

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXIV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA DE TRES CUENCAS CON RELEVANCIA
AGRÍCOLA PARA CHILE Y EL USO DE QUELANTES A BAJO COSTO PARA
PURIFICACIÓN DE SUS AGUAS.**

KARIEN GARCÍA¹
JOSÉ ARUMÍ¹
NICOLE USLAR¹
PEDRO TOLEDO²
JEAN JOUBLAN³

RESUMEN

Esta investigación está compuesta por dos partes, la primera ya finalizada consistió en un diagnóstico de la calidad del agua en tres cuencas con relevancia agrícola para Chile: cuenca del río Choapa, río Maipo y río Rapel. Donde se recolectaron y analizaron valores desde la base de Datos de la Dirección General de Aguas (DGA) para las tres cuencas en estudio, en la investigación se consideró un período de nueve años (2008 – 2016), estos datos fueron analizados y comparados directamente con los 27 parámetros sobre calidad de agua para riego estipulados en la NCh 1333, con el fin de determinar si el agua es apta para los cultivos.

Los resultados han mostrado que el boro, cadmio, mercurio y molibdeno sobrepasan significativamente la norma en la mayoría de las estaciones de monitoreo de la DGA. Los resultados también han mostrado que la conductividad, el sulfato, manganeso y razón de absorción de sodio también sobrepasan el límite de la norma, aunque en menor grado. El pH cumple con el estándar en todas las cuencas. Dentro de esta fase se determinaron los efectos del exceso de concentración de elementos y compuestos tales como aluminio, boro, cadmio, cloruros, cobre, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, sodio y sulfatos que afectan la calidad del agua trayendo graves consecuencias para los cultivos. Estudios bibliográficos reflejaron que la toxicidad del recurso hídrico debido a la presencia de salinidad y metales ocasiona la inhibición del crecimiento

de las plantas, malformación de las hojas, colores café y amarillento, clorosis, necrosis, incremento de moho, marchites e inhibición de la germinación y crecimiento de los tubos de polen con pérdidas significativas para la agricultura. El catastro realizado sobre los factores antropogénicos y naturales que afectan la calidad del recurso hídrico en las cuencas estudiadas reveló que no solo influye la actividad industrial, minera y agrícola como se tiende a pensar habitualmente, sino que también interviene la litología del suelo, la actividad volcánica, el afloramiento de aguas subterráneas y vertientes.

La segunda parte aún en desarrollo consiste en la investigación mediante bibliografía y pruebas de laboratorio con agentes secuestrantes, quelantes de bajo costo en distintas dosis que tienen por finalidad purificar el agua utilizada para riego cumpliendo con la NCh 1333.

En el XXIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, se presentarán los resultados obtenidos con distintos quelantes y dosis en aguas de riego.

¹Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería Agrícola, UdeC - kariengarcia@udec.cl

²Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UdeC - petoledo@udec.cl

³Comité Noix du Périgord- Francia- jjoublan@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Chile es un país privilegiado en cuanto a disponibilidad de recursos hídricos de superficie porque cuenta con una de las mayores reservas de agua en los Campos de Hielo Sur en la zona austral. Su larga geografía incluye 1.251 ríos, que fluyen desde 101 cuencas principales. Además, existen más de 15.000 lagos y lagunas de todas formas y tamaños que constituyen un invaluable activo medioambiental y turístico. En general, estos recursos hídricos contienen agua de buena calidad y son importantes reguladores de flujo en cuencas (MOP, 2011). Los recursos hídricos en Chile se usan en agua potable, procesos industriales, generación de energía eléctrica, minería, agricultura y ganadería, entre otros. Considerando el uso total de agua, el consumo nacional alcanza 4.710 m³/s (Banco Mundial 2011). El mayor usuario de agua en Chile es la agricultura con un 73% del total nacional, que sirve para regar 1,1 millones de hectáreas entre las regiones IV y X (INE, 2007). Del resto de agua se usa 6% para fines domésticos, 9% para la minería y 12% para usos industriales (Banco Mundial 2011).

Respecto a la agricultura, se sabe que no solo la escasez de agua perjudica los cultivos sino también su composición (Oliver y Gregory, 2015). En el año 2005 la Universidad de Chile y el SAG emitieron el informe “*Criterios de Calidad de Aguas o Efluentes Tratados para uso en Riego*”, que describe los factores que impactan sobre los recursos hídricos, entre estos destaca el rápido crecimiento de la población, especialmente la urbana, que conlleva mayores requerimientos de agua potable y servicios de alcantarillado, y la expansión de la industria y la tecnificación de la agricultura, que no han sido acompañadas de sistemas adecuados de tratamiento de desechos y control de la contaminación hídrica (UChile-SAG 2005).

La composición química de las aguas naturales en Chile muestra una gran variabilidad a lo largo del territorio nacional, observándose en general una alta concentración de sales en las zonas áridas en el norte, concentración que decrece fuertemente hacia las regiones más húmedas en el sur. Según información de la Dirección General de Aguas (DGA), las aguas del Norte Grande, en general, se caracterizan por un alto contenido salino, que medido en términos de conductividad fluctúa entre 500 umhos cm⁻¹ y 2.000 umhos cm⁻¹, y en ocasiones supera concentraciones salinas extremas (Orrego, 2002). En el Norte Chico el contenido salino es menor, aunque suele aumentar en los cursos inferiores de los ríos, al punto de imponer restricciones al uso de las aguas, tal como sucede en los ríos Copiapó, Huasco, Elqui y Limarí. Sánchez et al. (2016) explica que la aparición de carbonato de calcio, sulfato de calcio y otros minerales aparecen a partir de la meteorización de las rocas, transportadas por el agua de riego y depositadas en el suelo en donde se acumulan en la medida que el agua se evapora o es consumida por los cultivos.

El objetivo de esta investigación es analizar la calidad del agua de tres cuencas con relevancia agrícola para Chile y buscar una alternativa a bajo costo como es el uso de quelantes para secuestrar los contaminantes que poseen estas aguas, cumpliendo con la normativa vigente NCh 1333 y que los regantes tengan aguas de buena calidad para sus cultivos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio de esta investigación se centra en 3 cuencas de relevancia agrícola para el país, cuenca del río Choapa, río Maipo y río Rapel.

Cuenca del río Choapa: La cuenca del río Choapa se encuentra en la región de Coquimbo, en el Norte de Chile Central, entre las latitudes $31^{\circ}10'$ sur y $32^{\circ}15'$ sur aproximadamente cubriendo una superficie de 7630 km^2 desde la cordillera de los Andes hasta el Océano Pacífico (Parra et al., 2011). La litología de la cuenca alta y media del Choapa se compone de formaciones rocosas sedimento-volcánicas ricas en minerales de origen aluminico, como ortoclasa y plagioclasas asociadas con piroxenos. La meteorización e intemperización de estos minerales los transforman en arcillas que mediante lixiviación y escorrentías adicionan aluminio a los cursos de agua de la cuenca (DGA, 2004a).

Cuenca del río Maipo: La cuenca del río Maipo cubre una superficie de aproximadamente 15.303 km^2 y alberga una serie de ríos y esteros, de los que destaca el río Maipo, principal cauce de la cuenca y fuente principal de agua potable para la Región Metropolitana y parte de las provincias de San Antonio, Región de Valparaíso y Cachapoal, y Región de O'Higgins. Esta cuenca concentra el mayor número habitantes del país, con abundancia de centros políticos, comerciales, industriales, portuarios y comunicacionales (DGA 2004b; Cortés and Olmedo 2011).

Cuenca del Río Rapel: La cuenca hidrográfica del río Rapel se ubica en la costa norte de la Región de O'Higgins y se extiende aproximadamente entre los paralelos $33^{\circ}53'$ y los $35^{\circ}01'$ de Latitud Sur, con una extensión aproximada de 484 km^2 desde el muro de coronamiento del embalse Rapel a la desembocadura del mar. Una de las actividades económicas más importantes de la cuenca es la explotación del mineral de cobre en el sector de la mina El Teniente, ubicado a unos 50 Km de Rancagua (DGA, 2004c). Otras son las actividades agropecuarias que contribuyen de manera importante al desempeño de la agricultura nacional y de sus exportaciones (INE, 2007).

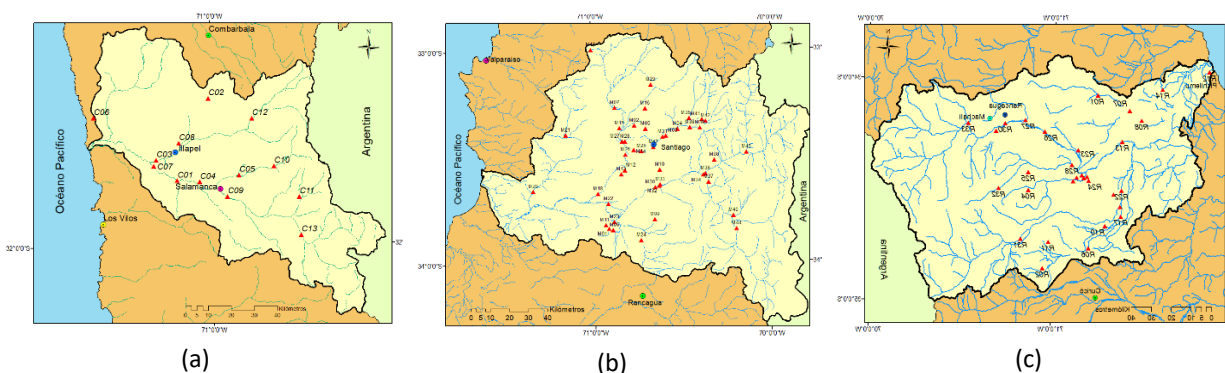


Figura 1 Área de estudio (a) Cuenca del río Choapa (b) Cuenca del río Maipo (c) Cuenca del río Rapel

3. MÉTODOLOGÍA

El primer paso para llevar a cabo la investigación fue generar una base de datos con la información de la red de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), para tres cuencas con relevancia agrícola para el país, cuenca del río Choapa, río Maipo y del río Rapel. Donde se consideró un período de 9 años (2008 al 2016), luego estos valores de calidad de agua se compararon con los parámetros estipulados por la Norma Chilena de agua para riego NCh 1333, donde finalmente se determinó si el agua utilizada para riego en las cuencas de estudio cumple o no con los estándares chilenos.

El segundo paso consistió en determinar los efectos de la toxicidad que generan los elementos y compuestos presentes en las aguas de las cuencas en estudio y que están por sobre la normativa vigente. Finalmente, como tercer paso se determinó mediante bibliografía los factores antrópicos y naturales que influyen en la calidad del agua de la cuenca del Choapa, Maipo y Rapel.

El análisis de la red de monitoreo de la DGA nos entrega los elementos y compuestos presentes en las cuencas con relevancia agrícola, para luego dar paso a la experimentación en el laboratorio. Se consideran quelantes a bajo costo como arcillas que son pasivos en la industria a distintas dosis, que floculan y sedimentan secuestrando los contaminantes presentes en las aguas. El sobrenadante de la solución es analizado y se podrá determinar la dosis y el tipo de arcilla a utilizar para purificar el agua de riego y que cumpla con la normativa vigente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos por un período de 9 años (2008-2016) de la DGA para las tres cuencas en estudio, fueron analizados y comparados con la Norma de agua para riego NCh 1333, esta norma indica 27 parámetros a considerar además de conductividad eléctrica y pH.

Es importante mencionar que las estaciones de monitoreo de la DGA no determinan concentraciones de bario, berilio, vanadio, cianuro y fluoruro, que sí son parte de la normativa.

Elementos y compuestos químicos

A continuación, se realiza un análisis de los elementos y compuestos que incumplen la norma de agua para riego NCh 1333 en cada una de las cuencas de interés.

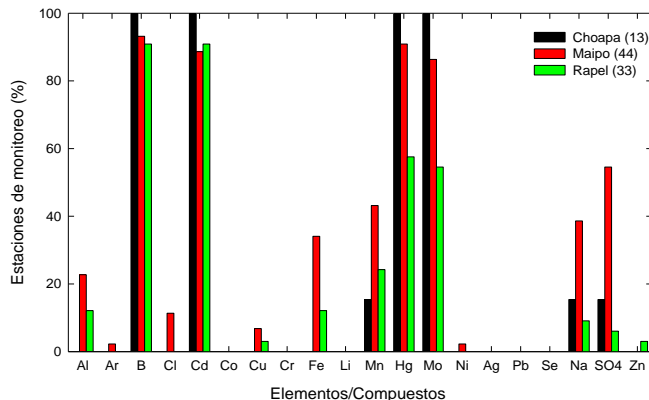


Figura 2 Porcentaje de estaciones de monitoreo en cada cuenca en las que algunos elementos y compuestos químicos, exceden la regulación de agua para riego NCh 1333.

La Figura 2 resume el porcentaje de estaciones de monitoreo en las que la concentración de elementos y compuestos no cumple la normativa NCh 1333 para cada una de las tres cuencas consideradas en este estudio.

Los análisis mostraron que las aguas de la cuenca del Maipo contienen excesos de sulfato > manganeso > sodio > hierro > aluminio en un número importante de estaciones de monitoreo, también se determinó que el Mn y sulfato exceden la norma es más de 30% de las estaciones totales de monitoreo en las tres cuencas consideradas.

Se puede concluir que para las tres cuencas en estudio el boro, cadmio, mercurio y molibdeno exceden la concentración máxima en todas las estaciones de monitoreos de la cuenca del río Choapa, y sobre un 77% en las cuencas del río Maipo y Rapel. Estos resultados están de acuerdo con los de Pizarro et al. (2010) quienes encontraron que los contaminantes más frecuentes en aguas de ríos de Chile son el mercurio, selenio, arsénico, cadmio, molibdeno, zinc y níquel, y en casos específicos, el cobre.

pH y conductividad

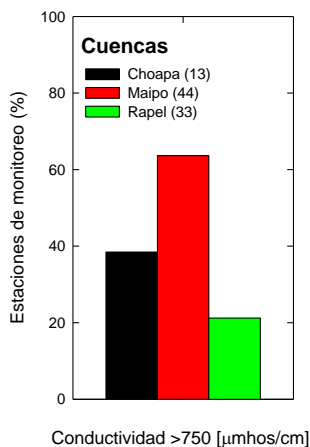


Figura 3 Porcentaje de estaciones de monitoreo por cuenca en las que la conductividad excede la regulación de agua para riego NCh 1333.

Considerando el umbral máximo permitido de 750 µmhos/cm que se establece para la conductividad eléctrica en la norma de agua para riego NCh 1333, se determina que las aguas de la cuenca del río Choapa y río Rapel son aptas para riego de cultivos agrícolas. Por el contrario, la cuenca del río Maipo presenta una alta conductividad eléctrica en distintas zonas de la cuenca no cumpliendo con la normativa.

El pH se evaluó en el rango de 5.5 a 9.0 también establecido por la norma de agua para riego, dando como resultado que el agua de las tres cuencas en estudio, cumplen con la normativa.

Toxicidad de elementos y compuestos sobre los cultivos

Estudios bibliográficos reflejaron que el principal efecto negativo que produce la salinidad en los cultivos es de tipo Osmótico. La alta concentración de sales en la solución del suelo hace que el cultivo tenga que hacer un consumo extra de energía para poder absorber el agua del suelo. Este efecto es similar al producido por estrés hídrico, en el que el cultivo sufre la falta de agua en el suelo respecto a lo que demanda para su normal desarrollo. El estrés salino ocasiona la inhibición del crecimiento de las plantas, malformación de las hojas, colores café y amarillento, clorosis, necrosis, incremento de moho, marchites e inhibición de la germinación y crecimiento de los tubos de polen con pérdidas significativas para la agricultura.

Los cultivos agrícolas también se ven afectados negativamente por la presencia de metales en especial los catalogados como pesados, los cuales son contaminantes ambientales significativos, y su toxicidad es un problema de creciente importancia por razones ecológicas, evolutivas, nutricionales y ambientales. El término "metales pesados" se refiere a cualquier elemento metálico que tenga una densidad relativamente alta y sea tóxico o venenoso incluso a baja concentración (Lenntech Water Treatment and Air Purification 2004). Los metales pesados incluyen plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), cobalto (Co), hierro (Fe), zinc (Zn), cromo (Cr), hierro (Fe), arsénico (As), plata (Ag) y los elementos del grupo platino (Nagajyoti, 2010).

Considerando que en las tres cuencas de estudio no se cumplen los parámetros establecidos para el boro, cadmio, mercurio y molibdeno, sumado a los efectos ocasionados por la salinidad presente en el agua la cual se determina mediante la conductividad eléctrica, la investigación da una alerta a la comunidad sobre el agua que usan para riego, dando paso a que puedan tomar decisiones sobre el recurso hídrico que utilizan.

Factores antropogénicos y naturales que afectan la calidad del agua para riego en las cuencas: río Choapa, río Maipo y río Rapel.

En las tres cuencas de estudio intervienen factores antropogénicos que afectan la calidad del agua para riego, tales como: Contaminación difusa por aguas servidas, descarga de RILES industriales, descarga de RILES mineros, contaminación difusa por ganadería, aporte de plaguicidas por agricultura cercana. Chile es un país heterogéneo en su geografía lo que impacta naturalmente la calidad de las aguas usadas para riego, en el Norte del país los suelos están compuestos por rocas que poseen aluminio y calcio lo que eleva el pH en algunas zonas de la cuenca del Choapa, sumado a las altas temperaturas que evaporan rápidamente las masas de agua concentrando las sales en el suelo. En la zona central los suelos se mezclan con la lixiviación proveniente de la actividad minera en la precordillera, generando escorrentías de arcilla, disolución de cobre, hierro y sulfatos. También cabe destacar el aporte de material sulfurado y rocas calcáreas proveniente de los volcanes y el afloramiento de aguas de vertientes.

Trabajo en desarrollo

Mediante bibliografía y pruebas en laboratorio se está investigando el tratamiento a bajo costo con agentes secuestrantes, quelantes que tienen por finalidad purificar el agua utilizada para riego cumpliendo con la NCh 1333.

En el XXIV Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica, se mostrarán resultados obtenidos con distintos quelantes en aguas de riego.

5. CONCLUSIÓN

En este estudio, los datos de la química del agua de las cuencas del río Choapa, río Maipo y río Rapel en el centro norte de Chile se analizaron y evaluaron para el período 2008-2016, de acuerdo con los parámetros de calidad del agua de riego establecidos en la normativa NCh1333. El boro, el cadmio, el mercurio y el molibdeno superan los umbrales máximos en la mayoría de las estaciones de monitoreo. La conductividad, el sulfato, el manganeso y la relación de absorción de sodio también exceden la norma, aunque levemente. El pH cumple con el estándar en todas las cuencas. Una revisión de los factores antropogénicos y naturales que afectan la calidad de los recursos hídricos en las cuencas analizadas revela que no solo influyen las actividades industriales, mineras y agrícolas, sino también la litología del suelo, la actividad volcánica y el afloramiento de las aguas subterráneas. Esperamos que estos datos sirvan para alertar a la comunidad sobre la calidad del agua de las cuencas hidrográficas más importantes de Chile y también para los agricultores y los encargados de tomar decisiones sobre el agua en general.

Los resultados obtenidos en el laboratorio serán un gran aporte para los agricultores, ya que, podrán obtener agua para sus cultivos cumpliendo con la normativa y evitando los efectos del estrés salino, con un proceso tan sencillo como es agregar quelante de bajo costo en las piscinas de decantación

donde se reparte el agua para los cultivos, la dosis y el tipo de arcillas se obtendrá de las pruebas de laboratorio realizadas.

AGRADECIMIENTOS

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería CRHIAM Conicyt/Fondap/15130015.

REFERENCIAS

Banco Mundial (2011) Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Banco Mundial, Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe.

http://www.dga.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf

Cortés I, Olmedo M (2011) Apoyo al programa de vigilancia de las normas de calidad secundaria. Cuenca Río Maipo. Informe Técnico de Resultados Campaña de Monitoreo noviembre 2011.

<http://www.cenma.cl/Pagina%20web-LQA/6>

Apoyo%20a%20la%20dictaci%C3%B3n%20de%20normas%20ambientales/INFORME_TECNICO_PP01_MAIPO.pdf

Dirección General de Aguas (DGA) (2004a) Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Choapa. Informe Técnico. CADE-IDEPE.

<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Choapa.pdf>

Dirección General de Aguas (DGA) (2004b) Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Maipo. Informe Técnico. CADE-IDEPE.

<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maipo.pdf>

Dirección General de Aguas (DGA) (2004c) Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Rapel. Informe Técnico. CADE-IDEPE.

<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Rapel.pdf>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2007) Censo Agropecuario y Forestal 2007. INE. Santiago. <http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censo-agropecuario-y-forestal-2007>

Lenntech Water Treatment and Air Purification (2004) Water treatment. Lenntech, Rotterdamseweg, Netherlands (<http://www.excelwater.com/thp/filters/Water-Purification.htm>)

Ministerio de obras públicas (MOP) (2011) Chile Cuida su Agua. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2015. https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf

Nagajyoti P.C, Lee K.D, Sreekanth T.V.M (2010) Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 8:199-216.

Oliver MA, Gregory PJ (2015) Soil, food security and human health: A review. *European Journal of Soil Science*, 66(2), 257-276.

Orrego JP (2002) *El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: Cursos y Aguas Subterráneas*. Fundación TERRAM. Santiago

Parra A, Oyarzún J, Maturana H, Kretschmer N, Meza F, Oyarzún R (2011) Natural factors and mining activity bearings on the water quality of the Choapa basin, North Central Chile: Insights on the role of mafic volcanic rocks in the buffering of the acid drainage process. *Environmental Monitoring and Assessment*, 181(1-4):69-82

Pizarro J, Vergara PM, Rodríguez JA, Valenzuela AM (2010) Heavy metals in Northern Chilean Rivers: Spatial Variation and Temporal Trends. *Journal Hazardous of Materials*, 181(1-3), 747-754.

Sánchez R, Guerra LD, Scherger, M (2016) *Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina*. 1ª ed., Hilario Ascasubi, Buenos Aires: Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_h._ascasubi-estimacion-areas-salinas-argentina_2016.pdf

UChile-SAG (2005) *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego*, 254 pp <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Criterios-de-calidad-de-aguas-o-efluentes-tratados-para-uso-en-riego-2005.pdf>