

Artículo de revisión

Epidemiología de las aguas residuales: un desafío desde el ámbito ambiental y sanitario

Wastewater epidemiology: an environmental and health challenge

Andrés Salas Mendoza¹* <https://orcid.org/0000-0001-7514-5085>

Bárbara Arroyo Salgado¹ <https://orcid.org/0000-0002-8466-348X>

Lesly Tejeda Benítez¹ <https://orcid.org/0000-0003-3240-917X>

¹Grupo de investigaciones biomédicas, toxicológicas y ambientales (BIOTOXAM). Facultad de Medicina, Universidad de Cartagena, Colombia.

* Autor para la correspondencia: asalasm2@unicartagena.edu.co

RESUMEN

Introducción: El SARS-CoV-2, agente etiológico de la pandemia de COVID-19, es un coronavirus que se transmite a través de las secreciones respiratorias y las gotitas de saliva de las personas infectadas por el virus. Estudios recientes muestran la presencia de ARN en heces, incluso cuando el agente viral ha desaparecido de las muestras respiratorias. Un evento que está ganando mucha atención, si tenemos en cuenta que las aguas residuales albergan una gran variedad de virus patógenos y la comunidad científica trata de descifrar el riesgo potencial que genera la transmisión del SARS-CoV-2 a través de las aguas residuales.

Objetivo: conocer el enfoque de la epidemiología de aguas residuales o epidemiología basada en residuos, utilizada con éxito para la búsqueda y seguimiento de agentes virales clínicamente importantes y su consecuente información, para generar alertas tempranas de brotes en las comunidades.

Metodología: se utilizaron las palabras claves "epidemiología de las aguas residuales", SARS-CoV-2, "COVID-19", "Coronavirus" y las bases de datos: Science direct, Scopus, PubMed, Clinical Key y Medline.

Resultados: Es vital iniciar búsquedas activas de SARS-CoV-2, y sus principales variantes en medios acuáticos, constituyéndose estas matrices, como una esperanza en el control temprano no invasivo de la pandemia.

Conclusiones: El uso de la epidemiología basada en aguas residuales como herramienta para estudiar el comportamiento del SARS-CoV-2 y sus variantes en las poblaciones ayudará a reducir el grado de diseminación de la enfermedad.

Palabras clave: Epidemiología de las aguas residuales; COVID-19; evaluación de riesgos; SARS-CoV-2; Vigilancia, salud pública.

ABSTRACT

Introduction: SARS-CoV-2, the etiological agent of the COVID-19 pandemic, is a coronavirus that is transmitted through respiratory secretions and saliva droplets of people infected with the virus. Recent studies show the presence of RNA in feces, even when the viral agent has disappeared from respiratory samples. An event that is gaining a lot of attention, if we take into account that wastewater harbors a wide variety of pathogenic viruses and the scientific community tries to decipher the potential risk generated by the transmission of SARS-CoV-2 through wastewater.

Objective: Therefore, this review aims to know the approach of wastewater epidemiology or residue-based epidemiology, used successfully for the search and monitoring of clinically important viral agents and their consequent information, to generate early outbreak alerts in communities.

Methodology: For this purpose, the keywords "epidemiology of wastewater", SARS-CoV-2, "COVID-19", "Coronavirus" and the databases: Science direct, Scopus, PubMed, Clinical Key and Medline were used.

Results: It is vital to start active searches for SARS-CoV-2, and its main variants in aquatic environments. Constituting these matrices, as a hope in the non-invasive early control of the pandemic.

Conclusions: The use of wastewater-based epidemiology as a tool to study the behavior of SARS-CoV-2 and its variants in populations will help reduce the degree of dissemination of the disease.

Keywords: Wastewater-based epidemiology; COVID-19; risk assessment; SARS-CoV-2; Surveillance, public health.

Recibido: 17/03/2023

Aceptado: 12/06/2023

Introducción

Desde la aparición de la COVID-19, causada por el SARS-CoV-2, se han suscitado numerosos interrogantes acerca de su transmisión. Un cúmulo de información ha sido derivado al respecto, entendiéndose que el conocimiento preciso debe separarse de las distintas opiniones e interpretarse de acuerdo con las oportunidades hacia dónde debe apuntar la vigilancia actual para la prevención en el futuro sobre nuevas pandemias.

SARS-CoV-2, ha ocasionado millones de muertes en todo el mundo, los primeros casos se presentaron en noviembre del año 2019 en un mercado en la ciudad Wuhan, China, donde se presentó un brote de neumonía de origen desconocido en pacientes de esa ciudad.⁽¹⁾ Ha sido estimado que, a partir del 2020, la pandemia ha cobrado fuerza en distintos países del mundo hasta la

fecha, y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reportado más de 209.201.939 millones de casos en todo el mundo.⁽²⁾

En el contexto de la pandemia, una mirada a los antecedentes históricos ha sido de gran ayuda. En noviembre de 2002, se detectó un brote de neumonía atípica en Foshan, Cantón, China. Un nuevo coronavirus (CoV) se identificó como causante de lo que se denominó síndrome respiratorio agudo grave al que se le nombra CoV-SARS (siglas del inglés coronavirus Severe Acute Respiratory Syndrome). Más tarde en 2012, es identificado otro nuevo coronavirus en Arabia Saudita causante del síndrome respiratorio de oriente medio MERS, (siglas del inglés, Middle East respiratory syndrome). Por último, en 2019 fue identificado en China el SARS-CoV-2, este virus causa una enfermedad respiratoria que se denominó enfermedad por coronavirus de 2019 (COVID-19) causante de la pandemia que surgió a finales de 2019 en China y poco tiempo después se diseminó a otros países del mundo.⁽³⁾

Evidentemente, esto motiva a constantes desafíos para parte de la salud pública y las otras ciencias afines; quienes buscan alternativas y estrategias que permitan contrarrestar las infecciones de este tipo y en especial la producida por SARS-CoV-2. Enfocando sus esfuerzos desde la mitigación, la expansión, diagnóstico oportuno y prevención masiva.

Indudablemente, un punto de partida ocurre a través de la identificación precisa del agente en diferentes matrices, tales como: aerosoles respiratorios, heces y orina, tanto de pacientes sintomáticos como asintomáticos.^(4, 5, 6, 7, 8,9)

Existe información relevante acerca de la determinación viral en heces de pacientes infectados con SARS-CoV-2, los cuales permanecen positivas mucho más tiempo que las muestras de origen respiratorio.^(5, 6, 7)

Lo anterior, revela datos de importancia a nivel epidemiológico, los cuales precisan la búsqueda del agente de la COVID-19, en otras matrices de interés, como es el caso de las aguas residuales; llamando la atención a la hipótesis revelada acerca de la posible propagación del SARS-CoV-2 a través de las aguas residuales; y, por consiguiente, generando un interés hacia la temprana

vigilancia en salud pública.⁽¹⁰⁾ La controversia en cuestión está ganando atención mundial, haciéndose necesario abordarla desde diferentes aspectos.

El comportamiento del virus en las aguas residuales y su posible potencial de transmisión sería muy valioso en el futuro. Existen reportes acerca de la presencia del virus en sistemas de plomería y alcantarillado, procedente de la excreción de heces y orina de individuos enfermos.⁽¹¹⁾ Poniendo de manifiesto, que la supervivencia viral en heces alcanza unos 22 días, hecho que ha sido corroborado en distintos países del mundo.^(12,13,14,15)

Este manuscrito de revisión pretende ampliar los conocimientos acerca de la determinación y supervivencia del SARS-CoV-2 en diferentes matrices y en especial en las aguas residuales, con el propósito de brindar información acerca del papel que ejerce la epidemiología de las aguas residuales o la epidemiología basada en los residuos relacionada con la salud pública, como punto de partida para la búsqueda activa temprana de agentes patógenos de origen infeccioso en las poblaciones.

Métodos

Para abordar la problemática, de la presencia de este nuevo agente viral en las aguas residuales, es imperativo revisar algunos aspectos generales de la COVID-19 y el SARS-COV-2, se hizo una revisión de las bases de datos: Science direct, Scopus, PubMed, Clinical Key y Medline utilizando los descriptores: "Epidemiología de las aguas residuales; COVID-19; evaluación de riesgos; SARS-CoV-2; Vigilancia, salud pública".

Aspectos generales de la COVID-19 y el sars-CoV-2

El agente etiológico causante de la COVID-19, es el SARS-CoV-2, familia *Coronaviridae*, envuelto, cuyo diámetro es de 60 a 140 nm, y posee un ARN

segmentado de polaridad positiva.⁽¹⁶⁾ Taxonómicamente se clasifican en cuatro géneros *Alfacoronavirus*, *Betacoronavirus*, *Deltacoronavirus* y *Gamacoronavirus*; los dos primeros géneros asociados a infecciones respiratorias en humanos.⁽¹⁶⁾

Estructura

El SARS-CoV-2 presenta una morfología en forma de corona gracias a las espigas (proyecciones o espículas) o "Spikes" que posee en su membrana, está provisto de nucleocápside y múltiples proteínas denominadas S, M, N y E.⁽¹⁷⁾ La Proteína S, encargada de formar las espículas en la envoltura del virus cuya función principal es facilitar la unión viral. La M, quien facilita el ensamblaje del virión, mientras que la N permite unirse al genoma viral para formar la nucleocápside y una posible asociación con la proteína M durante la replicación, y la E, cuya función es desconocida aun, pero participa en el ensamblaje del virus:⁽¹⁷⁾

Aspectos patogénicos

Algunos aspectos patogénicos de la COVID -19, han sido dilucidados tales como el período de incubación entre 3 y 14 días, fiebre, fatiga y tos seca incluidas como manifestaciones clínicas iniciales en pacientes infectados; además la aparición de manifestaciones gastrointestinales.⁽¹⁸⁾

En cuanto al modo de transmisión entre humanos está estrictamente relacionado por la exposición a secreciones y gotitas de saliva infectadas con el virus al estar en contacto con personas portadoras, sintomáticas y asintomáticas.⁽¹⁹⁾ Sin embargo, otras vías han sido discutidas, tales como fómites, permanencia en diversas superficies, como vidrio y billetes hasta por cuatro días y su viabilidad en mascarillas faciales hasta por 7 días.⁽²⁰⁾

Recientemente, la transmisión fecal-oral, ha sido informada y el ARN viral se ha detectado en muestras fecales de pacientes infectados.⁽²¹⁾ Ahora bien, acerca de estas observaciones, ha sido posible determinar la presencia del

SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales asociadas a materia fecal de personas sintomáticas y asintomáticas. Por lo anterior, ésta premisa, promueve la búsqueda y confirmación utilizando el enfoque de la epidemiología de las aguas residuales o de la epidemiología basada en los residuos, para determinar alertas tempranas útiles de brotes en determinadas poblaciones.⁽²²⁾

Patógenos en aguas

Es bien sabido que existen patógenos virales en ambientes acuáticos; y las aguas residuales albergan una gran variedad de virus patógenos tales como virus entéricos humanos: Norovirus, enterovirus, adenovirus, rotavirus, virus de la hepatitis A y E.⁽²³⁾ Éstos son transmitidos por la vía fecal-oral, alcanzan las aguas residuales y son detectados en el medio acuático e incluso, algunos coronavirus, han sido detectados. Interesantemente, la suma de los cambios temporales en las concentraciones virales en las aguas residuales, pueden indicar la presencia o ausencia de agentes virales, brotes relacionados en la población y su efecto en la salud pública.

Consecuentemente, monitorear aguas residuales domésticas, podría convertirse en una herramienta útil; que brinda información temprana en las comunidades y ayuda a la evaluación, prevención, mitigación de brotes virales.⁽²⁴⁾ Adicionalmente, permite la ampliación de las fuentes de información acerca de la salud y los hábitos humanos transformándose de manera positiva en un observatorio de salud pública valioso para evaluar respuesta pública a brotes, epidemias y pandemia.⁽²⁵⁾ Algunos agentes virales entéricos en aguas residuales a nivel mundial son presentados en la Tabla 1. En consonancia, la identificación molecular descrita para aguas residuales y la pandemia ocasionada por el SARS-CoV-2, plantea varios interrogantes, acerca de su viabilidad en esta matriz, seguido del comportamiento viral y la ayuda de estos conocimientos previos.

Tabla 1- Detección molecular de algunos virus entéricos humanos presentes en aguas residuales en diferentes regiones del mundo.^(57,58,59,60,61)

Virus	Area de estudio	Método de detección
Rotavirus	Beijing, China	PCR:RT-qPCR y ICC-RT-qPCR, RT-qPCR - cultivo celular
Enterovirus, adenovirus y norovirus	Roma, Italia	Quantitative TaqMan real-time PCR
Norovirus	Galway, Irlanda	RT-qPCR
Adenovirus, enterovirus, parechovirus, rotavirus, norovirus, virus de la hepatitis A y virus de la hepatitis E	Ontario, Canadá	RT-qPCR
Enterovirus, virus de la hepatitis A, astrovirus y rotavirus	Reino de Bahréin	PCR

Resultados y discusión

Hallazgos de SARS-CoV-2 en aguas residuales

Particularmente, las aguas residuales se constituyen a partir de la mezcla de aguas que han sido sometidas a un cambio debido a las intervenciones humanas durante su uso y que antes de ser reutilizadas o vertidas a fuentes de aguas naturales deben recibir un tratamiento previo para mitigar el impacto de contaminación y evitar posibles brotes epidémicos.^(26,27) Ha sido definida su composición de acuerdo con agentes físicos, químicos y biológicos. Los agentes físicos incluyen el olor, color, sólidos y temperatura, los agentes químicos indican al material orgánico, pesticidas, contaminantes, aceites, metales pesados, nitrógeno, oxígeno, pH, entre otros. Los compuestos biológicos definen aquellos provenientes de animales y plantas, estas han sido clasificadas como domésticas, urbanas e industriales.⁽²⁸⁾ Las aguas residuales domésticas se originan en viviendas por el uso humano en oficios varios y las aguas residuales industriales son aquellas que son vertidas por industrias, como su nombre lo indica, por actividad comercial e industrial.⁽²⁹⁾ Mientras las aguas residuales urbanas son aquellas compuestas, básicamente, por aguas de origen doméstico y pluvial. Debido al

impacto ambiental que generan este tipo de aguas, es necesario un tratamiento, antes de ser reutilizadas o vertidas en fuentes de aguas naturales para disminuir los agentes contaminantes y disminuir niveles de contaminación relacionados con las aguas residuales.⁽²⁹⁾

A partir de la detección viral de SARS-CoV-2 en materia fecal, se ha elevado la búsqueda del agente infeccioso en aguas residuales,⁽³⁰⁾ como posible evidencia de transmisión y por representar un problema de salud pública emergente; sugiriendo que la vigilancia de las aguas residuales pudiera prestar información relevante a la vigilancia clínica de enfermedades transmitidas por patógenos de estos cuerpos de aguas.⁽³¹⁾ En la Figura 1. Un resumen de posibles vías de transmisión a través de las aguas residuales es presentado.

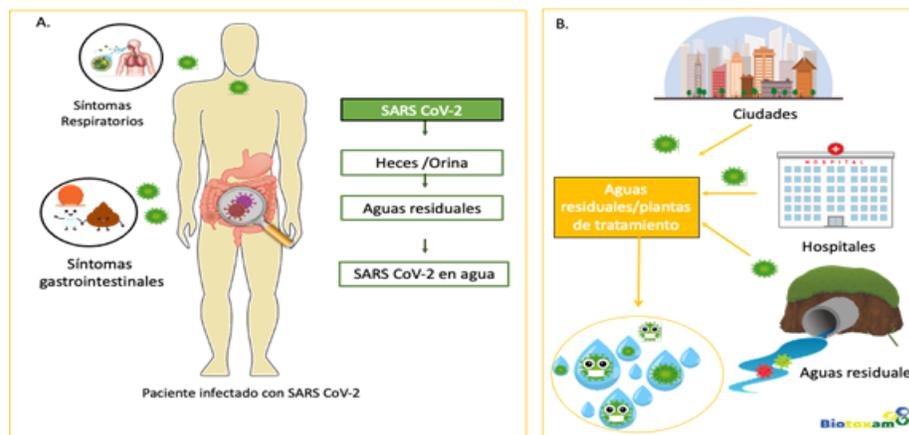


Fig. 1- A. SARS-CoV-2 en matrices de origen humano
B. Presencia en aguas residuales.

Adicionalmente, algunos métodos de tratamiento utilizados, proporcionan buenos resultados, sin embargo, muchos son ineficaces en la eliminación total de patógenos, como el caso del SARS-CoV-2⁽³¹⁾ lo que ha conllevado a la búsqueda de este agente viral en aguas residuales en lugares donde suceden elevadas descargas de material fecal a los sistemas de alcantarillado de las poblaciones y donde brotes de la enfermedad han sido identificados;

generando la vigilancia de las aguas residuales para reconocer, observar la aparición y las tendencias de la COVID-19 en las poblaciones.⁽³²⁾

Es así como fragmentos viables y ARN del SARS-CoV-2 ingresan a los sistemas de agua a través de numerosas vías,⁽³²⁾ tales como, la descarga de aguas residuales de hospitales y centros de aislamiento y cuarentena,⁽³³⁾ generando riesgos de transmisión de la COVID-19.^(32,33,34) Aunque, algunos estudios mencionan que la vida media del SARS-CoV-2 en las aguas residuales está significativamente afectada por varios factores tales como la temperatura,⁽³⁵⁾ la inactivación por irradiación ultravioleta y los desinfectantes clorados y su presencia en aguas residuales es controvertida aún. El riesgo de transmisión existe, puede ser perjudicial y debe ser investigado.^(36,37,38)

Evidentemente, bajo la óptica de la epidemiología de las aguas residuales y/o la epidemiología basada en los residuos, por sus siglas en inglés "WBE"; en conjunto con la priorización de intervenciones y búsqueda de patógenos en sistemas de aguas; la comunidad científica, está ganando atención. Sumado a la eficacia de los tratamientos de aguas residuales en hospitales, casas civiles y la reducción en el futuro de la persistencia del virus en aguas efluentes de estos contextos.^(39,40) Igualmente, las intervenciones con procesos de descontaminación de los ductos de agua de alcantarillado y demás sistemas donde circule el agua residual, son cruciales para evitar contagios y reducir los riesgos de transmisión. En la búsqueda retrospectiva de investigaciones actuales, éstas manifiestan la utilidad para el monitoreo de virus entéricos en muestras ambientales.⁽⁴¹⁾

Con base en exploración de revisiones de concordancia, no hay estudios de seguimiento prospectivo, cuantificando la cantidad de SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales de forma consecutiva, lo que podría significar un aporte sustancial a la salud pública. El detectar alertas tempranas de brotes virales por medio del estudio de estos cuerpos de agua es

relevante.^(42,43) En consecuencia, la búsqueda de SARS-CoV-2 y sus variantes sería muy útil en el futuro.

Otro punto importante, a discutir es la identificación viral. En el caso de muestras de origen respiratorio en humanos es utilizada la RT-qPCR,^(44,45) sin embargo, para las muestras de aguas residuales esto se ha convertido en un gran desafío. Las investigaciones van encaminadas a los métodos de concentración, identificación y el aislamiento viral. Se disponen de algunos tales como la ultrafiltración, ultra centrifugación y la floculación de leche desnatada,^(46,47) la adsorción-extracción con membrana electronegativa⁽⁴⁸⁾ y combinaciones de más de un método demostrando ser un procedimiento útil entre otros. Sin embargo, a pesar de su efectividad, ha sido propuesta una revisión cuidadosa.⁽⁴⁹⁾ Incluso, métodos de ultrafiltración y precipitación con polietilenglicol han sido exitosos, ofreciéndose como referencia para el procesamiento de las muestras y obtención de ARN viral.⁽⁵⁰⁾

Avanzar en metodologías para la detección del ARN del SARS-CoV-2 en aguas residuales es imperativo para permitir la obtención de resultados confiables y comparables. A la fecha no existe un método unívoco, y esto representa un vacío científico importante, tanto en las fases de extracción como en la cuantificación.⁽⁵⁰⁾ Sin embargo, algunos estudios de monitoreo biológico y/o ambiental en diversos países, ha permitido analizar muestras de aguas residuales, para determinar ARN del SARS-CoV-2, cuantificación e infectividad.

Por lo anterior, cinco bases de datos (Science direct, Scopus, PubMed, Clinical Key y Medline complete) fueron revisadas utilizando las palabras claves "SARS-CoV-2"; "Wastewater"; encontrando un total de 465 publicaciones, cabe resaltar que el 66 % de las publicaciones provienen de Science Direct. Llama la atención que al incorporar la palabra "epidemiología basada en aguas residuales" el número de publicaciones es incrementado a 603 resultados, revelando la importancia del impacto del SARS-CoV-2 en estas

matrices y sus comportamientos en las poblaciones. Un resumen es presentado a continuación:

Un estudio en el Hospital de la Universidad Zhejiang China, evaluó la presencia y la infectividad a través de RT-PCR en muestras de aguas residuales y detectó ARN- SARS-CoV-2 antes del tratamiento de desinfección y débilmente después del primer proceso de desinfección. Con un cultivo viral negativo concluyeron que las aguas residuales no pueden transmitir este virus dado que los resultados fueron negativos al final de todo el proceso de desinfección.⁽⁵¹⁾

Otro estudio en Italia, un país gravemente afectado por la pandemia detectó por primera vez el agente causante de la COVID-19 en aguas residuales de Milán y Roma. Utilizaron 12 muestras obtenidas de plantas de tratamiento, las cuales fueron concentradas con el método de concentración reportado por la OMS, utilizado para la vigilancia del poliovirus. Aquí tres protocolos moleculares fueron implementados. Se demostró la presencia viral en 6/12 de las muestras analizadas.⁽⁵²⁾

En New Haven, Connecticut, EE. UU. realizaron una medición de las concentraciones del ARN del SARS CoV 2 en lodos de aguas residuales primarias durante un brote de la COVID-19 en 2020. Utilizaron 73 muestras diarias entre el 19 de marzo y el 1 de junio de 2020 y se almacenaron a -80° C antes del análisis.⁽⁵³⁾ Realizaron la detección mediante qRT-PCR usando cebadores N1 y N2 empleados en las pruebas individuales de la COVID-19. Las concentraciones de ARN del SARS-CoV-2 en el lodo fueron 0 a 2 días antes que los resultados positivos de la prueba del SARS-CoV-2 en la fecha de recolección de la muestra, 0 a 2 días por delante del porcentaje de pruebas positivas en la fecha de recolección de la muestra, 1 a 4 días antes de las admisiones en hospitales locales y 6 a 8 días antes de los resultados positivos de las pruebas de SARS-CoV-2 en la fecha de notificación. De esta forma, evidenciaron la utilidad de la determinación del ARN viral en aguas residuales para evaluar cambios en la prevalencia de COVID-19 en la población.⁽⁵⁴⁾

Otro estudio en Región de Murcia (España), logró determinar la ocurrencia de ARN del SARS-CoV-2 en seis plantas de tratamiento de aguas residuales que atienden a los principales municipios. Validaron un método de concentración por adsorción-precipitación de hidróxido de aluminio utilizando un coronavirus porcino (virus de la diarrea epidémica porcina, PEDV) y mengovirus (MgV). Luego, el método se utilizó para monitorear la ocurrencia de SARS-CoV-2 desde el 12 de marzo al 14 de abril de 2020 en muestras de aguas efluentes afluentes, secundarias y terciarias. Mediante el uso del panel de diagnóstico RT-PCR (RT-qPCR) en tiempo real validado por los CDC de EE. UU. que se dirige a tres regiones del gen de la nucleocápside (N) del virus, se estimó la cuantificación de los títulos de ARN del SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales no tratadas. Los datos hallados se compararon con los casos de COVID-19 a nivel municipal, revelando que los miembros de la comunidad eliminaban ARN del SARS-CoV-2 en sus heces incluso antes de que las autoridades informaran los primeros casos en muchas de las ciudades. Adicionalmente, otros estudios que permitieron la determinación de SARS-CoV-2 en aguas residuales en distintos países está descrito. (Tabla 2).

Tabla 2- Estudios más representativos de determinación de SARS-CoV-2 en aguas residuales. (32, 40, 42,50)

Área de estudio	Espacio de tiempo	Volumen de muestra	Matriz	Método de concentración - Detección de SARS-CoV-2	Resultados
Países Bajos	Febrero-marzo 2020	250 ml	Aguas residuales.	Concentración de las muestras por ultrafiltración, RT-qPCR.	Resultado muestreo febrero 6 2020. Negativo Muestras marzo 4 y 5: Positivo para SARS-CoV-2
Emiratos Árabes Unidos	Octubre de 2020	250 ml de 11 plantas de tratamiento de aguas residuales	Aguas residuales municipales.	Concentración de la muestra por medio de columna de concentración/centrifugación de polipropileno de corte de peso molecular de 30 kDa. RT-qPCR.	Se detectó ARN del SARS-CoV-2 en los afluentes de aguas residuales de 11 plantas de tratamiento.
Padua, Región De Véneto, Italia	Noviembre de 2020	11 muestras de 1 L de agua residual	Aguas residuales.	Método de concentración: Ultrafiltración, gen diana N, detectado. RT-qPCR.	Se detectó positividad para 4 de 9 muestras de aguas residuales sin tratar 2 de 2 muestras tratadas terciariamente
Luisiana, EE. UU	Noviembre de 2020	15 muestras. En total 250 ml	Aguas residuales tratadas.	Método de concentración: ultrafiltración y adsorción-elución utilizando una membrana electronegativa. RT-qPCR.	De 15 muestras obtenidas, 2 reportaron presencia de SARS-CoV-2

Para enfrentar el futuro, y la emergencia de nuevas pandemias las civilizaciones deben aprender de sus errores, aciertos, en especial de su historia y del conocimiento adquirido. Actualmente la detección temprana de SARS-CoV-2, en las aguas residuales es una alternativa que permite la visualización y el seguimiento de la pandemia; aunado a un enfoque complementario que se acerca a la real prevalencia de la COVID-19 en las poblaciones afectadas. Así mismo, podría ser un método de alerta positivo, del tipo no invasivo, que marcaría la ruta de atención de las comunidades permitiéndoles enfrentarse a nuevas emergencias infecciosas, convirtiéndose en un mecanismo de alerta temprana que podría ser implementados concomitantemente con la respuesta de salud pública.⁽⁵³⁾

No obstante, lo anterior, también hay que considerar la presencia de las variantes genómicas del SARS-CoV-2, y su posible impacto a la salud pública. Estas variantes presentan mutaciones características, siendo las más relevantes aquellas que se encuentran en el gen de la ("proteína spike").^(55,56) Es conocida su alta infectividad y causal de morbilidad, haciendo pertinente la búsqueda de estrategias que permitan detectarlas rápidamente y de manera eficaz y temprana. Una descripción es presentada en la Tabla 3.

Tabla 3- Características de las principales variantes de SARS-Cov-2.^(52, 55, 62,63)

Nombre OMS	Variante	Filogenética	Fecha de identificación	Detección en aguas residuales
<i>Alpha</i>	Británica	Clado GR, linaje B.1.1.7 (GISAID) o al clado 20I / 501Y.V1 (Nextstrain)	Anunciada el 14 de diciembre del año 2020, por los casos en el sureste de Inglaterra entre octubre y diciembre del mismo año.	Fue identificada en un estudio que analizó muestras de aguas residuales de agosto del 2020 a febrero del 2021 en Israel. Así como residuales en Guardiagrele, Italia.
<i>Beta</i>	Sudafricana	Clado GH, linaje B.1.351 (GISAID) o 20H / 501Y.V2 (Nextstrain)	Anunciada el 18 de diciembre del 2020. Resultados Hallazgos indican mayor transmisibilidad.	Detectada en aguas residuales de Perugia, Italia en el estudio de La Rosa et Al, 2021.
<i>Gamma</i>	Brasileña	Clado GR linaje P.1 (GISAID) o 20 J / 501Y.V3 (Nextstrain)	Identificada en enero del 2021 en Japón, en cuatro viajeros provenientes de Brasil. Posteriormente fue identificada en Brasil.	Detectada en aguas residuales en Perugia, Italia
<i>Delta</i>	India	B.1.617.2	Aislada en Maharashtra, India, en un entorno de epidemia altamente transmisible con consecuencias devastadoras a finales de 2020.	No ha sido identificada en aguas residuales.
<i>Epsilon</i>	California	Clado GH, linaje B.1.429 (GISAID), también denominado CAL.20C	Anunciada el 17 de enero del 2021, tras brotes de COVID-19 en condados de California (USA).	No ha sido identificada en aguas residuales

La implementación de la biología molecular mediante la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa con transcriptasa inversa (RT - qPCR) y con la ayuda de cebadores y sondas han permitido la detección de SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales, haciéndose posible la cuantificación de nuevas variantes en algunas zonas geográficas, incluso antes de los informes de las pruebas médicas.

Conclusiones

Es vital, iniciar búsquedas activas de SARS-CoV-2, y sus principales variantes en los ambientes acuáticos. Constituyéndose estas matrices, como una esperanza

en el control temprano no invasivo de la pandemia. Posterior a la vacunación mundial, son muchos los desafíos por resolver; la incertidumbre del fin de la pandemia está aún sin resolver y es crucial no perder de vista la incorporación de búsquedas tempranas y diagnósticos complementarios utilizando la epidemiología basada en aguas residuales como un instrumento y/o herramienta que permita reconocer el comportamiento del SARS-CoV-2 en las poblaciones por medio de los análisis de aguas residuales y el grado de diseminación de la enfermedad.

Agradecimientos

Agradecemos a MINCIENCIAS-Colombia. "Fortalecimiento de las capacidades instaladas del CTel del Grupo de Investigación en Ciencias Biomédicas, Toxicológicas y Ambientales para el abordaje de problemas asociados a agentes de alto riesgo biológico para la salud humana en el Departamento de Bolívar", de la SGR. Código 2020000119; Convocatoria 891 de 2020 para el Fortalecimiento de Vocaciones y Formación en CTel para la Reactivación Económica en el Marco de la Postpandemia 2020. MINCIENCIAS-Colombia.

Referencias bibliográficas

1. Prieto-Silva R, Sarmiento-Hernández CA, Prieto-Silva F. Morbilidad y mortalidad por COVID-19 en Latinoamérica: estudio en tres países - febrero a julio de 2020. Rev Salud Publica (Bogota) [Internet]. 2020;22(2):1-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v22n2.89682>
2. Kabakci F. Número de contagios de COVID-19 en el mundo supera los 120 millones de casos, según Worldometer [Internet]. Com.tr. [citado el 4 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.aa.com.tr/es/mundo/n%C3%BAmero-de-contagios-de-COVID-19-en-el-mundo-supera-los-120-millones-de-casos-seg%C3%BAn-worldometer/2175753>
3. Spangler T. Private equity titan eyes China for a rival to Rhodes Scholarship [Internet]. The Conversation 2013 [citado 2021 Mar 20]. Disponible en: <http://theconversation.com/private-equity-titan-eyes-china-for-a-rival-to-rhodes-scholarship-13703>

4. Godin B, Tejeda L, Arroyo B. SARS-CoV-2: Un salto de las heces a los ecosistemas acuáticos. *Rev Chilena Infectol* [Internet]. 2021;38(2):306–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/s0716-10182021000200306>
5. Dhama K, Patel SK, Yattoo MI, Tiwari R, Sharun K, Dhama J, et al. SARS-CoV-2 existence in sewage and wastewater: A global public health concern? *J Environ Manage* [Internet]. 2021;280:111825. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111825>
6. Safiabadi Tali SH, LeBlanc JJ, Sadiq Z, Oyewunmi OD, Camargo C, Nikpour B, et al. Tools and techniques for severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2)/COVID-19 detection. *Clin Microbiol Rev* [Internet]. 2021;34(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.00228-20>
7. Foladori P, Cutrupi F, Segata N, Manara S, Pinto F, Malpei F, et al. SARS-CoV-2 from faeces to wastewater treatment: What do we know? A review. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020;743:140444. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140444>
8. Kim JM, Kim HM, Lee EJ, Jo HJ, Yoon Y, Lee NJ, et al. Detection and isolation of SARS-CoV-2 in serum, urine, and stool specimens of COVID-19 patients from the republic of Korea. *Osong Public Health Res Perspect* [Internet]. 2020;11(3):112–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.24171/j.phrp.2020.11.3.02>
9. Peng L, Liu J, Xu W, Luo Q, Chen D, Lei Z, et al. SARS-CoV-2 can be detected in urine, blood, anal swabs, and oropharyngeal swabs specimens. *J Med Virol* [Internet]. 2020;92(9):1676–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmv.25936>
10. Sánchez Ramírez JE. COVID-19 en aguas residuales y potables: análisis de la situación actual. *Ing Reg* [Internet]. 2020;23:2–3. DOI: <http://dx.doi.org/10.25054/22161325.2536>
11. Tran HN, Le GT, Nguyen DT, Juang RS, Rinklebe J, Bhatnagar A, et al. SARS-CoV-2 coronavirus in water and wastewater: A critical review about presence and concern. *Environ Res* [Internet]. 2021;193:110265. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.110265>

12. La Rosa G, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Iaconelli M, Bonadonna L, et al. SARS-CoV-2 has been circulating in northern Italy since December 2019: Evidence from environmental monitoring. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;750:141711. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141711>
13. Hassard F, Vu M, Rahimzadeh S, Castro-Gutierrez V, Stanton I, Burczynska B, et al. Wastewater monitoring for detection of public health markers during the COVID-19 pandemic: Near-source monitoring of schools in England over an academic year. *PLoS One* [Internet]. 2023;18(5):e0286259. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0286259>
14. Boehm AB, Hughes B, Wolfe MK, White BJ, Duong D, Chan-Herur V. Regional replacement of SARS-CoV-2 variant Omicron BA.1 with BA.2 as observed through wastewater surveillance. *Environ Sci Technol Lett* [Internet]. 2022;9(6):575–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00266>
15. Bar-Or I, Weil M, Indenbaum V, Bucris E, Bar-Ilan D, Elul M, et al. Detection of SARS-CoV-2 variants by genomic analysis of wastewater samples in Israel. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;789:148002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148002>
16. Quiroz Carrillo CG, Pareja Cruz A, Valencia Ayala E, Enriquez Valencia YP, De Leon Delgado J, Aguilar Ramirez P. Un nuevo coronavirus, una nueva enfermedad: COVID-19. *Horiz Med* [Internet]. 4 de abril de 2020;20(2):e1208. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n2.11>
17. Alejandro García A, Pavón Romero GF, Carreto Binaghi LE, Bandera Anzaldo J, Alvarado Amador I. Etiología y fisiopatología del SARS-CoV-2. *Revista Latinoamericana de Infectología Pediátrica* [Internet]. 2020;33(s1):5–9. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/infectologia/lip-2020/lips201b.pdf>
18. Muñoz-Jarillo NY, Arenal-Serna J, Muñoz-Jarillo R, Camacho-Zarco E. Infección por SARS-CoV-2 (COVID-19) y sus hallazgos por imagen. *Rev Fac Med Univ Nac Auton Mex* [Internet]. 2020;63(5):18–25. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fm.24484865e.2020.63.5.03>

19. Ezpeleta D, López Velasco R. El síndrome de Alonso Quijano. Neurología [Internet]. 2011 [citado 2023 Jun 4];26(5):317–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21163198/>
20. Madrigal-Rojas JP, Quesada-Lora M, García-Sánchez M, Solano-Chinchilla A. SARS CoV-2, manifestaciones clínicas y consideraciones en el abordaje diagnóstico de COVID- 19. Rev Med Cos Cen [Internet]. 2021 [citado 2023 Jun 4];86(629):13–21. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=101548&id2=>
21. Pertejo CJA. Informes científicos COVID-19 [Internet]. Iscii.es. [citado 2021 Mar 21]. Disponible en: <http://gesdoc.iscii.es/gesdoccontroller?action=download&id=15/01/2021-874dbb1eec>
22. Ahmed W, Bertsch PM, Bibby K, Haramoto E, Hewitt J, Huygens F, et al. Decay of SARS-CoV-2 and surrogate murine hepatitis virus RNA in untreated wastewater to inform application in wastewater-based epidemiology. Environ Res [Internet]. 2020;191:110092. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.110092>
23. Adriaenssens EM, Farkas K, Harrison C, Jones DL, Allison HE, McCarthy AJ. Viromic analysis of wastewater input to a river catchment reveals a diverse assemblage of RNA viruses. mSystems [Internet]. 2018;3(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/mSystems.00025-18>
24. Farkas K, Hillary LS, Malham SK, McDonald JE, Jones DL. Wastewater and public health: the potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19. Curr Opin Environ Sci Health [Internet]. 2020;17:14–20. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2020.06.001>
25. Michael-Kordatou I, Karaolia P, Fatta-Kassinos D. Sewage analysis as a tool for the COVID-19 pandemic response and management: the urgent need for optimised protocols for SARS-CoV-2 detection and quantification. J Environ Chem Eng [Internet]. 2020;8(5):104306. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104306>
26. Hidrotec. Aguas residuales: tipos y componentes [Internet]. Hidrotec. 2023 [citado 2022 Mar 16]. Disponible en: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

27. Moses Chávez ÚR. La fiscalización ambiental vinculada a las aguas residuales [Internet]. Gob.pe. [citado 2023 Mar 16]. Disponible en: <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/1.-Fiscalizaci%C3%B3n-ambiental-vinculada-a-las-aguas-residuales.pdf>
28. Zarza L. ¿Qué son las aguas residuales? [Internet]. iAgua. 2019 [citado el 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>.
29. Muñoz A. Caracterización y tratamientos de aguas residuales. Edu.mx:8080. [citado 2021 May 21]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizacion%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf;jsessionid=924E42547A87439386E2BD6827CC017E?sequence=1>
30. Lodder W, de Roda Husman AM. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. Lancet Gastroenterol Hepatol [Internet]. 2020;5(6):533–4. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30087-X](http://dx.doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30087-X)
31. Madewell ZJ, Yang Y, Longini IM Jr, Halloran ME, Dean NE. Household transmission of SARS-CoV-2: A systematic review and Meta-analysis: A systematic review and meta-analysis. JAMA Netw Open [Internet]. 2020;3(12):e2031756. DOI: <http://dx.doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.31756>
32. Medema G, Been F, Heijnen L, Petterson S. Implementation of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus to support public health decisions: Opportunities and challenges. Curr Opin Environ Sci Health [Internet]. 2020;17:49–71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2020.09.006>
33. Adelodun B, Ajibade FO, Ibrahim RG, Bakare HO, Choi KS. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: Any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries? Sci Total Environ [Internet]. 2020;742:140680. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140680>
34. Wang J, Shen J, Ye D, Yan X, Zhang Y, Yang W, et al. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. Environ Pollut

- [Internet]. 2020;262:114665. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114665>
35. Carducci A, Federigi I, Liu D, Thompson JR, Verani M. Making Waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health. *Water Res* [Internet]. 2020;179:115907. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>
36. Venugopal A, Ganesan H, Sudalaimuthu Raja SS, Govindasamy V, Arunachalam M, Narayanasamy A, et al. Novel wastewater surveillance strategy for early detection of coronavirus disease 2019 hotspots. *Curr Opin Environ Sci Health* [Internet]. 2020;17:8–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2020.05.003>
37. Hart OE, Halden RU. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities and challenges. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020;730:138875. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>
38. Wang J, Feng H, Zhang S, Ni Z, Ni L, Chen Y, et al. SARS-CoV-2 RNA detection of hospital isolation wards hygiene monitoring during the Coronavirus Disease 2019 outbreak in a Chinese hospital. *Int J Infect Dis* [Internet]. 2020;94:103–6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijid.2020.04.024>
39. Zhang D, Ling H, Huang X, Li J, Li W, Yi C, et al. Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of Fangcang Hospital. *Sci Total Environ*. 2020;741:140445. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.140445](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140445)
40. Hasan SW, Ibrahim Y, Daou M, Kannout H, Jan N, Lopes A, et al. Detection and quantification of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and treated effluents: Surveillance of COVID-19 epidemic in the United Arab Emirates. *Sci Total Environ*. 2021;764:142929. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142929](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142929)
41. Yang W, Cai C, Dai X. The potential exposure and transmission risk of SARS-CoV-2 through sludge treatment and disposal. *Resour Conserv Recycl*. 2020;162:105043. DOI: [10.1016/j.resconrec.2020.105043](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105043)
42. Baldovin T, Amoruso I, Fonzo M, Buja A, Baldo V, Cocchio S, et al. SARS-CoV-

- 2 RNA detection and persistence in wastewater samples: An experimental network for COVID-19 environmental surveillance in Padua, Veneto Region (NE Italy). *Sci Total Environ.* 2021;760:143329. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.143329](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143329)
43. Saguti F, Magnil E, Enache L, Churqui MP, Johansson A, Lumley D, et al. Surveillance of wastewater revealed peaks of SARS-CoV-2 preceding those of hospitalized patients with COVID-19. *Water Res.* 2021;189:116620. DOI: [10.1016/j.watres.2020.116620](https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116620)
44. Zhou NA, Tharpe C, Meschke JS, Ferguson CM. Survey of rapid development of environmental surveillance methods for SARS-CoV-2 detection in wastewater. *Sci Total Environ.* 2021;769:144852. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.144852](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144852)
45. Díaz FJ, Aguilar-Jiménez W, Flórez-Álvarez L, Valencia G, Laiton-Donato K, Franco-Muñoz C, et al. Isolation and characterization of an early SARS-CoV-2 isolate from the 2020 epidemic in Medellín, Colombia. *Biomedica.* 2020;40(Supl. 2):148-58. DOI: <https://doi.org/10.7705/biomedica.5834>
46. Fernández-Lázaro D, Sanz Gómez N, Sánchez Serrano N, Alaoui Sosse A, Aldea-Mansilla C. Estandarización de Emergencia para el Diagnóstico del virus SARS-CoV-2 mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa de Transcripción Reversa en Tiempo Real (RT-PCR) en situación de pandemia de COVID-19. *Revista Madrileña de Salud Pública.* 2020;4(7):1-11. DOI: <https://doi.org/10.36300/remasp.2020.070>
47. Kitajima M, Ahmed W, Bibby K, Carducci A, Gerba CP, Hamilton KA, et al. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. *Sci Total Environ.* 2020;739:139076. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>
48. Philo SE, Keim EK, Swanstrom R, Ong AQW, Burnor EA, Kossik AL, et al. A comparison of SARS-CoV-2 wastewater concentration methods for environmental surveillance. *Sci Total Environ.* 2021;760:144215. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.144215](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144215)
49. Ahmed W, Harwood VJ, Gyawali P, Sidhu JPS, Toze S. Comparison of concentration methods for quantitative detection of sewage-associated viral markers in environmental waters. *Appl Environ Microbiol.* 2015;81(6):2042-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4345397/pdf/zam2042.pdf>

50. Sherchan SP, Shahin S, Ward LM, Tandukar S, Aw TG, Schmitz B, et al. First detection of SARS-CoV-2 RNA in wastewater in North America: A study in Louisiana, USA. *Sci Total Environ.* 2020;743:140621. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.140621](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140621)
51. Collivignarelli MC, Collivignarelli C, Carnevale Miino M, Abbà A, Pedrazzani R, Bertanza G. SARS-CoV-2 in sewer systems and connected facilities. *Process Saf Environ Prot.* 2020; 143:196–203. DOI: 10.1016/j.psep.2020.06.049
52. Nemudryi A, Nemudraia A, Wiegand T, Surya K, Buyukyoruk M, Cicha C, et al. Temporal detection and phylogenetic assessment of SARS-CoV-2 in municipal wastewater. *Cell Reports Medicine.* 2020;1:100098. DOI: [10.1016/j.xcrm.2020.100098](https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2020.100098)
53. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, Grubaugh ND, Kaplan EH, Casanovas-Massana A, et al. Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol.* 2020;38(10):1164–7. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41587-020-0684-z>
<https://www.nature.com/articles/s41587-020-0684-z.pdf>
54. La Rosa G, Iaconelli M, Mancini P, Bonanno Ferraro G, Veneri C, Bonadonna L, et al. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Sci Total Environ.* 2020;736:139652. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.139652](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139652)
55. Li Q, Wu J, Nie J, Zhang L, Hao H, Liu S, et al. The impact of mutations in SARS-CoV-2 spike on viral infectivity and antigenicity. *Cell.* 2020;182(5):1284–1294.e9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.07.012>
56. Pillay TS. Gene of the month: the 2019-nCoV/SARS-CoV-2 novel coronavirus spike protein. *J Clin Pathol.* 2020;73(7):366–9. DOI: <https://doi.org/10.1136/jclinpath-2020-206658>
57. Li D, Gu AZ, Zeng SY, Yang W, He M, Shi HC. Monitoring and evaluation of infectious rotaviruses in various wastewater effluents and receiving waters revealed correlation and seasonal pattern of occurrences: Seasonal distribution of rotaviruses in wastewater effluents. *J Appl Microbiol.* 2011;110(5):1129–37. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04954>.
58. La Rosa G, Pourshaban M, Iaconelli M, Muscillo M. Quantitative real-time PCR of enteric viruses in influent and effluent samples from wastewater treatment plants in Italy. *Ann Ist Super Sanita.* 2010;46(3):266–73. DOI:

https://doi.org/10.4415/ANN_10_03_07

59. Flannery J, Keaveney S, Rajko-Nenow P, O'Flaherty V, Doré W. Concentration of norovirus during wastewater treatment and its impact on oyster contamination. *Appl Environ Microbiol.* 2012;78(9):3400–6. DOI:

<https://doi.org/10.1128/AEM.07569-11>

60. Bisseux M, Colombet J, Mirand A, Roque-Afonso A-M, Abravanel F, Izopet J, et al. Monitoring human enteric viruses in wastewater and relevance to infections encountered in the clinical setting: a one-year experiment in central France, 2014 to 2015. *Euro Surveill [Internet].* 2018;23(7). DOI: <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.7.17-00237>

61. Janahi EM, Mustafa S, Parkar SFD, Naser HA, Eisa ZM. Detection of Enteric viruses and bacterial indicators in a sewage treatment center and Shallow Water bay. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(18):6483. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186483>

62. Pascarella S, Ciccozzi M, Zella D, Bianchi M, Benedetti F, Benvenuto D, et al. SARS-CoV-2 B.1.617 Indian variants: Are electrostatic potential changes responsible for a higher transmission rate? *J Med Virol [Internet].* 2021:(jmv.27210). DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmv.27210>

63. Crits-Christoph A, Kantor RS, Olm MR, Whitney ON, Al-Shayeb B, Lou YC, et al. Genome sequencing of sewage detects regionally prevalent SARS-CoV-2 variants. *MBio [Internet].* 2021;12(1). DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/mBio.02703-20>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.