



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



Artículo de Investigación / Research Article

MECANISMOS DE REMOCIÓN DE COMPUESTOS DE AMONIO CUATERNARIO E HIPOCLORITO DE SODIO EN AGUAS CONTAMINADAS

MECHANISMS FOR REMOVAL OF QUATERNARY AMMONIUM COMPOUNDS AND SODIUM HYPOCHLORITE IN POLLUTED WATERS

Correspondencia

María Loyola
m.loyola.qui@institutonacional.cl
Instituto Nacional General
José Miguel Carrera
Santiago

Autores

Jesús Valderrama
Víctor Alarcón
Eliás Ormeño

Instituto Nacional General
José Miguel Carrera
Santiago

Evaluador

Jorge Vidal
Universidad de Chile

<https://doi.org/10.35588/bc.v6i1.101>

Artículo Recibido: 3 de diciembre, 2021
Artículo Aceptado: 31 de diciembre, 2021
Artículo Publicado: 20 de agosto, 2022



Resumen

Una consecuencia de la actual pandemia por COVID-19, es el incremento del uso de desinfectantes, como el amonio cuaternario e hipoclorito de sodio. Debido a esto, se ha generado un aumento en la contaminación de las aguas, siendo necesario buscar soluciones a esta nueva problemática. Esta investigación pretende comparar los mecanismos existentes, para posteriormente elegir el más adecuado en la remediación del agua contaminada por amonio cuaternario e hipoclorito de sodio, a partir de una búsqueda bibliográfica. Se realizó una selección de documentos, para su posterior estudio, donde se organizaron a través de una tabla comparativa y un diagrama. De los resultados analizados, se presentan cuatro métodos para la descontaminación del agua: (I) fotólisis, (II) electro-oxidación, (III) carbón activado y (IV) contactor de membrana. Se puede concluir que carbón activado es el mejor candidato, es la forma más eficiente para la descontaminación de aguas por sus características, como su capacidad de reutilización y adsorción de compuestos, transformándolos en metabolitos menos tóxicos.

Palabras claves: COVID-19; Contaminación; Hipoclorito de sodio; Amonio cuaternario; Mecanismos.

Abstract

One consequence of the current COVID-19 pandemic is the increased use of disinfectants, such as quaternary ammonium and sodium hypochlorite. Due to this, an increase in water pollution has been generated, making it necessary to seek solutions to this new problem. This research aims to compare the existing mechanisms to choose the most appropriate remediation for water contaminated by quaternary ammonium and sodium hypochlorite based on a bibliographic search. A selection of documents was made for further study, where they were organized through a comparative table and a diagram. From the analyzed results, four methods for water decontamination are presented: (I) photolysis, (II) electro-oxidation, (III) activated carbon, and (IV) membrane contactor. It can be concluded that activated carbon is the best candidate, the most efficient way to decontaminate water due to its characteristics, such as its ability to reuse and adsorb compounds, transforming them into less toxic metabolites.

Keywords: COVID-19; Pollution; Sodium hypochlorite; Quaternary ammonium; Mechanisms.

El Proyecto participó en:

- * Congreso Regional de innovación e investigación Explora RM Norte 2021
- * Expo Ciencias Nacional Chile 2021



Introducción

El comienzo de la pandemia de COVID-19 en el 2020 nos ha afectado en distintos ámbitos, provocando un grave daño a la biosfera, ya que se ha incrementado el uso de los desinfectantes, tales como amonio cuaternario e hipoclorito de sodio que hacen frente al virus que provoca el SARS-CoV-2. Este uso masivo ha generado un incremento en la contaminación de las aguas en las ciudades, debido a que estos desinfectantes “inevitadamente son arrastradas por el agua ingresando a fuentes de agua superficial, canales de regadíos o humedales” (Rodríguez, 2020), como producto de su uso indiscriminado en lugares y situaciones no indicadas. Por otro lado, se ha evidenciado que esta práctica no es una solución para la desinfección dado que “no es eficaz, ya que la suciedad y los detritos, por ejemplo, desactivan el desinfectante y no es posible limpiar a mano esos espacios para eliminar toda la materia orgánica...incluso si no hay materia orgánica o suciedad, es poco probable que la fumigación química cubra adecuadamente todas las superficies durante el tiempo necesario para inactivar los agentes patógenos” (OMS, 2022). Y como se mencionó anteriormente, estas formas además de ser ineficaces llegan a masas de agua, lo que desemboca en una contaminación de los cursos naturales de la misma.

La contaminación del agua, es decir, cambios en su composición original, genera como producto aguas tóxicas que no pueden ser bebidas ni utilizadas para actividades esenciales.

Los amonios cuaternarios son compuestos químicos clasificados dentro del grupo de los tensioactivos ca-

tiónicos. Su estructura general comprende una porción catiónica compuesta por un átomo de nitrógeno unido a cuatro cadenas alquílicas (parte funcional de la molécula) y un átomo halógeno (generalmente cloro).

El hipoclorito de sodio (NaClO) aumenta el pH de las aguas debido a su carácter básico y su disolución en agua genera dos sustancias que juegan el papel de oxidantes y desinfectantes, éstos son el ácido hipocloroso (HClO) y el ion de hipoclorito el cual es menos activo (ClO-) (Lenntech, 2022).

La presente investigación toma vital importancia ya que se ha estudiado la poca o nula efectividad que tiene el uso asociado a los compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio de distintas formas, desde sanitización de las calles hasta el uso en el hogar debido a su capacidad para unirse a la materia orgánica, quedando el compuesto desinfectante inactivado en sedimentos y material particulado disuelto (agua), distribuyéndose y acumulándose en el medio ambiente, sin cumplir con su función desinfectante. Algunas investigaciones han dejado en evidencia que “(...) el cloro es tóxico para el fitoplancton y que el amonio produce efectos adversos en peces y anfibios. Además, este tipo de acciones puede fomentar la resistencia a los antimicrobianos” (Subpiramanyam, 2021). Por otro lado, estudios han demostrado que plantas expuestas a altas concentraciones de desinfectantes, ven inhibido su crecimiento con una disminución del peso de tallo y raíces, y una disminución del contenido de sus pigmentos fotosintéticos (Dewey *et al.*, 2021).



Considerando la información expuesta, la investigación tiene como principal objetivo comparar dentro de los mecanismos existentes, el más adecuado para la remediación del agua contaminada por amonio cuaternario e hipoclorito de sodio, a partir de una búsqueda bibliográfica; de manera tal que estos compuestos puedan ser removidos del agua o convertidos en compuestos de menor toxicidad.

En base a la búsqueda bibliográfica se buscará comparar diversos mecanismos de remoción para encontrar el más adecuado.

Problema de Investigación

¿De qué manera se puede remover el amonio cuaternario e hipoclorito de sodio del agua contaminada producto del uso de estos desinfectantes?

Hipótesis

“La adición de carbón activado a las aguas contaminadas por compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio constituye el método más efectivo para remover y descomponer estas sustancias”.

Objetivo general

Comparar dentro de los mecanismos existentes, el más adecuado para la remediación del agua contaminada por amonio cuaternario e hipoclorito de sodio, a partir de una búsqueda bibliográfica.

Objetivos específicos

- Definir el mecanismo de acción de los desinfectantes a base de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio.
- Evaluar concentraciones de estos desinfectantes en aguas tratadas, aguas residuales, y otros medios acuosos de uso cotidiano.
- Investigar tratamientos químicos de descontaminación de aguas, evaluando sus ventajas y desventajas.
- Escoger el método más adecuado para la descontaminación.

Metodología

Tomando en cuenta la revisión bibliográfica sistemática de diversas fuentes científicas disponibles en inter-

net, se realizó una búsqueda sobre la contaminación de aguas por desinfectante como el amonio cuaternario e hipoclorito de sodio y su daño a la biosfera. Esta investigación es de carácter correlacional causal.

1. Determinación de los mecanismos de acción de los desinfectantes a base de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio: se revisaron fuentes, artículos y documentos científicos de las siguientes bases de datos en inglés: ACS, Web of Science, Google Scholar y ScienceDirect, y se escogieron en base a las siguientes palabras claves: disinfectants, COVID-19, quaternary ammonium compounds, sodium hypochlorite, photolysis, electrooxidation, activated carbon.
2. Recopilación de datos de los desinfectantes en estudio en aguas contaminadas: se realizó una revisión de los datos aportados por las fuentes mencionadas anteriormente, que dieran cuenta de las concentraciones en que se encuentran estos compuestos en distintas muestras de aguas.
3. Investigación de tratamientos químicos para la descontaminación de aguas: se escogieron mecanismos que podrían ayudar con la remoción o descomposición de los compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio, dejándolos en metabolitos menos tóxicos para la biosfera.
4. Evaluación de ventajas y desventajas: se compararon los diferentes métodos en base a criterios como, accesibilidad, complejidad del mecanismo, antecedentes de uso y factibilidad.
5. Selección del método más adecuado para la transformación y remoción de compuestos contaminantes: se escogió el método más eficaz según la forma de aplicación, los costos de uso, mecanismo de acción y los residuos que genera.

Resultados y Discusión

Se recopilaron un total de 90 publicaciones científicas dentro de las bases de datos ACS, Web of Science, Google Scholar y ScienceDirect que contenían las palabras claves seleccionadas mostradas por el algoritmo de búsqueda. Se descartaron 60 publicaciones que no cumplían con los datos necesarios para ser analizados; presentando indicaciones de uso de los compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio en zonas industriales para la desinfección de otros patógenos, no correlacionaron una contaminación



o se enfocan en otros compuestos. Se descartaron 20 publicaciones debido a que los mecanismos de limpieza eran aplicados en otras sustancias y la información estaba desactualizada. Se analizaron los mecanismos de limpieza con los 10 restantes (Figura N° 1).

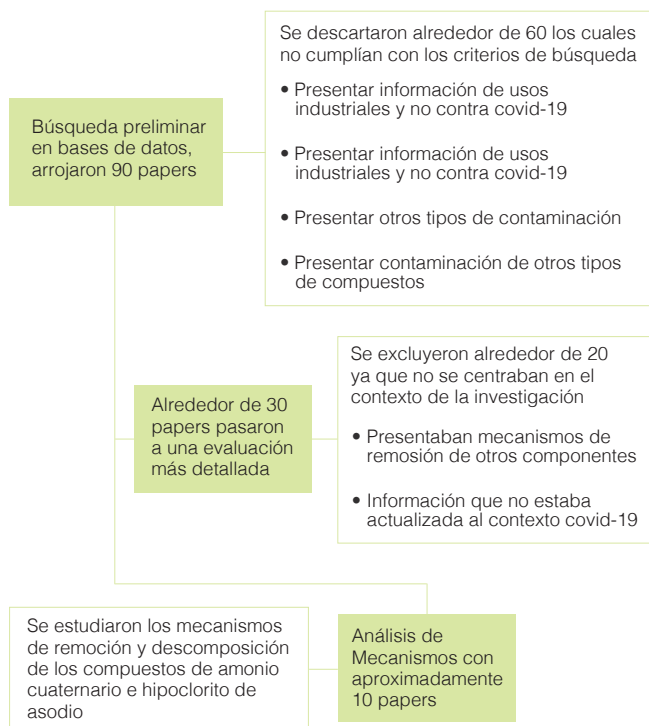


Figura N° 1. Esquema de análisis de fuentes bibliográficas y criterios de utilización.

Se encontraron 4 mecanismos de limpieza efectivos para la descomposición y remoción de compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio, estos son:

- La fotólisis: mecanismo que consiste en la ruptura de enlaces químicos por causa de energía radiante (fotones).
- Electro-oxidación: aplicación de una determinada densidad de corriente con los electrodos que dependen del objetivo a conseguir, al aplicar esta corriente se producen radicales hidroxilos en la superficie del material anódico producto de la oxidación del agua, siendo los responsables de la degradación de los compuestos tóxicos que son transformados a productos biodegradables, de forma que los efluentes puedan ser vertidos a una depuradora biológica.
- Adición de carbón activado: al adicionar este material al agua se adsorben iones y moléculas para adherirlas a su superficie, cambiando su conformación.
- Contactor de membrana: dispositivo utilizado para retirar los gases contaminantes en el agua, es decir, su fin es desgasificar el agua.

Todos estos mecanismos se compararon con ventajas y desventajas de acuerdo con criterios de accesibilidad, residuos, complejidad del mecanismo, antecedentes de uso y factibilidad (Figura N° 2).

Método	Ventajas	Desventajas
Fotólisis	- Fácil accesibilidad - Baja complejidad	- Su aplicación se limita al laboratorio - Requiere condiciones ambientales controladas
Electro-oxidación	- Fácil accesibilidad - Recuperación del material anódico.	- Se requiere de un material anódico óptimo. - Gran costo inicial para implementarlo
Carbón activado	- Fácil accesibilidad - Baja complejidad - Existe en variadas formas que permiten su uso específico. - Puede ser usado para adsorber otros componentes. - Puede ser reutilizado	- No se han estudiado sus efectos adversos en el ambiente
Contactador de membrana	- Puede permitir la industrialización de la remoción de amonio - reducción del $98,9 \pm 0,1\%$ en las concentraciones de amonio.	- Difícil accesibilidad - Alto costo - Alta complejidad del mecanismo

Figura N° 2. Tabla comparativa ventajas y desventajas de los diferentes métodos de remoción de compuestos contaminantes del agua.



El análisis correlacional de las fuentes bibliográficas muestra que existe la presencia de compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio en distintas masas de aguas como las residuales del hogar, en alcantarillas, depósitos, lagos y ríos. A pesar de estas evidencias, a la fecha se ha publicado un estudio sobre las concentraciones presentes en estos lugares, determinando concentraciones de amonio cuaternario de 4.7 y 7.7 µg/L (Wieck *et al.*, 2020) en dos muestras de aguas de alcantarilla. Debido a la escasa información las concentraciones no fueron consideradas como parámetro de análisis en esta investigación.

De acuerdo con el análisis de datos, se contrastaron 4 mecanismos de limpieza para las aguas contaminadas, de los cuales se determinó que el más eficiente corresponde a la adición de carbón activado. Este es utilizado para la filtración de las aguas contaminadas, produciendo una reacción con todo el amonio para formar cloraminas. En el breakpoint, se produce la destrucción de las cloraminas, siendo eliminadas, reduciendo el cloro residual, y formándose tricloruro de nitrógeno, óxido nitroso (N₂O) y nitrógeno (N₂) el cual es liberado a la atmósfera (Tchobanoglous *et al.*, 2003; Ibarquén y Bernal, 2008). Luego de que se completa la oxidación de los compuestos oxidables y al seguir añadiendo

cloro, se sobrepasa el breakpoint y comienzan a aumentar los niveles de cloro libre (Tchobanoglous *et al.*, 2003) y puede ser reutilizado. Además, debido a su estructura de placas graníticas, permite no solamente remover el amonio cuaternario y el hipoclorito de sodio, sino también otras sustancias que puedan resultar tóxicas. Cabe destacar que, aún no se ha estudiado lo que ocurre con estos compuestos cuando son liberados a la atmósfera y si afectan de alguna manera a otros organismos. Una dificultad de esta técnica es la filtración en lagos y ríos, ya que son cuerpos de agua más difíciles de tratar por su gran escala.

Los otros 3 mecanismos de limpieza fueron descartados debido a la difícil accesibilidad como en el caso del contactor de membrana que es un equipo tecnológico muy caro y no tendría tanto impacto en la limpieza ya que solo quita los gases presentes en el agua. Los mecanismos de fotólisis son difíciles de llevar a gran escala y necesitan ambientes controlados para realizarlos y el mecanismo de electro-oxidación requiere de un material anódico suficientemente potente para la descomposición de estas sustancias contaminantes, lo que tiene un gran costo que debe ser asociado a la cantidad a usar, por otro lado, es poco factible al momento de utilizarlo en lugares de gran envergadura.

Conclusión

Mediante una revisión bibliográfica se pudo definir el mecanismo de acción de los desinfectantes en estudio cuando se encuentran presentes en el agua y cómo estos afectan a la biosfera. Los estudios sobre la contaminación de los desinfectantes de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio es un tema reciente, del cual no hay mucha información acerca de las concentraciones en distintas masas de aguas. Si bien se cuenta con variados mecanismos efectivos para la limpieza de aguas contaminadas por los desinfectantes mencionados, esta investigación permitió determinar que el mecanismo de filtración con carbón activado es el más adecuado para solucionar esta problemática. En conclusión, se acepta la hipótesis planteada.

Proyección

La técnica de remoción y descomposición de agentes contaminantes mediante carbón activado, como los compuestos de amonio cuaternario e hipoclorito de sodio permitiría realizar una eficaz descontaminación del agua durante la pandemia y post pandemia, donde aumentarían las concentraciones y, para futuros donde esto siga siendo un problema. Esta alternativa es la más rentable y de fácil acceso para todos. Así, los ecosistemas afectados podrán liberarse paulatinamente del daño causado.



Bibliografía

Dewey H, Jones J, Keating M, Budhathoki-Uprety J. 2021. Increased use of disinfectants during the COVID-19 pandemic and its potential impacts on health and safety. *ACS Chemical Health Safety* 29: 27-38.

Ibarguen M, Bernal L. 2008. Establecer la demanda de cloro en el acueducto tribunas córrega de la ciudad de Pereira. Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Lenntech. 2022. Desinfectantes hipoclorito de sodio. <https://www.lenntech.es/procesos/desinf-eccion/quimica/desinfectanteshipoclorito-de-sodio.htm>

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2022. Preguntas y respuestas re la limpieza y desinfección de superficies del entorno inmediato en el contexto de la COVID-19 fuera del ámbito sanitario. <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/q-a-considerations-for-the-cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-in-the-context-of-covid-19-in-non-health-care-settings>

Rodriguez I. 2020. Ecotoxicólogo: “El uso de amonio cuaternario y cloro al aire libre genera efectos negativos en el medio ambiente, y nulo efecto desinfectante”. *El Mostrador* 3 de junio de 2020.

Subpiramaniyam S. 2021. Outdoor disinfectant sprays for the prevention of COVID-19: Are they safe for the environment? *Science of The Total Environment* 759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144289>

Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD, Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering : treatment and reuse*. McGraw-Hill Ed., Boston, USA.

Wieck S, Olsson O, Kümmerer K. 2018. Not only biocidal products: Washing and cleaning agents and personal care products can act as further sources of biocidal active substances in wastewater. *Environment International* 115: 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.040>

