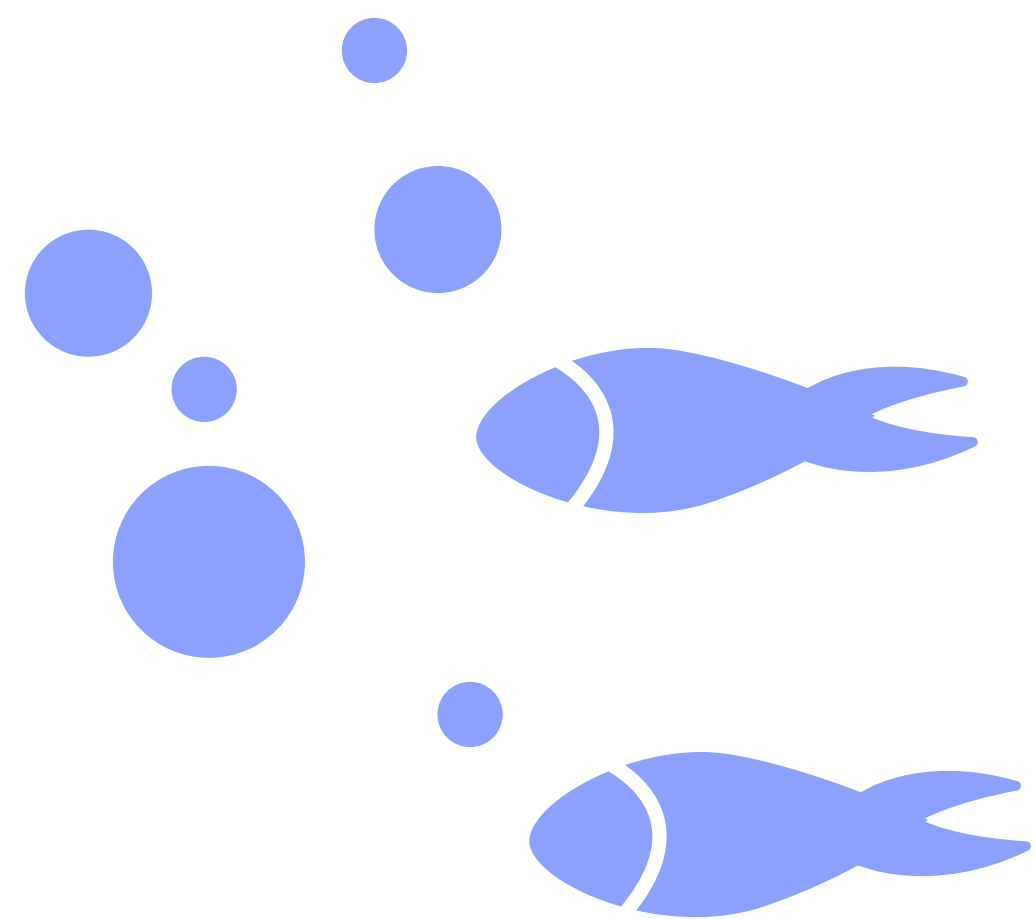
Se considera a los ensayos de toxicidad como un complemento al control de efluentes mediante la fijación de concentraciones máximas permitidas de un número limitado de contaminantes. Mediante los ensayos de toxicidad se puede detectar el efecto tóxico resultante de la interacción entre sustancias (aditivo, sinérgico) y de contaminantes no regulados (Aquino de Mello, 2015) (Gargosova & Urminska, 2017).



La mayoría de los ensayos para el control de efluentes son de tipo agudo es decir que los organismos son expuestos al residuo líquido por un periodo de tiempo corto, cuando los tiempos de exposición son largos se trata de ensayos de tipo crónico.



A: Huevos de pez cebra (Danio rerio) B: Pez cebra (Danio rerio)  
C: Daphnia magna D: Placa con Vibrio fischeri



# DEFINICIONES

-CL50 (concentración letal media) determina la cantidad de la sustancia testeada que es necesaria para matar al 50% de los organismos de prueba expuestos a ella durante un período determinado. Si la CL50 de un residuo líquido es 20%, significa que la muerte del 50% de los organismos ocurre con el residuo diluido 5 veces.

-CE50 (concentración efectiva media) que corresponde a la concentración de la sustancia testeada que afecta al 50% de los organismos del ensayo (por ejemplo, afectación en la movilidad de Daphnia).

Unidades Tóxicas : 100/CL50 o 100/CE50

Clasificación de peligrosidad de los residuos líquidos descargados al ambiente acuático (Persoone et al. 2003)

<b>UT</b>	<b>Clase</b>	<b>Toxicidad</b>
<0,4	I	Sin toxicidad aguda
0,4 < TU < 1	II	Toxicidad aguda leve
1 < TU < 10	III	Toxicidad Aguda
10 < TU < 100	IV	Alta toxicidad aguda
TU > 100	V	Muy alta toxicidad aguda



# Estudios científicos sobre toxicidad de residuos líquidos realizados en el país

Tipo de residuo líquido	Test de Toxicidad	Resultado	Cita
Purín tratado aeróbicamente	Aguda CL 50 <i>Daphnia magna</i> 48 horas	CL50 5,5 %	Villamar et al., 2014
Purín tratado aeróbicamente + Intercambio iónico	Aguda CL50 <i>Daphnia magna</i> 48 horas	CL50 63,55%	Villamar et al., 2014
Ril de celulosa que procesa <i>Pinus radiata</i> con tratamiento secundario	Crónica, forma de <i>Daphnia</i> y reproducción, 21 días.	Con efecto estadísticamente significativo en la forma no así, en la reproducción	Lopez et al., 2011
Ril de celulosa que procesa <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucalyptus globulus</i> con tratamiento secundario	Crónica, forma de <i>Daphnia</i> y reproducción, 21 días.	Con efecto estadísticamente significativo en la forma no así, en la reproducción	Lopez et al., 2011
Ril secundario de celulosa	Anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ), supervivencia del huevo y eclosión exitosa a las 96 horas. Se ajusta salinidad.	Efecto significativo para supervivencia y eclosión	Llanos-Rivera et al., 2018
Ril secundario de celulosa	Sardina ( <i>Strangomera bentincki</i> ), supervivencia del huevo y eclosión exitosa a las 96 horas. Se ajusta salinidad.	Sin efecto estadísticamente significativo	Llanos-Rivera et al., 2018
Agua servida con tratamiento secundario	Aguda, % inmovilización de <i>Daphnia magna</i> (48 horas) y de inhibición de bioluminiscencia en <i>Vibrio fischeri</i>	% inmovilización y % inhibición 42 y 35 respectivamente	Miralles-Cuevas et al., 2017
Agua servida con tratamiento secundario+ozono	Aguda, % inmovilización de <i>Daphnia magna</i> (48 horas) y de inhibición de bioluminiscencia en <i>Vibrio fischeri</i>	El agua servida tratada incluyendo ozonación presenta mayor % de inhibición y de inmovilización que el agua servida con sólo tratamiento secundario	Miralles-Cuevas et al., 2017



# Ensayos de toxicidad aguda en riles en Programas de Vigilancia Ambiental

Unidad fiscalizable	EIA/DIA	Nº de RCA	Test de toxicidad aguda	Ejemplo de resultado
Planta de tratamiento de aguas servidas Antofagasta	DIA	230/2014	Mitílido <i>Aulacomya ater</i> 96 horas CL50	No presenta toxicidad aguda. Expediente 109959 de enero 2021.
Planta desaladora de agua de mar Antofagasta	DIA	397/2014	Crustáceo <i>Caprella sp.</i> 96 horas CL50 Ostión del Norte <i>Argopecten purpuratus</i> 96 horas CL50 Larvas de erizo <i>Loxechinus albus</i> 48 horas CL50 Microalga <i>Phaeodactylum tricornutum</i> 96 horas CE50 tasa de crecimiento Especies endémicas	El efluente de salmuera presentó una toxicidad aguda en las 3 especies de invertebrados Para la microalga en el tratamiento correspondiente al 100% de efluente de salmuera, se registró una inhibición del 40% de reproducción celular. Expediente 60520 de julio 2017.
CT Santa María	EIA	176/2007	Juveniles del copépodo <i>Tisbe longicornis</i> 48 horas CL50 Larvas de <i>Artemia salina</i> 48 horas CL50 Juveniles de <i>Aulacomya atra</i> 144 horas CL50 Juveniles de <i>Emerita análoga</i> 96 horas CL50 Juveniles del <i>Monocorophium insidiosum</i> 48 horas CL50 US EPA (2002)	El efluente de la termoeléctrica no genera efectos agudos significativos. Expediente 56025 período 2016.
Planta trozado horcones-bosques Arauco	DIA	46/2006	Micocrustaceo <i>Daphnia obtusa</i> 48 horas CL50 NCh 2083 Of.1999 Pez <i>Gambusia affinis</i> 96 horas CL50 US EPA 2002	El ril usado en riego no presenta toxicidad aguda. Expediente 60233 febrero 2017.
Planta Santa Fe - CMPC	EIA	066/2004	<i>Dafnia magna</i> 48 horas CL50 NCh Nº2083 Of 1999	No se registra toxicidad aguda. Expediente 12473 segundo semestre 2021.

# NORMATIVA INTERNACIONAL

- A nivel mundial es común controlar las descargas de residuos líquidos mediante ensayos de toxicidad.
- La especie y el número de especies usadas depende en general del tipo de residuo ( rubro, salinidad) no tanto del cuerpo receptor.
- En cuanto a las aguas servidas, en Alemania no se les realiza control mediante ensayos de toxicidad. Sin embargo, países como Canadá, México y el Estado de Río de Janeiro (Brasil) sí llevan a cabo este tipo de evaluaciones.

# Ejemplos de normativa internacional, Unidades de toxicidad aguda

País	Tipo empresa/Organismo	Crustaceo Dafnia	Bacteria luminiscentes <i>Vibrio fischeri</i>	Peces <i>Danio rerio</i> y <i>Pimephales promenales</i>	Crustaceo Misideos <i>Mysidiopsis juniae</i> y <i>Mysidium gracile</i>	Crustaceo Branchiopoda <i>Artemia sp</i>
México <sup>1</sup>	No diferencia		2			
Estado de Río de Janeiro, Brasil <sup>2</sup>	Salinidad del efluente ≤ a 0,5‰ o Conductividad ≤ 1066µS/cm	4	4	4		
Estado de Río de Janeiro, Brasil <sup>2</sup>	Salinidad del efluente > a 0,5‰ o Conductividad > 1066µS/cm		4		4	4



<sup>1</sup>[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0)

<sup>2</sup><http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/NOP-INEA-08.pdf>

- En México, se ha optado por utilizar un único organismo para todos los rubros en la evaluación de la toxicidad de las aguas (vigencia desde el año 2025).
- Durante la elaboración de la norma Mexicana la autoridad a cargo señaló que esta elección se basa en varios factores. En primer lugar, se destaca que *Vibrio fischeri* puede ser utilizado tanto en agua dulce como en agua salina, lo que proporciona flexibilidad en la aplicación del ensayo. Además, que este test ofrece una mayor precisión en la evaluación de la toxicidad y por último, que el uso de un único organismo permite reducir los costos asociados al análisis de toxicidad en las aguas<sup>1</sup>.



# Ejemplos de normativa internacional, Unidades de toxicidad aguda



País	Tipo empresa/Organismo	Huevos de peces ( <i>Danio rerio</i> )	Crustaceo Dafnia	Alga <i>Desmodesmus subspicatus</i>	Bacteria luminiscentes <i>Vibrio fischeri</i>
Alemania	Producción de pulpa	2			
Alemania	Industria química*	2	8	16	32
Alemania	Planta para el tratamiento biológico de residuos	2			
Alemania	Fundiciones de hierro, acero y maleables	2			
Alemania	Producción de cuero, acabado de pieles, producción de fibra de cuero	2			
Alemania	Tratamiento de agua, sistemas de refrigeración, generación de vapor (Drenaje del circuito de refrigeración)				12

Ordenanza sobre requisitos para el vertido de aguas residuales a cuerpos de agua

<https://www.gesetze-im-internet.de/abwv/>

\*Potencial de alteración genética (prueba de umu) usando *Salmonella typhimurium* modificada genéticamente. 57 rubros

# Ejemplos de normativa internacional, Unidades de toxicidad aguda

País	Tipo empresa/Organismo	Crustaceo Daphnia	Pez trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss)	Pez <i>Gasterosteus aculeatus</i>	Copepodo <i>Acartia tonsa</i>
Canadá	Producción de pulpa y papel				
Canadá	Minería de metal y diamantes				
Canadá	Aguas servidas				

# NORMATIVA INTERNACIONAL

- La industria de la celulosa en Canadá ha logrado un notable cumplimiento de los estándares de toxicidad. Durante el período comprendido entre 2006 y 2021, el porcentaje de cumplimiento osciló entre el 95,9% y el 98,7% para la trucha arcoíris, y entre el 97.9% y el 98.7% para Daphnia (Environment and Climate Change Canada, 2023). Es relevante tener en cuenta que los requisitos establecidos exigen un nivel de toxicidad inferior a 1 Unidad Toxicológica (UT).
- Según un estudio realizado por Kovacs et., al el 2004 las toxicidades de los riles de la industria de pulpa y papel sobre Daphnia y la trucha arcoíris se relacionan con la operación de la planta biológica de tratamiento o accidentes (generación de amonio, formulaciones polimérica, derrames).

# CONCLUSIONES

Los ensayos de toxicidad se presentan como una herramienta adecuada para el control de los residuos líquidos, ya que permiten identificar el efecto tóxico resultante de la interacción entre sustancias, incluyendo efectos aditivos y sinergias, así como de contaminantes no regulados. El trabajo presentado, se puede concluir que en el país existe experiencia en la evaluación de toxicidad en residuos líquidos y que tal como se hace internacionalmente, Chile podría considerar los ensayos de toxicidad, para el control de las descargas de los residuos líquidos.

Las autoras agradecen a ANID/FONDAP/15130015



# REFERENCIAS

- Aquinoga de Mello, F. 2015. Criterios Ecotoxicológicos del Lancamiento de Efluentes-Aspectos Teóricos e Prácticos. UNICAMP. <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1625202>.
- Environment and Climate Change Canada, 2023. Pulp and Paper Effluent Regulation, Annual Report 2021.
- Gargosova, H., & Urminska, B. 2017. Assessment of the Efficiency of Wastewater Treatment Plant using Ecotoxicity Test. *Fresenius Environmental Bulletin* 26(1), 56-62.
- Kovacs, T., Gibbons, S., O'Connor, B., Martel, P., Paice, M., Naish, V., Voss, R. 2004. Summary of Case Studies Investigating the Causes of Pulp and Paper Mill Effluent Regulatory Toxicity. *Water Quality Research Journal* 39 (2): 93-102. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2004.016>
- López, D., Chamorro, S., Silva, J., Bay-Schmith, E. & Vidal, G. 2011. Chronic effects of *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* kraft mill effluents and phytosterols on *Daphnia magna*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 87(6), 633-637.

## REFERENCIAS

- Llanos-Rivera, A., Castro, L.R., Vásquez, P., Silva, J. & Bay-Schmith, E. 2018. The impact of kraft pulping effluent on egg survival and hatching success in two species of Clupeiformes (Teleostei). *Environmental Science and Pollution Research International* 25(25), 25269-25279.
- Miralles-Cuevas, S., Oller, I., Agüera, A., Llorca, M., Sánchez Pérez, J.A. & Malato, S. 2017. Combination of nanofiltration and ozonation for the remediation of real municipal wastewater effluents: Acute and chronic toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials* 323, 442-451.
- Persoone G, Marsalek B, Blinova I, Törökne A, Zarina D, Manusadzianas L, Nalecz-Jawecki G, Tofan L, Stepanova N, Tothova L, Kolar B. A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environ Toxicol.* 2003 Dec;18(6):395-402.
- Villamar, C.A., Silva, J., Bay-Schmith, E. & Vidal, G. 2014. Toxicity identification evaluation of anaerobically treated swine slurry: a comparison between *Daphnia magna* and *Raphanus sativus*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B.* 49(11), 880-8.