

Presencia del SARS-CoV-2 (COVID-19) en las aguas servidas y el papel de las plantas de tratamiento de aguas residuales en su eliminación

Presence of SARS-CoV-2 (COVID-19) in wastewater and the role of sewage treatment plants in its removal

Zolly Margareth Suarez Verdugo¹, Saieth Baudilio Chaves Pabón²

¹ Ingeniera Civil, Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.

² Doctor en Ingeniería, Docente del Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.

E-mail: saieth.chaves@unimilitar.edu.co

Recibido: 16/04/20201

Aceptado: 13/09/2021

Cite this article as: Z. Suarez-Verdugo y S. Chaves-Pabón “Presencia del SARS-CoV-2 (COVID-19) en las aguas servidas y el papel de las plantas de tratamiento de aguas residuales en su eliminación.”, Prospectiva, Vol 20, N° 1, 2022.

<http://doi.org/10.15665/rp.v20i1.2711>

RESUMEN

El presente artículo proporciona una visión general de la presencia del virus SARS-CoV-2 (COVID-19). La presencia del virus fue investigada por medio del método RT-PCR que permitió la identificación de los virus patógenos humanos predominantes que se encuentran en el agua residual y que viaja por medio de las alcantarillas urbanas. Se requiere información para presentar si las PTAR son suficientes para eliminar el virus o de lo contrario habría que implementar un paso adicional, por lo que se presentan las primeras investigaciones hechas alrededor del mundo: China, Australia, países Bajos, Estados Unidos, Francia y la India, en las que señalan, que si hay presencia de SARS-CoV-2 en aguas residuales y sobre todo se considera que las aguas residuales liberadas de los centros de cuarentena, hospitales u hogares con pacientes con COVID-19 desempeñan un papel potencial en la propagación de la infección. Por otro lado, se describieron las diferentes etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales en las cuales se determina si existe la presencia del virus SARS-CoV-2; teniendo en cuenta los análisis en cada una de ellas se describió los porcentajes de concentración del virus en el agua que ha sido tratada y además se presentaron los casos que han sido investigados alrededor del mundo, complementando las investigaciones ya realizadas en plantas de tratamiento de aguas residuales asociadas al primer evento de coronavirus en años anteriores. Las etapas finales en los procesos de detección del virus SARS-CoV-2 asistirán en la toma de decisiones para el uso del cloro o diferentes productos para su eliminación, así como también se vinculará la implementación de mecanismos con luces ultravioletas para la completa eliminación del virus en aguas ya tratadas, esto con el fin de proporcionar soluciones al manejo de aguas debidamente tratadas en las plantas de aguas residuales.

Palabras clave: Ingeniería sanitaria, SARS, coronavirus, aguas residuales, PTAR.

ABSTRACT

This article provides an overview of the presence of SARS-CoV-2 virus (COVID-19). The presence of the virus was investigated using the RT-PCR method that allowed the identification of the predominant human pathogenic viruses found in wastewater and traveling through urban sewers. Information is required to present whether THETRs are sufficient to eliminate the virus or else an additional step would have to be implemented, so the first research is presented around the world: China, Australia, the Netherlands, the United States, France and India, in which they indicate, that if SARS-CoV-2 is present in wastewater and above all, wastewater released from quarantine centres is considered, hospitals or households with patients with COVID-19 play a potential role in the spread of infection. On the other hand, the different stages of wastewater treatment plants were described in which it is determined whether SARS-CoV-2 virus exists; taking into account the analyses in each of them described the percentages of concentration of the virus in the water that has been treated and also presented the cases that have been investigated around the world, complementing the research already carried out in wastewater treatment plants associated with the first coronavirus event in previous years. The final stages in SARS-CoV-2 virus detection processes will assist in decision-making for the use of chlorine or different products for disposal, as well as linking the implementation of mechanisms with ultraviolet lights for the complete elimination of the virus in already treated waters, this in order to provide solutions to the management of properly treated water in wastewater plants.

Keywords: Sanitary Engineering, SARS, coronavirus, wastewater, WWTP.

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad no esperaba el inicio de una nueva etapa que afectaría la manera de vivir diariamente, no se esperaba que la aparición de un brote de la enfermedad por coronavirus 2019 cambiara la rutina cotidiana y sobre todo cambiara las condiciones de vivir. En el transcurso del año 2019, se realizaron un sin fin de pruebas para detectar la presencia del virus SARS-CoV-2 (COVID 19) en el aire, las superficies, el cuerpo humano y en el agua, siendo esto una muestra del alcance de vida que posee el virus, teniendo la capacidad de contagio de manera inmediata a corto o mediano plazo. El SARS-CoV-2 se transmite principalmente de persona a persona a través del contacto cercano, gotas respiratorias y superficies contaminadas [1,6,7]; Los síntomas más comunes de los pacientes con COVID-19 son fiebre, tos, dificultad para respirar y mialgia / fatiga, [1] lo que sugiere una infección gastrointestinal causada por el SARS-CoV-2. También se ha informado que los enterocitos del intestino delgado infectados con SARS-CoV-2, junto con el virus, se eliminan a través de las heces [2,3,4]. Lo que ha llevado a los grandes científicos a enfrentar un gran reto para la eliminación de las fuentes de contagio, por lo tanto se han tomado medidas en cada país para mitigar la transmisión de forma directa, además de las medidas necesarias para eliminar las transmisiones indirectas las cuales se dan por medio del contacto con superficies o elementos contagiados con el virus, esto ha llevado a un análisis mas profundo donde se ha dado a conocer por investigaciones que el virus puede permanecer por un tiempo determinado en las aguas servidas. En el caso de Colombia, no se presentan muchas investigaciones respecto al objetivo del presente estudio, sin embargo, es importante mencionar que en el año 2015 se divulgo la resolución número 0631, con el propósito de disminuir el aporte de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, entre sus aspectos relevantes ha sido la conceptualización y diferenciación entre las Aguas Residuales Domésticas (ARD) y las Aguas Residuales no Domesticas (ARnD), la delimitación de ocho sectores productivos que representan 73 actividades definidas como prioritarias, y 56 parámetros que se deben cumplir por parte de las actividades industriales, comerciales y de servicios del país, y finalmente, se definen los valores límites máximos permisibles de concentración, expresados en (mg/l), para un control directo en el vertimiento, en cuanto a mecanismos de medición. La selección de los sitios de muestreo que se mencionan en los documentos científicos, que conforman este artículo

de revisión, se establecieron de acuerdo a las normativas de cada país donde se desarrollaron los respectivos estudios. Con estas nuevas condiciones se ha propuesto analizar investigaciones para determinar si el sistema de tratamiento de aguas residuales es suficiente para la eliminación del virus SARS-CoV-2, dado que una persona contagiada tiene contacto con el agua y luego esta se dispone en las redes de alcantarillado separado.

2. ¿Como se detecta el SARS-CoV-2?

El ensayo más sólido, sensible y específico disponible actualmente [5] para la detección de SARS-CoV-2 es la RT-PCR (Reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa con transcripción inversa), este método es uno de los más utilizados en la investigación y el diagnóstico de enfermedades cuyo material de partida es el ARN (Acido ribonucleico). Este proceso consta de varias etapas; la primera etapa es el aislamiento de material genético viral, luego la transcripción inversa y por último la PCR cuantitativa. El SARS-CoV-2 es un coronavirus, lo que quiere decir que contiene material genético en forma de ARN; una vez que se extraiga la muestra, el ARN es aislado como primer paso, luego el ARN viral es convertido a ADN que es una molécula mucho más estable y este proceso es llamado Transcripción inversa. La segunda etapa se realiza con una enzima que sintetiza y lee el material genético en forma de ARN para luego crear copias complementarias de este en forma de ADN; siguiendo el proceso se encuentra que este material en forma de ADN es después amplificado por una técnica conocida como PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), aquí protagoniza otra enzima, la polimerasa que se encarga de leer regiones específicas del material genético del virus creando copias sobre copias, de manera exponencial, básicamente creando un proceso cíclico, para medir en tiempo real a esas copias creadas por la enzima se añade una molécula fluorescente que brilla cada vez que una copia es creada, de esta manera a mayor cantidad de material genético viral en la muestra de partida, más copias de este se crearan y más brillara la muestra, por lo tanto, en una muestra con gran cantidad de virus el proceso ocurrirá rápidamente porque se obtiene un aumento de la fluorescencia en los primeros ciclos del proceso, lo que no ocurrirá en una muestra sin virus, dado que la polimerasa o enzima no podrá amplificar de manera específica el material genético del virus y no se obtendrá ninguna señal.

2.1 Concentración de las muestras

La detección del coronavirus en aguas residuales se basa en la cuantificación de las cargas virales en las heces de las personas infectadas por el virus; Dado que los virus normalmente están presentes en concentraciones bajas en ambientes acuáticos ($\sim 10^8$ virus por gramo de heces) [6]. La concentración de las muestras de aguas residuales recolectadas se puede realizar utilizando los siguientes métodos: Método A (Ultrafiltración) y Método B (extracción directa de ARN); Para el Método A, 35 ml de agua influyente se centrifuga a $140.000 \times g$, durante 2 horas y 30 min a $4^\circ C$. El pellet de ADN se incuba en hielo durante 30 min con 5 ml de $0,25 \text{ mol / L}$ tampón de glicina (pH 9,5) y luego la solución neutralizada con 5 ml de PBS 2X. Se eliminan los sólidos en suspensión por centrifugación a $12.000 \times g$ durante 15 min, y los virus del sobrenadante se recuperaron mediante ultracentrifugación a $229.600 \times g$ durante 1 hora, a $4^\circ C$ y finalmente fluido en 1 ml de PBS (Phosphate-Buffered saline) [7].

Para el Método B, se ajustan 35 ml de agua influyente a pH 6,0 y precipitado de Al (OH) 3 Hidroxido de Aluminio que se forma al añadir 1 parte Solución de AlCl3 Cloruro de Aluminio 0,9 N en 100 partes de muestra. El pH se reajusta a 6,0, y la muestra se mezcla lentamente durante 15 min a temperatura ambiente. Luego, los virus se recolectan por centrifugación a $1700 \times g$ durante 20 min. El sedimento se resuspende en 1,75 ml de extracto de carne de vacuno al 3%, pH 7,4, y las muestras se agitan durante 10 min a 150 rpm. El concentrado se recupera por centrifugación a $1900 \times g$ durante 30 min y el sedimento se resuspende en 1 ml de PBS (Phosphate-Buffered saline) [8].

El ensayo de RT-PCR positivo para el SARS-CoV-2 se define como el período desde la fecha de inicio hasta la fecha del último resultado positivo de la prueba de RT-PCR. El ensayo de RT-PCR de SARS-CoV-2 negativo efectivo se define como el período desde la fecha de inicio hasta la fecha del primer resultado negativo [9]. Desde el 14 de enero de 2020, los protocolos para RT-PCR de 2019-nCoV se están publicando en el sitio web de la OMS [10].

2.2 Muestras en aguas residuales sin tratar.

En China durante el brote de SARS en 2003, se detectó ARN del SARS-CoV en el 100% de las muestras de aguas residuales no tratadas y en el 30% en aguas desinfectadas y tratadas de un hospital en Beijing, por tanto, se creía que las aguas residuales eran en parte, responsables de un brote previo de SARS por medio de un sistema de alcantarillado combinado defectuoso.[11] Durante la nueva pandemia se ha desarrollado nuevamente la inquietud sobre la presencia del material de ARN del COVID-19, por este motivo se han generado informes iniciales de detección del COVID-19 en diferentes países como Australia, Países Bajos, EE. UU. y Francia.

Para empezar, en Australia se recolectaron muestras de aguas residuales no tratadas de una estación de bombeo suburbana y dos EDAR del sureste de Queensland (SEQ) en la ciudad de Brisbane. [12] En este país usaron el método de la RT-PCR por extracción directa de ARN y ultrafiltración. Entre las nueve muestras de aguas residuales analizadas, dos (22.2%) muestras recolectadas de la PTAR B en dos eventos de muestreo separados (27/03/20 y 01/04/20) dieron positivo para SARS-CoV-2. Las muestras de aguas residuales de la PS y la PTAR A fueron negativas para el SARS-CoV-2. La concentración máxima de copias/L fue de $1,2 \times 10^2$. [12]

En Ámsterdam en Países bajos, para determinar si el SARS-CoV-2 está presente en las aguas residuales durante el COVID-19, se analizaron muestras de aguas residuales de 7 ciudades y el aeropuerto, mediante RT-qPCR método de concentración del virus ultrafiltración. No se detectó SARS-CoV-2 en muestras del 6 de febrero, tres semanas antes de que se informara el primer caso en los Países Bajos el 27 de febrero. El 5 de marzo, se detectó el fragmento N1 en las aguas residuales de cinco sitios. El 15/16 de marzo, se detectó el fragmento N1 en las aguas residuales de seis sitios, y el fragmento N3 y E se detectaron en 5 y 4 sitios respectivamente. La tasa positiva fue del 58% y no se tienen datos de la concentración máxima. Este es el primer informe de detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales. [13]

En Massachusetts EE. UU., recolectaron muestras de una importante instalación de tratamiento de aguas residuales urbanas y encontraron la presencia de SARS-CoV-2 durante el período del 18 al 25 de marzo usando RT-qPCR Precipitación de PEG (Polietilenglicol). Las muestras fueron transportadas al laboratorio donde les realizaron inactivación viral y enriquecimiento, extracción de ácido nucleico y RT-qPCR. Como controles negativos, utilizaron muestras de aguas residuales biobancadas de la misma instalación de tratamiento tomadas antes de que se documentara el primer caso en EE. UU. Los títulos virales observados fueron significativamente más altos de lo esperado según los casos clínicamente confirmados en Massachusetts al 25 de marzo. La tasa positiva fue del 100% y la concentración máxima de copias/L fue de $>3 \times 10^4$. [14]

En Francia, tomaron muestras en la entrada de tres importantes plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que manejan más de 75000 metros cúbicos por día desde el 5 de marzo al 23 de abril de 2020. Todas las muestras procesadas dieron positivo para la presencia de genomas del SARS-CoV-2 evaluado por RT-qPCR ultracentrifugación y todas las muestras positivas fueron confirmadas. La tasa positiva fue del 100% y la concentración máxima de copias/L fue de $>10^6,5$. [15]

Por otro lado, en la India, donde el número de casos fue bastante elevado, se recolectaron muestras de aguas residuales los días 8 y 27 de mayo de 2020, estos estudios detectaron la

presencia de ARN viral en todas las muestras de influentes con la concentración máxima del virus de 8.05×10^2 copias / L y con una tasa positiva del 100%. [16]

Un caso similar al anterior ocurrió en Emiratos Árabe,[17] este estudio informa sobre la carga viral del SARS-CoV-2 en los afluentes de aguas residuales y los efluentes tratados de 11 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), así como las aguas residuales no tratadas de 38 ubicaciones distintas, en los Emiratos Árabes Unidos (EAU) en mayo y junio de 2020. Los resultados mostraron que la carga viral en los afluentes de aguas residuales osciló entre $7.50 \times 10^2 + 02$ y más de $3.40 \times 10^4 + 04$ copias de genes virales / L, y algunas plantas no tenían ARN viral detectable por RT-qPCR con un 85% de tasa positiva; además destaca que ninguna de las 11 EDAR dio positivo durante todo el período de muestreo.

Los estudios descritos anteriormente informaron sobre la detección de ARN del SARS-CoV-2 en aguas residuales no tratadas con concentraciones superiores hasta $10^{6,5}$ copias por litro, a continuación, se resumen en la Tabla 1.

Tabla1. Datos recolectados de la detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales.

Lugar de muestreo		Métodos de concentración del virus	Resultados de la detección	
País	Ciudad		Tasa positiva	Concentración máxima de copias / L
Australia	Brisbane	Ultrafiltración	2/9 (22%)	$1,2 \times 10^2$
Países Bajos	Ámsterdam	Ultrafiltración	14/24 (58%)	Sin datos
EE. UU.	Massachusetts	Ultrafiltración	7/7 (100%)	$> 3 \times 10^4$
Francia	Paris	Extracción directa	23/23 (100%)	$> 10^{6,5}$
India	Ahmedabad	Extracción directa	2/2 (100%)	8.05×10^2
EAU	-	Ultrafiltración	28/36 (78%)	$7.50 \times 10^2 - 3.40 \times 10^4$

[16] Señala que, muchas investigaciones recientes han establecido la presencia de SARS-CoV-2 en aguas residuales. El SARS-CoV-2, que se origina a partir de las excretas de pacientes sintomáticos y asintomáticos, se transporta a la EDAR. Se considera que las aguas residuales liberadas de los centros de cuarentena, hospitales u hogares con pacientes con COVID-19 desempeñan un papel potencial en la propagación de la infección.

Del mismo modo [18] en los resultados de sus trabajos concluyen que las heces llegan al sistema de alcantarillado separado y sufren una gran dilución. Las aguas residuales crudas contienen materia orgánica, partículas sólidas, micro contaminantes y muchos patógenos, especialmente entéricos. Los virus contenidos en las heces pueden sufrir varias transformaciones a lo largo de la red de alcantarillado separado y posiblemente una reducción de su número y viabilidad, como efecto de la deposición de sólidos, la disminución del pH, la temperatura y otros factores.

2.3 Eliminación del SARS-CoV-2 en plantas de tratamiento de aguas residuales.

El estudio realizado por [19] afirma que los efluentes tratados de las plantas de tratamiento de aguas residuales generalmente se descargan en cuerpos de agua receptores o se reutilizan para fines como riego y recreación. Antes de utilizar agua regenerada, es de suma importancia evitar la diseminación del virus en los medios ambientales. En los resultados de su trabajo menciona que, para la reutilización potable indirecta, se necesitaría una reducción de $12 \log_{10}$ en la concentración de virus, mientras que una eliminación adicional de $2-3 \log_{10}$ sería necesario para el uso portátil y no portátil de agua reciclada. En tales circunstancias, este elemento se ocupa de

la evaluación de la eficacia de diversas técnicas físicas, químicas y biológicas y operaciones unitarias comúnmente empleadas en las diferentes etapas del tratamiento, a saber, etapas primarias, secundarias y terciarias en las PTAR para la eliminación del SARS-CoV-2 y para producir agua segura para su reutilización y reciclaje. A continuación, una revisión a las etapas de las plantas de tratamiento de aguas residuales según [20], en donde afirma que la etapa de tratamiento primario consiste en operaciones unitarias físicas como cribado, cámara de arena y sedimentación primaria para la remoción de esencialmente los sólidos en suspensión presentes en el agua. La etapa de tratamiento primario comprende procesos de tratamiento biológico para la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión a través de barreras físicas. De acuerdo con [21], en esta etapa se emplea el proceso de sedimentación gravitacional gobernado por la velocidad de sedimentación para lograr la remoción de los sólidos en suspensión. La adsorción de partículas virales en los sólidos en suspensión, acompañada de sedimentación gravitacional se considera el mecanismo principal para la eliminación del virus. [21] En consecuencia, las partículas en suspensión con un diámetro mayor resultante ayudan a la eliminación del virus con el aumento de la velocidad de sedimentación de dichas partículas en suspensión y han demostrado una eliminación eficaz de los virus entéricos mediante el proceso de sedimentación. [22] Mostró la presencia del ARN del SARS-CoV-2 en el 25% de las muestras de efluentes utilizando un decantador primario. Sin embargo, no se obtienen investigaciones concretas o son muy escasas para poder determinar la eficacia del tratamiento primario que implica procesos físicos en las EDAR. Los resultados presentados en el trabajo de [49] tienen varias consecuencias significativas para el monitoreo de aguas residuales y su operación en la prevención de la propagación de COVID-19, primero considero tomar muestras de grandes volúmenes del efluente primario y aplicar una concentración previa al establecer sistemas de monitoreo de alerta temprana en las plantas de tratamiento de aguas residuales y segundo observo que debido a la alta variabilidad de los biosólidos en las aguas residuales, las evaluaciones de riesgos para la salud pública pueden beneficiarse del análisis tanto de las aguas residuales sin tratar como del efluente primario.

La etapa del tratamiento secundario, involucran procesos biológicos a través de los cuales la materia orgánica biodegradable y los sólidos suspendidos se eliminan de las aguas residuales. Las técnicas biológicas como el proceso de lodos activados (ASP), el biorreactor de membrana (MBR), el reactor de biofilm de lecho móvil (MBBR), el reactor de secuenciación por lotes (SBR), los estanques de tratamiento, etc., se emplean generalmente como parte de la etapa de tratamiento secundario en las EDAR de acuerdo con [20]. Además, informaron de alrededor del 91% de eliminación de enterovirus mediante la técnica ASP y asegura que la adsorción de virus en la biomasa orgánica y la eliminación por asentamiento en el clarificador secundario se ha atribuido como un mecanismo principal para la eliminación de virus en el ASP. Se han sugerido enfoques de tratamiento que maximizan la retención y eliminación de sólidos (por ejemplo, biorreactores de membrana) como un medio particularmente eficaz para eliminar las cargas virales de las aguas residuales [23]. De acuerdo con los datos sobre la supervivencia de virus envueltos durante el tratamiento de lodos son cortos e inexistentes para el SARS-CoV [24]. Basado en el destino de los virus no envueltos, el tratamiento de lodos por digestión termofílica, adición de cal, secado y compostaje es muy prometedor para la inactivación del SARS-CoVs. Sin embargo, el control de aerosoles debe aplicarse durante la fertilización con lodos en entornos agrícolas [25]. La inactivación o eliminación de los SARS-CoV durante el tratamiento primario y secundario no se ha estudiado en detalle. Se ha detectado ARN del SARS-CoV-2 en aguas residuales tratadas con una eliminación de virus de solo 2 logaritmos en comparación con las aguas residuales sin tratar [15], pero la investigación reciente de [26] observó la eliminación completa después del tratamiento secundario; sin embargo, estos resultados diversos simplemente muestran que, al igual que otros virus, no se garantiza una inactivación suficiente del SARS-CoV-2 [27].

Algunos países, aplican una tercera etapa de tratamiento en las EDAR que implica procesos fisicoquímicos para reducir aún más los orgánicos residuales, la turbidez, los nutrientes y los

patógenos microbianos, además puede incluir filtración de arena, recarga de acuíferos gestionada, radiación ultravioleta, procesos avanzados de oxidación (AOP) y / o tecnologías de membranas para asegurar una mejor eliminación de patógenos microbianos. [48] La luz ultravioleta (UV) puede inactivar los coronavirus, pero la practicidad de la luz ultravioleta como control de ingeniería en espacios públicos está limitada por la naturaleza peligrosa de las lámparas UV convencionales, que se basan en mercurio (Hg) y además, se sabe que la irradiación UV a 254 nm es eficaz contra el SARS-CoV-1 a través de reacciones con el genoma viral [25,28]. Sin embargo, la dosis requerida (en función de la irradiación y el tiempo) depende en gran medida de muchos factores relacionados con el virus y los medios (es decir, la concentración de materia orgánica) y varía ampliamente [28].`

Lo cual es reafirmado por [29] que la filtración por membrana de baja presión, que incluye microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF), es una tecnología avanzada utilizada en el tratamiento de aguas residuales con potencial para proporcionar una barrera completa a la diseminación del SARS-CoV-2. Además, la estructura modular de los sistemas de membranas podría facilitar la mejora de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes para reducir las concentraciones de efluentes de SARS-CoV-2. La eliminación de viriones por estas membranas porosas es factible, aunque depende en gran medida de la distribución del tamaño de los poros, dado que, la comparación entre el tamaño de los poros de la membrana que es de 0.2 μm y el SARS-CoV-2 entre 20~ 100 nm lo que indica que deberá eliminarse a través de UF.

Por otro lado, El estudio realizado por [30] evaluó la eliminación de virus entéricos humanos (adenovirus tipo 40, coxsackievirus B5 y virus de la hepatitis A) mediante coagulación-filtración con arena, mostrando una reducción de 1 a 3 \log_{10} . Aparte de la eliminación de contaminantes y contaminantes emergentes como ciprofloxacina, oxitetraciclina, dodecilsulfato de sodio [31,32,33,34].

2.4 Estudios del efecto del cloro sobre el Sars-CoV-2

El SARS-CoV-2 tiene similitudes con el SARS-CoV-1, por lo tanto, durante una emergencia sanitaria COVID-19 las tecnologías de desinfección utilizadas en el tratamiento de aguas residuales podrían usarse para combatirlo. Wang et al. [11] fue quien analizó la desinfección de SARS-CoV-1 en aguas residuales a partir del cloro y dióxido de cloro. La concentración de cloro de 10 mg/L fue capaz de inactivar el SARS-CoV-1 en un 100% en 10 min, y se obtuvo un cloro residual de 0,4 mg/L. En las mismas condiciones, las tasas de inactivación de *Escherichia Coli* (*E. Coli*) y bacteriófago ϕ_2 fueron 14,29 y 18,32%, respectivamente. La concentración de dióxido de cloro de 40 mg/L dio como resultado una inactivación del 100% del SARS-CoV-1 en 5 min, y el cloro residual libre se midió como 17,59 mg/L. Aunque la misma dosis de dióxido de cloro inactivó *E. Coli* en -100%, solo se encontró una tasa de inactivación del 23,46% para el bacteriófago ϕ_2 . Cuando se desinfecta una fosa séptica, mediante la aplicación de una dosis superior a 6,5 mg / L y un tiempo de contacto de al menos 1,5 h. la eficacia de la desinfección con cloro está garantizada [35]. El virus contenido en las aguas residuales puede llegar a otros cuerpos de agua (superficiales, marinos, subterráneos), generando aerosoles, por ejemplo, las aguas residuales de los hospitales pueden contener el virus epidémico, que requiere una desinfección eficiente antes de verterse en aguas naturales [35, 36]. Entonces, [37] afirma que, para la OMS a nivel hospitalario, los procedimientos de limpieza y desinfección ambiental deben seguirse de manera consistente y correcta, realizar una limpieza a fondo de las superficies ambientales con agua, detergente y la aplicación de desinfectantes de uso común como el NaClO son procedimientos efectivos y suficientes. Es adecuado el hipoclorito al 5% en una dilución de 1:100.

[38] Supone que los 54 residuos de tirosina, 12 triptófano y 40 cisteína residuos que contiene el SARS-CoV-2 pueden reaccionar con el ClO_2 en una solución acuosa, lo que automáticamente podría producir la inactivación del virus. Según la OMS, la presencia de cloro residual de 0,5

mg/L, medido en los puntos finales del sistema de distribución de agua, debe garantizarse en todos los sistemas de agua. Los virus CoV envueltos en lípidos suelen ser más sensibles a desinfectantes como el cloro, la cloramina y el dióxido de cloro. Por ejemplo, se descubrió que el virus más relacionado con el SARS-CoV-2, que es el SARS-CoV, es muy sensible a la desinfección con cloro y dióxido de cloro [39].

Según [40] Un aerosol de peróxido de hidrógeno para la descontaminación de superficies en hospitales fue probado con éxito, observaron que un 1,4% de solución de peróxido de hidrógeno (IHP) en aerosol desinfectante podría ser muy eficaz contra *Staphilococcus aureus* y cepas de enterococos resistentes a la vancomicina. En una revisión muy reciente de enero de 2020, los investigadores encontraron que el análisis de 22 estudios revela que humanos con el síndrome respiratorio agudo severo (SARS) coronavirus, coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS) o coronavirus humanos endémicos (HCoV), podrían inactivarse en un 0,5% de solución de peróxido de hidrógeno. El coronavirus puede persistir en estado inanimado en superficies como el metal, vidrio o plástico por hasta 9 días. La desinfección con procedimientos con etanol al 62-71%, hipoclorito de sodio al 0,1% o HI al 0,5% podría ser eficaz para prevenir la propagación [41]. En este marco, China [42] ratifica que para evitar que el SARS-CoV 2 se propague a través de las aguas residuales, solicita fortalecer sus procesos de desinfección para las plantas de tratamiento de aguas residuales mediante un mayor uso de cloro.

El estudio de los procesos de tratamiento de aguas residuales que se tienen operando hoy en día, así como los métodos de tratamiento para eliminar el SARS-CoV-2, requieren una atención especial [43]. Se sugiere que los biorreactores de membrana funcionen eficazmente al filtrar los coronavirus adheridos a los sólidos en suspensión [44]. También debe evaluarse el uso de procesos avanzados de oxidación basados en rayos ultravioleta para la desinfección de aguas residuales que contienen SARS-CoV-2 [44]. Han informado de la tasa de inactivación del SARS-CoV usando cloro y dióxido de cloro [11], siendo que el uso de cloro es la mejor solución económica en cuanto a las opciones de desinfectante para la inactivación del coronavirus en agua [11]. Es necesario examinar el rendimiento de otras tecnologías de desinfección comúnmente utilizadas por las EDAR (hipoclorito de sodio, radiación ultravioleta y ozono). Se necesita un estudio que considere la dosis de desinfectante y el tiempo de contacto requerido con concentraciones variables de virus en las aguas residuales. La medición del cloro residual después del proceso de desinfección reviste la misma importancia, puesto que las aguas residuales tratadas acabarán en ríos y lagos, y pueden suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos [45].

De acuerdo con [46] el tipo y la cantidad de desinfectante a base de cloro utilizado influirá en la eficacia de la desinfección. Otros parámetros que influyen en la eficacia de la desinfección incluyen: (1) la resistencia del microorganismo objeto de desinfección; (2) la naturaleza del fómite para desinfectar, por ejemplo, superficies porosas o no porosas, y presencia de materia orgánica; (3) características del desinfectante probado, tales como ingredientes, modo de acción y concentración; y (4) el protocolo de desinfección, dado que la limpieza previa, el modo de aplicación del desinfectante y el tiempo de exposición pueden influir en la eficacia. La medición del cloro residual después del proceso de desinfección reviste la misma importancia, debido a que las aguas residuales tratadas acabarán en ríos y lagos, y pueden suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos [47].

2.5 Otras peculiaridades

El SARS-CoV-2 pertenece a la familia de los coronavirus justamente como el SARS-CoV. Después de la epidemia de SARS de 2003-2004, se realizaron algunas pruebas para evaluar la supervivencia del virus en entornos hostiles. [11] Investigaron el tiempo de inactivación en aguas residuales urbanas y hospitalarias bajo diferentes condiciones de

temperatura. En ambos casos a bajas temperaturas (4 ° C) el virus mantuvo su vitalidad hasta 14 d, mientras que se inactivó solo después de 2 d a temperaturas más altas (20 ° C). Los coronavirus redujeron la supervivencia a temperaturas superiores a 20 ° C también fue demostrado por [50] quienes observaron una inactivación del 99% de HCoV-229E (23 ° C) después de 2,36 días y 1,85 días en WW urbana después del tratamiento primario y secundario, respectivamente. Para el SARS-CoV-2, [51] que reveló que el virus presente en aguas residuales y el agua del río recolectada en Milán no exhibió efecto citopático. En este caso, solo se examinó un número limitado de muestras en un período muy corto de enfermedad pandémica, por lo que se requiere más investigación.

El análisis [52] sugiere que las interacciones públicas con los ríos y las aguas costeras después de los derrames de aguas residuales deben minimizarse para reducir el riesgo de infección. Se necesitan nuevos volúmenes que integren métodos de detección de virus para garantizar la seguridad de los sistemas de agua. Si bien el riesgo principal asociado con el brote actual de COVID-19 parece ser la transmisión de persona a persona del SARS-CoV-2, este trabajo respalda la plausibilidad de que los nuevos coronavirus también pueden extenderse a nuevos huéspedes de vida silvestre a través de materia fecal infectada que ingresa accidentalmente el medio acuático natural; este potencial reservorio de virus podría permitir un resurgimiento futuro de la población humana.

3. CONCLUSIONES

El agua es el recurso natural más importante para la vida humana y un punto clave para combatir virus o bacterias que pueden llegar a convertirse en una pandemia en centros poblados de todo el mundo como lo ha sido el COVID-19. El acceso a agua de buena calidad deberá ser siempre prioridad, por lo que es necesario implementar acciones inmediatas para asegurar el suministro de agua donde haya o no servicios de agua potable operados de manera segura. Los riesgos para la salud de COVID-19 a través de la transmisión por agua pueden llegar a ser mayores de lo que se asume, por lo que las aguas residuales deben estudiarse más a fondo como una vía potencial para la transmisión de COVID-19. La pandemia actual del SARS-CoV-2 podría presentar un nuevo desafío para la ingeniería civil en el tratamiento de aguas residuales, lo que requerirá una valoración del riesgo que se tiene de su transmisión en las aguas residuales a través de la reutilización.

El método para detectar el SARS-CoV-2 está basado en qPCR y este se ha convertido en una prueba estándar para su detección en muestras de agua concentrada. Sin embargo, todavía se requieren mayores esfuerzos como nuevas investigaciones y pruebas que ayuden a reducir los niveles de inhibición de la PCR, y permita la detección simultánea de diferentes tipos de virus como sea posible. Con más de un año de la aparición de este virus, existen lagunas de conocimiento sobre la supervivencia y el porcentaje de transmisión por medio de las aguas residuales. Esta revisión destaca las investigaciones que han llevado a cabo en los países más importantes sobre la aparición, detección y destino del SARS-CoV-2 en las aguas residuales incluyendo su eliminación en diversas técnicas y operaciones usualmente empleadas en las diferentes etapas del tratamiento en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): primaria, secundaria y terciaria. Sin embargo, ninguna de estas podría establecerse, dado que la información es escasa y no determina la eliminación del virus en ninguna de estas etapas. Aunque es difícil determinar el valor de reducción de \log_{10} de SARS-CoV-2, se encontró que la carga viral en las heces de las personas que dieron positivo son muy variables dentro del rango 10^4 a 10^8 copias/L dependiendo del curso de la infección y esta carga viral disminuye cuantiosamente con las heces que se diluyen en las aguas residuales con una concentración dentro del rango 10^2 a $10^{6.5}$ copias/L. Las mismas pruebas que se realizan para detectar el SARS-CoV-2 en los pacientes por medio de sus fosas nasales se utilizaron para detectar el virus en las aguas residuales, lo que deduce un alto riesgo de confiabilidad en sus resultados.

Los factores que podrían influir en la persistencia del SARS-CoV en las aguas residuales incluyen el pH, la temperatura, la materia orgánica y los sólidos en suspensión. Se puede deducir de la literatura científica que el asentamiento gravitacional parece ser insuficiente para la eliminación completa de virus de las aguas residuales en la etapa de tratamiento primario de una EDAR. Por otro lado, la aplicación de Lodos Activados (ASP) muestra que la absorción de virus en la biomasa orgánica y en la eliminación por asentamiento en el clarificador secundario se ha atribuido como un mecanismo principal para la eliminación, lo que podría ayudar a eliminar el virus. Sin embargo, la técnica ASP es susceptible a muchas incertidumbres, dado que, hay investigaciones que lo defienden y otras no.

Según esta investigación, el tratamiento terciario añade una barrera adicional, y la desinfección de efluentes secundarios o terciarios con cloro proporciona una medida de control efectiva adicional. Sin embargo, para asegurar su efectividad, es probable que sea crítico satisfacer la demanda de dosis de cloro y monitorear el cloro residual. En general, los resultados de este estudio destacan la necesidad de realizar más investigaciones sobre la presencia de SARS-CoV-2 en el efluente de aguas residuales e instan un enfoque de gestión de aguas residuales más cauteloso en estos tiempos de pandemia. Otro resultado plantea que la microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF), es una tecnología de vanguardia utilizada en el tratamiento de aguas residuales con potencial para proporcionar una barrera del SARS-CoV-2. Estas técnicas de tratamiento generalmente con dosis más altas pueden llegar a ser más efectivas para la inactivación del SARS-CoV-2 en las EDAR. No obstante, El riesgo de propagación del SARS-CoV-2 a través del contacto directo del efluente tratado al momento de su eliminación o reutilización no puede pasarse por alto y se deberá evaluar el alcance de la infectividad viral. Un punto importante para tener en cuenta es que los coronavirus pueden permanecer infecciosos en superficies inertes hasta por 9 días. La desinfección de superficies con hipoclorito de sodio al 0,1% o etanol al 62-71% reduce elocuentemente su infectividad dentro de un tiempo de exposición de 1 min; sin embargo, se debe tener en cuenta las máximas cantidades a utilizar porque una de las desventajas del cloro podría ser la corrosión y esto podría desencadenar un daño en las PTAR y en las redes de distribución.

En general, este documento acentúa la necesidad que se tiene sobre la detección del SARS-CoV-2 en las aguas residuales para obtener un mejor monitoreo, evaluación de riesgos y definir nuevas estrategias que puedan ser implementadas en las PTAR. Lo que se sugiere profundizar en los siguientes datos:

- (1) Cantidad del virus en las aguas residuales sin tratar y tratadas;
- (2) Indagación sobre eficiencias de eliminación a través del tren de tratamiento de aguas residuales;
- (3) Requerimientos de desinfección de acuerdo con la carga viral y transmisión a través de una PTAR para asegurar la eliminación completa del SARS-CoV-2.

Los estudios presentados proceden de países desarrollados, por lo tanto, es imperativo un conocimiento urgente, sólido y profundo de la aparición y persistencia real del virus en las aguas residuales de Colombia, que permita predecir el comportamiento del SARS-CoV-2 en las diferentes fases de la EDAR, y que además ayude a identificar los posibles riesgos de exposición de los trabajadores. Asimismo, la posibilidad de rastrear con exactitud la vitalidad del virus desde las alcantarillas hasta las EDAR ayudaría a optimizar las condiciones del proceso establecido y a seleccionar tecnologías apropiadas.

AGRADECIMIENTOS

En el caso del autor Saieth Baudilio Chaves Pabón, se menciona que es producto de su trabajo académico como profesor de la Universidad Militar Nueva Granada. Adicionalmente, los

autores dan crédito a la Universidad Militar Nueva Granada por el apoyo recibido en el desarrollo de esta investigación y en la realización de este documento científico.

REFERENCIAS

- [1] K. Azuma, U. Yanagi, N. Kagi, H. Kim, M. Ogata, M. Hayashi Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control *Environ Health Prev Med*, 25 (1) (2020), <https://environhealthprevmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12199-020-00904-2>
- [2] Wölfel, R., Corman, V.M., Guggemos, W. et al. Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. *Nature* 581, 465–469 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x>
- [3] Xu, Y., Li, X., Zhu, B. et al. Characteristics of pediatric SARS-CoV-2 infection and potential evidence for persistent fecal viral shedding. *Nat Med* 26, 502–505 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0817-4>
- [4] J. Zhang, S. Wang, Y. Xue Fecal specimen diagnosis 2019 novel coronavirus-infected pneumonia *J. Med. Virol.*, 92 (2020), pp. 680-682, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jmv.25742>
- [5] Samantha J. Mascuch, Sara Fakhretaha-Aval, Jessica C. Bowman, Minh Thu H. Ma, Gwendell Thomas, Bettina Bommarius, Chieri Ito, Liangjun Zhao, Gary P. Newnam, Kavita R. Matange, Hem R. Thapa, Brett Barlow, Rebecca K. Donegan, Nguyet A. Nguyen, Emily G. Saccuzzo, Chiamaka T. Obianyor, Suneesh C. Karunakaran, Pamela Pollet, Brooke Rothschild-Mancinelli, Santi Mestre-Fos, Rebecca Guth-Metzler, Anton V. Bryksin, Anton S. Petrov, Mallory Hazell, Carolyn B. Ibberson, Petar I. Penev, Robert G. Mannino, Wilbur A. Lam, Andrés J. Garcia, Julia Kubanek, Vinayak Agarwal, Nicholas V. Hud, Jennifer B. Glass, Loren Dean Williams, Raquel L. Lieberman, A blueprint for academic laboratories to produce SARS-CoV-2 quantitative RT-PCR test kits, *Journal of Biological Chemistry*, Volume 295, Issue 46, 2020, Pages 15438-15453, ISSN 0021-9258, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021925817503798>
- [6] Eiji Haramoto, Masaaki Kitajima, Akihiko Hata, Jason R. Torrey, Yoshifumi Masago, Daisuke Sano, Hiroyuki Katayama, A review on recent progress in the detection methods and prevalence of human enteric viruses in water, *Water Research*, Volume 135, 2018, Pages 168-186, ISSN 0043-1354, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418301039>.
- [7] Rodríguez-Díaz, J., Querales, L., Caraballo, L., Vizzi, E., Liprandi, F., Takif, H., et al. (2009). Detection and characterization of waterborne gastroenteritis viruses in urban sewage and sewagepolluted river waters in Caracas, Venezuela. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(2), 387–394. <https://aem.asm.org/content/75/2/387.full>
- [8] Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. (2011). In 9510 detection of enteric viruses: American Public Health Association. <https://www.standardmethods.org/doi/full/10.2105/SMWW.2882.202>
- [9] World Health Organization. Laboratory testing for coronavirus disease (COVID-19) in suspected human cases: interim guidance. WHO/COVID-19/laboratory/2020.5. Geneva: WHO; 2020. Available from: <https://www.who.int/publications-detail/laboratory-testing-for-2019-novel-coronavirus-in-suspectedhuman-cases-20200117>
- [10] Ai Tang Xiao, Yi Xin Tong, Chun Gao, Li Zhu, Yu Jie Zhang, Sheng Zhang, Dynamic profile of RT-PCR findings from 301 COVID-19 patients in Wuhan, China: A descriptive study, *Journal of Clinical Virology*, Volume 127, 2020, 104346, ISSN 1386-6532, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386653220300883>

- [11] X.W. Wang, J. Li, T. Guo, B. Zhen, Q. Kong, B. Yi, Z. Li, N. Song, M. Jin, W. Xiao, X. Zhu, C. Gu, J. Yin, W. Wei, W. Yao, C. Liu, J. Li, G. Ou, M. Wang, T. Fang, G. Wang, Y. Qiu, H. Wu, F. Chao, J. Li “Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan hospital and the 309th Hospital of the Chinese People’s liberation Army” *Water Sci. Technol.*, 52 (2005), pp. 213-221, <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0266>
- [12] Warish Ahmed, Nicola Angel, Janette Edson, Kyle Bibby, Aaron Bivins, Jake W. O'Brien, Phil M. Choi, Masaaki Kitajima, Stuart L. Simpson, Jiaying Li, Ben Tschärke, Rory Verhagen, Wendy J.M. Smith, Julian Zaugg, Leanne Dierens, Philip Hugenholtz, Kevin V. Thomas, Jochen F. Mueller, “First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community”, *Science of The Total Environment*, Volume 728, 2020, 138764, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- [13] Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., & Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. *MedRxiv*, <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.29.20045880v1.full-text>
- [14] FQ Wu, A Xiao, JB Zhang, XQ Gu, WL Lee, K Kauffman, WP Hanage, M Matus, N Gh aeli, N Endo, C Duvallet, K Moniz, TB Erickson, PR Chai, J Thompson, EJ Alm “SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases” <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20051540v1>
- [15] S Wurtzer, V Marechal, JM Mouchel, Y Maday, R Teyssou, E Richard, JL Almayrac, L Moulin Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>
- [16] Manish Kumar, Arbind Kumar Patel, Anil V. Shah, Janvi Raval, Neha Rajpara, Madhvi Joshi, Chaitanya G. Joshi, First proof of the capability of wastewater surveillance for COVID-19 in India through detection of genetic material of SARS-CoV-2, *Science of The Total Environment*, Volume 746, 2020, 141326, ISSN 0048-9697, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348555>
- [17] Shadi W. Hasan, Yazan Ibrahim, Marianne Daou, Hussein Kannout, Nila Jan, Alvaro Lopes, Habiba Alsafar, Ahmed F. Yousef, Detection and quantification of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and treated effluents: Surveillance of COVID-19 epidemic in the United Arab Emirates, *Science of The Total Environment*, 2020, 142929, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142929>.
- [18] Paola Foladori, Francesca Cutrupi, Nicola Segata, Serena Manara, Federica Pinto, Francesca Malpei, Laura Bruni, Giuseppina La Rosa, SARS-CoV-2 from faeces to wastewater treatment: What do we know? A review, *Science of The Total Environment*, Volume 743, 2020, 140444, ISSN 0048-9697, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720339668>
- [19] Ahmed, W., Kitajima, M., Tandukar, S., & Haramoto, E. (2020). Recycled water safety: Current status of traditional and emerging viral indicators. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 16, 62-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584420300180?via%3Dihub>
- [20] Bhavini Saawarn, Subrata Hait, Occurrence, fate and removal of SARS-CoV-2 in wastewater: Current knowledge and future perspectives, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 9, Issue 1, 2021, 104870, ISSN 2213-3437, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343720312197>
- [21] Matthew E. Verbyla, James R. Mihelcic, A review of virus removal in wastewater treatment pond systems, *Water Research*, Volume 71, 2015, Pages 107-124, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.031>.

- [22] G.A. Shin, M.D. Sobsey Removal of norovirus from water by coagulation, flocculation and sedimentation process *Water Sci. Technol. Water Supply*, 15 (2015), pp. 158-163 <https://doi.org/10.2166/ws.2014.100>
- [23] Chaudhry, R. M., Nelson, K. L. & Drewes, J. E. Mechanisms of pathogenic virus removal in a full-scale membrane bioreactor. *Environ. Sci. Technol.* 49, 2815–2822 (2015). <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es505332n>
- [24] Wigginton, K. R., Ye, Y. & Ellenberg, R. M. Emerging investigators series: the source and fate of pandemic viruses in the urban water cycle. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 1, 735–746 (2015). <https://doi.org/10.1039/C5EW00125K>
- [25] Ye, Y., Chang, P. H., Hartert, J. & Wigginton, K. R. Reactivity of enveloped virus genome, proteins, and lipids with free chlorine and UV 254. *Environ. Sci. Technol.* 52, 7698–7708 (2018). <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00824>
- [26] Randazzo, W. et al. SARS-CoV-2 RNA titers in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Res.* 181, 115942 (2020) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420304796>
- [27] Qiu, Y. et al. Assessment of human virus removal during municipal wastewater treatment in Edmonton, Canada. *J. Appl. Microbiol.* 119, 1729–1739 (2015). <https://doi.org/10.1111/jam.12971>
- [28] Derraik, J. G. B., Anderson, W. A., Connelly, E. A. & Anderson, Y. C. Rapid evidence summary on SARS-CoV-2 survivorship and disinfection, and a reusable PPE protocol using a double-hit process. Preprint at medRxiv <https://doi.org/10.1101/2020.04.02.20051409> (2020).
- [29] Bodzek, M., Konieczny, K. & Rajca, M. Membranes in water and wastewater disinfection – review. *Arch. Environ. Prot.* 45, 3–18 (2019). 10.24425/aep.2019.126419
- [30] N. Shirasaki, T. Matsushita, Y. Matsui, K. Murai Evaluation of suitability of a plant virus, pepper mild mottle virus, as a surrogate of human enteric viruses for assessment of the efficacy of coagulation-rapid sand filtration to remove those viruses *Water Res.*, 129 (2018), pp. 460-469, 10.1016/j.watres.2017.11.043
- [31] N.T. Nguyen, T.H. Dao, T.T. Truong, T.M.T. Nguyen, T.D. Pham Adsorption characteristic of ciprofloxacin antibiotic onto synthesized alpha alumina nanoparticles with surface modification by polyanion *J. Mol. Liq.*, 309 (2020), Article 113150, 10.1016/j.molliq.2020.113150
- [32] T.D. Pham, T.T. Tran, V.A. Le, T.T. Pham, T.H. Dao, T.S. Le, Adsorption characteristics of molecular oxytetracycline onto alumina particles: the role of surface modification with an anionic surfactant, 287, (2019), 110900. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110900>
- [33] T.D. Pham, T.T. Pham, M.N. Phan, T.M.V. Ngo, V.D. Dang, C.M. Vu Adsorption characteristics of anionic surfactant onto laterite soil with differently charged surfaces and application for cationic dye removal *J. Mol. Liq.*, 301 (2020), Article 112456, 10.1016/j.molliq.2020.112456
- [34] T.D. Pham, T.N. Vu, H.L. Nguyen, P.H.P. Le, T.S. Hoang Adsorptive removal of antibiotic ciprofloxacin from aqueous solution using protein-modified nanosilica *Polymers*, 12 (1) (2020), p. 57, 10.3390/polym12010057
- [35] J. Wang, J. Shen, D. Ye, X. Yan, Y. Zhang, W. Yang, et al. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China *Environ. Pollut.* (2020), p. 114665 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114665>

- [36] A. Carducci, I. Federigi, F. Liu, J. Thompson, M. Verani Making waves: coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: state of the art and knowledge needs for public health *Water Res.*, 179 (2020), p. 115907 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>
- [37] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, E. Steinmann Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents *J. Hosp. Infect.*, 104 (3) (2020), pp. 246-251 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>
- [38] K. Kály-Kullai, M. Wittmann, Z. Noszticzius, L. Rosivall Can chlorine dioxide prevent the spreading of coronavirus or other viral infections? *Medical hypotheses Phys. Int.*, 107 (1) (2020), pp. 1-11 <https://doi.org/10.1556/2060.2020.00015>
- [39] Fernando García-Ávila, Lorgio Valdiviezo-Gonzales, Manuel Cadme-Galabay, Horacio Gutiérrez-Ortega, Luis Altamirano-Cárdenas, César Zhindón- Arévalo, Lisveth Flores del Pino, Considerations on water quality and the use of chlorine in times of SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic in the community, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, Volume 2, 2020, 100049, ISSN 2666-0164 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016420300475>
- [40] Cadnum JL, Mana TS, Jencson A, Thota P, Kundrapu S, Donskey CJ. Effectiveness of a hydrogen peroxide spray for decontamination of soft surfaces in hospitals. *Am J Infect Control.* 2015 Dec 1;43(12):1357-9. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.07.016>
- [41] Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect.* 2020 Mar;104(3):246-251. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022>
- [42] M. Zambrano-Monserrate, M.A. Ruano, L. Sanchez-Alcalde Indirect effects of COVID-19 on the environment *Sci. Total Environ.* (2020), p. 728, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138813>
- [43] A. Núñez-Delgado. What do we know about the SARS-CoV-2 coronavirus in the environment? *Sci. Total Environ.*, 727 (2020), Article 138647, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/EW/D0EW90015J#!divAbstract>
- [44] V. Naddeo, H. Liu. Editorial Perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond? *Environ Sci. Water Res.*, 6 (2020), pp. 1213-1216, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/EW/D0EW90015J#!divAbstract>
- [45] H. Zhang, W. Tang, Y. Chen, W. Yin. Disinfection threatens aquatic ecosystems. *Science*, 368 (6487) (2020), pp. 146-147, <https://science.sciencemag.org/content/368/6487/146>
- [46] Pubali Mandal, Ashok K. Gupta, Brajesh K. Dubey, A review on presence, survival, disinfection/removal methods of coronavirus in wastewater and progress of wastewater-based epidemiology, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 8, Issue 5, 2020, 104317, ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104317>.
- [47] H Hakim, C Thammakarn , A Suguro , et al. Evaluation of sprayed hypochlorous acid solutions for their virucidal activity against avian influenza virus through in vitro experiments. *J Vet Med Sci* , 77 (2015) , págs. 211 – 215 <https://doi.org/10.1292/jvms.14-0413>
- [48] Robinson, R. T., Mahfooz, N., Rosas-Mejia, O., Liu, Y., & Hull, N. M. (2021). SARS-CoV-2 disinfection in aqueous solution by UV222 from a krypton chlorine excilamp. *medRxiv.* <https://doi.org/10.1101/2021.02.19.21252101>

- [49] Abu-Ali, H., Yaniv, K., Bar-Zeev, E., Chaudhury, S., Shaga, M., Lakkakula, S., ... & Nir, O. (2020). Tracking SARS-CoV-2 RNA through the wastewater treatment process. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.10.14.20212837>
- [50] Gundy, P.M., Gerba, C.P., Pepper, I.L., 2009. Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. Food Environ. Virol. 1, 10. <https://doi.org/10.1007/s12560-008-9001-6>
- [51] Rimoldi, S.G., Stefani, F., Gigantiello, A., Polesello, S., Comandatore, F., Mileto, D., Maresca, M., Longobardi, C., Mancon, A., Romeri, F., Pagani, C., Moja, L., Gismondo, M. R., Salerno, F., 2020. Presence and vitality of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. MedRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.05.01.20086009>
- [52] Jamie Shutler, Krzysztof Zaraska, Tom Holding, Monika Machnik, Kiranmai Uppuluri, Ian Ashton, Łukasz Migdał, Ravinder Dahiya. Risk of SARS-CoV-2 infection from contaminated water systems <https://doi.org/10.1101/2020.06.17.20133504>