

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Detección de 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de
tratamiento de agua residual del Distrito Metropolitano de Quito**

Martina Alejandra Cevallos Terán

Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera en Biotecnología

Quito, 18 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Detección de 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de agua residual del Distrito Metropolitano de Quito

Martina Alejandra Cevallos Terán

Nombre del profesor, Título académico

Lorena Mejía Castañeda, PhD

Quito, 18 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Martina Alejandra Cevallos Terán

Código: 00321488

Cédula de identidad: 1751437763

Lugar y fecha: Quito, 18 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El monitoreo de virus entéricos y otros patógenos en aguas residuales es una herramienta importante para la vigilancia epidemiológica y la detección pronta de brotes de enfermedades infecciosas en entornos urbanos. De igual forma, permite ver en tiempo real los patrones de circulación de los diversos virus entéricos que están afectando a la población.

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la diversidad de virus entéricos, en específico rotavirus, adenovirus, norovirus (GI y GII), sapovirus y astrovirus en las afluentes de plantas de tratamiento de agua residual del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Se analizaron 84 muestras que provienen de tres meses de recolecta en 28 plantas de tratamiento, en la época de estiaje (junio, julio y agosto). La detección vírica se realizó mediante la técnica de PCR en tiempo real (qPCR) múltiplex, que se enfocó en la detección de material genético específico de cada virus. Se obtuvieron resultados diversos, pero estos demuestran la variabilidad significativa en la diversidad de virus entéricos según el mes de muestreo, siendo el mes con mayor diversidad el mes de julio y el de menor diversidad agosto. En cuanto a las divisiones por regiones geográficas, las plantas de tratamiento ubicadas en el noreste, sureste y centro del DMQ reportaron la mayor diversidad viral, asociadas probablemente a factores como la densidad poblacional y el volumen de descarga de aguas residuales, pero otros factores pueden influir también en esto. Sapovirus fue el virus con mayor detección (28 plantas), seguido astrovirus, norovirus GI y adenovirus (27 plantas). Esta investigación presenta evidencia de la circulación de virus entéricos en la población del DMQ y proporciona información esencial para mejorar las estrategias de gestión ambiental.

Palabras clave: Virus entéricos, aguas residuales, vigilancia epidemiológica, qPCR multiplex, rotavirus, norovirus, sapovirus, adenovirus, Distrito Metropolitano de Quito.

ABSTRACT

Monitoring enteric viruses and other pathogens in wastewater plays a key role in tracking public health. It helps identify outbreaks of infectious diseases in urban areas early on and provides a real-time snapshot of how these viruses circulate within communities.

This study focused on analyzing the diversity of enteric viruses—including rotavirus, adenovirus, norovirus (GI and GII), sapovirus, and astrovirus—in wastewater entering treatment plants across the Metropolitan District of Quito (DMQ). Researchers collected 84 samples over three months during the dry season (June, July, and August) from 28 treatment plants. To detect the viruses, they used a multiplex real-time PCR (qPCR) method that targets the genetic material of each virus. The findings showed notable changes in virus diversity depending on the month. July had the most diverse range of viruses, while August had the least. Regionally, treatment plants in the northeast, southeast, and central areas of the DMQ recorded the highest diversity, likely influenced by factors like population density and wastewater volume, although other factors may also play a role. Sapovirus stood out as the most frequently detected virus, appearing in 28 plants, followed closely by astrovirus, norovirus GI, and adenovirus, each found in 27 plants. This research provides clear evidence of enteric virus circulation in the DMQ population and offers critical insights for improving environmental health strategies.

Keywords: Enteric viruses, wastewater, epidemiological surveillance, multiplex qPCR, rotavirus, norovirus, sapovirus, adenovirus, Metropolitan District of Quito

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Métodos.....	13
Origen de las muestras	13
Detección de virus entéricos	13
Resultados	15
Discusión.....	16
Conclusiones	20
Figuras.....	21
Referencias bibliográficas.....	24
Anexos	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de junio de 2023.	21
Figura 2. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de julio de 2023.	22
Figura 3. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de agosto de 2023.	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Coordenadas geográficas de las plantas de tratamiento muestreadas	33
----------------------------------------------------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

El ser humano ha logrado desarrollar grandes invenciones y tecnologías como las ciudades, que permiten organizar a grandes cantidades de personas en espacios geográficos relativamente reducidos. Sin embargo, esto conlleva la generación de enormes cantidades de desechos, como basura y aguas residuales, que inevitablemente producimos. Este producto secundario de nuestras actividades cotidianas representa uno de los desafíos más importantes en términos de contaminación ambiental y salud pública, pero es un problema que con frecuencia es ignorado (García, 2012; Phillips, 2021).

Las aguas residuales son aquellas que contienen contaminantes, impurezas, sustancias nocivas y patógenos como bacterias, parásitos y virus, provenientes de diversas fuentes, principalmente domésticas e industriales (*Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2023*). Estas aguas constituyen una matriz compleja con una gran cantidad de marcadores químicos y biológicos que reflejan la actividad humana. Las aguas residuales son inevitables mientras exista actividad humana (Choi et al., 2018).

En el Distrito Metropolitano de Quito, se generan aproximadamente 3,400 litros de aguas residuales cada segundo, de los cuales solo entre el 3-3.5 % son tratadas en plantas de tratamiento (*Primicias, 2022*). La falta de tratamiento de aguas residuales provoca que la mayoría de estas sean liberadas en los diferentes sistemas hídricos de la región, lo que genera contaminación ambiental y esto se puede categorizar como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y problemas de salud pública (Jan et al., 2022). Las aguas presentes en los diversos ríos de la región no son estáticas y pueden filtrarse, lo que representa un riesgo al convertirse en un foco de infección por diversos patógenos y contaminantes. Por otro lado, el vertido de aguas sin tratar puede provocar que las poblaciones aguas abajo del río utilicen y

consuman estas aguas para riego, lo que aumenta el riesgo de exposición (Srinivasan & Reddy, 2009; Khalid et al., 2018).

Algunos patógenos que se vigilan o detectan en aguas residuales en ciertos países son los virus entéricos. En Ecuador, la investigación, detección y monitoreo de virus entéricos en aguas residuales es escasa. La presencia de estos patógenos en las aguas residuales brinda información crucial sobre los virus que circulan en la población, permitiendo monitorear diversas enfermedades infecciosas (Dzinamarira et al., 2022), para prevenir brotes y controlar la propagación de infecciones (Santos et al., 2024).

Los virus entéricos son virus desnudos, es decir, carecen de envoltura lipídica, lo que les otorga una mayor resistencia a condiciones ambientales adversas, como desecación, detergentes, ácido estomacal y sales biliares (Boussetine et al., 2019). Esta característica les permite conservar su infectividad en el ambiente durante más tiempo. Se transmiten principalmente por vía fecal-oral o contacto directo (Peláez et al., 2016). Se replican en el tracto gastrointestinal, infectando a las células epiteliales. Son excretados en grandes cantidades en las heces durante varias semanas, incluso en casos asintomáticos. Se estima que se puede llegar a entre 10^5 y 10^7 partículas virales por cada gramo de heces fecales (Espinosa-García, Arias-Ortíz, & Mazari-Hiriart, 2004). Un aspecto relevante de estos virus es que presentan una dosis infectiva baja. Como menciona Hall (2012), en el caso del norovirus requiere menos de 18 partículas virales para causar enfermedad.

El agua y diversos alimentos contaminados pueden ser la principal vía de transmisión de virus entéricos y estos pueden afectar a cualquier persona generando gastroenteritis autolimitada (el propio cuerpo puede eliminarlos) con una duración de uno a dos días, pero los niños y los ancianos tienden a sufrir sintomatologías más graves o prolongada, como deshidratación severa, ya que estos presentan sistemas inmunitarios debilitados o en desarrollo (Das et al., 2024). Entre los virus entéricos más comunes se encuentran el rotavirus, un virus

de ARN de doble cadena que sigue siendo una de las principales causas de muerte infantil y es el único que presenta una vacuna (Phan et al., 2007); los norovirus, virus de ARN de cadena simple (+) que se dividen en genogrupos, siendo el GII el más prevalente en brotes de gastroenteritis (Capece & Gignac, 2023); el sapovirus, también de ARN de cadena positiva, asociado a brotes de gastroenteritis, aunque menos frecuente; el astrovirus, un virus de ARN de cadena simple que también causa gastroenteritis (Yoneda et al., 2016); y el adenovirus, de ADN de doble cadena, que puede causar infecciones gastrointestinales y respiratorias, dependiendo del serotipo, siendo especialmente relevante en niños (Usman & Suarez, 2023). Se puede decir que, todos estos virus generan principalmente diarrea, vómito, fiebre, dolor estomacal y corporal, generando dificultades para diferenciarlos (Bishop & Kirkwood, 2008). El tratamiento por lo general es hidratación, medicamentos para el vómito y diarrea y en algunos casos probióticos (National Institutes of Health, 2022).

Gracias a lo mencionado anteriormente, las aguas residuales se convierten en un entorno idóneo para la detección de virus entéricos que están circulando en la población de esa región. La detección y vigilancia de virus entéricos en las aguas residuales son cruciales, ya que la excreción viral en estos cuerpos de agua proporciona una oportunidad para rastrear patógenos emergentes, vigilar enfermedades infecciosas y estudiar la epidemiología de enfermedades entéricas en la comunidad. El monitoreo de estos virus es esencial para garantizar una buena calidad de agua y prevenir brotes comunitarios, ya que los virus entéricos excretados en el ambiente representan una fuente potencial de contaminación humana (Santos et al., 2024; Organización Panamericana de la Salud, 2023).

Por estas razones, este estudio tuvo el objetivo de verificar la presencia de rotavirus, adenovirus, norovirus, sapovirus y astrovirus en muestras de aguas residuales provenientes de los afluentes de 28 plantas de tratamiento del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) por un período de tres meses durante la época de estiaje.

MÉTODOS

Origen de las muestras

A partir de un proyecto del Instituto de Microbiología de la Universidad San Francisco de Quito, se tuvo acceso al material genético de 84 muestras de aguas residuales de los afluentes de plantas de tratamiento del Distrito Metropolitano de Quito, estas muestras provienen de las recolectas realizadas por Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). Estas muestras corresponden a 28 plantas (Anexo 1) ubicadas en las parroquias de Pifo, Nanegal, Gualea, Quitumbe, Nono, Lloa, Pacto, Puéllaro, Guayllabamba, Pintag, San José de Minas, Chavezpamba y Amaguaña. Las muestras fueron tomadas durante los meses de junio, julio y agosto del 2023, época de estiaje, que es el periodo con menores precipitaciones del año, por lo que contamos con un muestreo mensual a partir de junio a agosto en las 28 plantas.

Detección de virus entéricos

A partir de las muestras entregadas, se realizó la síntesis del ADN complementario con las siguientes concentraciones de los reactivos: 1x de First Strand buffer, 5 mM de DTT, 1 U de Rnase out, 300 ng de random primers (Cat.No. 48190011, Invitrogen), 2.5 mM de dNTP (Cat No, U151B, Promega), 5 U de Super Script III (Cat. No. 18064-014, Invitrogen) y agua de PCR. Debido a que el genoma del Rotavirus es ARN de doble cadena, es necesario realizar una desnaturalización de las muestras y el control negativo a 97°C por 5 minutos. En seguida, se preparó la mezcla para la retro transcripción con 15 µl de Master Mix en cada tubo junto con 5 µl del material genético correspondiente. El programa en el termociclador fue el siguiente: 25 °C durante 10 minutos, seguido de un paso a 42 °C durante 50 minutos, y luego a 70 °C durante 15 minutos. Finalmente, se mantuvo a 4 °C durante 10 minutos.

Para la amplificación de las dianas de los virus entéricos, se usó el método qPCR múltiplex EVPrPCR planteado por Pang, Preiksaitis & Lee (2014). Con este método se buscó la detección por medio de primers y sondas específicas de: Rotavirus, Adenovirus, Norovirus GI, Norovirus GII, Sapovirus y Astrovirus. Con el cDNA listo, se procedió a preparar los reactivos necesarios para la PCR en tiempo real. Para esto se prepararon tres mezclas de sondas (PP-mix) distintos: una para Norovirus genotipo I y II, otra para Rotavirus y Adenovirus, y la tercera para Astrovirus y Sapovirus.

Finalmente, para cada reacción de amplificación, se añadieron 5 μ L del reactivo 2x TaqMan FUMMTM (*Fast Universal PCR Master Mix*- Applied Biosystems by Thermo Fisher Scientific), y 2 μ L de PP-mix correspondiente. Después de dispensar esta mezcla en los tubos, se incorporaron 3 μ L de cDNA. Se consideraron los controles negativos para el cDNA y qPCR, en donde se reemplazó el volumen de material genético por agua. De igual forma se usó un control positivo, que corresponde a un fragmento sintético con las secuencias diana de cada uno de los virus (*gBlock gene fragment* - Integrated DNA Technologies). Antes de llevar los tubos al termociclador, se realizó un centrifugado para eliminar burbujas. Finalmente, se corrió el programa en el equipo Bio-Rad CFX96 Touch Real Time PCR Detection System. El programa de amplificación consistió en los siguientes pasos: una desnaturalización inicial a 95 °C durante 20 segundos, seguida de 45 ciclos, cada uno con una desnaturalización a 95 °C durante 3 segundos y una hibridación a 60 °C durante 30 segundos. Para considerar a un resultado como positivo se tuvo en cuenta dos parámetros: la calidad de curva obtenida en la qPCR y el C_q, que es el número de ciclo de amplificación necesarios para superar el umbral de detección. Para el último parámetro, se consideraron positivas aquellas muestras con un C_q inferior a 42.

RESULTADOS

Como resultado de las 3 reacciones de amplificación por muestra, se logró identificar la circulación variada de los 5 virus entéricos a lo largo de los meses analizados (Figuras 1 a 3). No se observan patrones constantes de circulación, y hay variaciones tanto en la diversidad como en la distribución de estos. El mes que presentó mayor diversidad y presencia de virus entéricos fue julio (Figura 2), seguido por junio (Figura 1), y finalmente agosto (Figura 3), que mostró la menor presencia y diversidad de estos. Además, se puede observar que en este último mes hay algunas plantas donde no se detectó la presencia de ningún virus.

Para brindar un mejor entendimiento del análisis, las plantas se dividieron según la región geográfica en la que se encuentran: Noreste, Sureste, Noroeste, Suroeste y Centro. Del análisis se puede observar que todas las plantas presentan una alta contaminación y diversidad de virus entéricos. Sin embargo, a lo largo de los tres meses de muestreo, se puede decir que las plantas ubicadas en el Noreste, Sureste y Centro presentan una mayor diversidad de virus en comparación con las plantas del Noroeste y Suroeste (Figuras 1, 2 y 3).

De igual forma, al realizar una evaluación de la totalidad de los resultados, se observa que el virus con mayor presencia fue Sapovirus, detectado en las 28 plantas estudiadas. Le siguen Astrovirus, Norovirus GI y Adenovirus, presentes en 27 de las 28 plantas. Finalmente, los virus con menor presencia fueron Norovirus GII y Rotavirus, encontrados en 26 plantas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten tener una idea clara de los virus entéricos que circulan en el Distrito Metropolitano de Quito. En esta región geográfica se observa que, según los patrones de infección, se tiene una circulación de rotavirus, adenovirus, norovirus, sapovirus y astrovirus, con variaciones en su frecuencia dependiendo del mes, pero en general evidenciando una importante contaminación de las aguas residuales. Estos virus, altamente resistentes y contagiosos, representan un riesgo significativo para la salud pública y el ambiente debido a su capacidad de persistir en las aguas sin tratamiento (Peláez et al., 2016).

La Figura 1 muestra que, en junio, se observó una menor diversidad de virus entéricos en comparación con julio, con ocho plantas presentando entre uno y tres virus. La región del noroeste mostró la menor diversidad, posiblemente debido a mayor incidencia de lluvias en los meses previos al muestreo, que generaron diluciones o arrastres de agua lluvia, además de variaciones climáticas regionales (Baque et al., 2021). En julio, como se evidencia en la Figura 2, se registró una mayor diversidad de virus, atribuida al muestreo realizado en la época seca, lo que probablemente favoreció la concentración de virus en las aguas residuales (Eugenio & De León Norberto, 2017). En agosto, (Figura 3) se evidenció la menor diversidad del análisis, con tres plantas sin virus y seis con solo un virus. Esto podría explicarse posiblemente por el desplazamiento de los habitantes del DMQ durante vacaciones y feriados, lo que redujo la carga de aguas residuales (Quito Informa, 2023).

Como menciona Farkas et al. (2018), la vigilancia de virus entéricos en aguas residuales resulta una herramienta indispensable, ya que estos suelen presentar brotes de forma estacional. Una supervisión constante puede proporcionar una alerta temprana que permita implementar

medidas preventivas, controlar los brotes y fortalecer la capacidad del sistema sanitario para responder a una mayor demanda de servicios de salud (The Rockefeller Foundation, 2023; Kasprzyk-Hordern et al., 2022; Keenum et al., 2024). Además, como mencionan Murray y Cohen (2016), el monitoreo molecular complementa de manera eficiente los sistemas tradicionales de vigilancia, como la búsqueda activa de casos y la vigilancia centinela. Estas metodologías pueden llegar a ser costosas y necesitan de personal capacitado para que se pueda dar la recolecta de datos y el análisis de estos. Asimismo, la eficiencia del monitoreo tradicional puede verse afectado por la calidad de información obtenida, ya que algunos casos de enfermedad podrían pasar desapercibidos por los servicios de salud debido a errores en su identificación o la falta del servicio. De igual forma, existen otros tipos de factores, como los patrones de búsqueda de atención médica y las limitaciones en el acceso a los servicios de salud, que también influyen en su precisión (Chacón et al., 2021). Por otro lado, la vigilancia molecular de virus entéricos permite analizar, en una sola porción de agua, una gran cantidad de muestras que representan no solo a un individuo, sino a toda una población (Chacón et al., 2020). De igual forma, como menciona Chacón et al. (2021), el monitoreo de afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales permite minimizar la incertidumbre sobre la cantidad de personas que aportan al flujo de aguas residuales y reduce duda sobre el origen de dicho flujo, aunque en el país existe la presencia de vertidos ilegales en lugares inadecuados, causando una posible alteración de la muestra. Asimismo, el estudio de afluentes de estas plantas reduce el efecto de dilución, facilitando una mejor detección de microorganismos patógenos. Ofrecen información rápida y confiable, y de forma independiente del nivel de atención médica buscado por la población, presenta una alta sensibilidad (Chacón et al., 2020). No obstante, la detección viral en aguas residuales puede enfrentar algunas limitaciones en la metodología, ya que la identificación de patógenos por métodos moleculares es compleja debido a la presencia de inhibidores en la PCR, la falta de un método único para lograr la

concentración de la muestra, y la ausencia de controles de calidad universales para determinar la eficiencia en la detección de virus en todos los tipos de virus entéricos (Haramoto et al., 2018).

Se ha logrado demostrar que regiones con sistemas de saneamiento bien establecidos, presentan una relación precisa entre la concentración de patógenos en aguas residuales y los patrones de infección en la comunidad, proporcionando información directa sobre los patógenos que están afectando a la población (Dzinamarira et al., 2022).

El análisis de las plantas de tratamiento también mostró patrones relevantes. En las plantas del noreste, sureste y centro, donde existe mayor densidad poblacional y una alta concentración de instalaciones hospitalarias (INEC, 2022; GAD DMQ, 2024), se observó una mayor diversidad de virus entéricos. Por otro lado, las regiones noroeste y suroeste, a pesar de tener menor densidad poblacional y baja presencia de centros de salud, presentaron una considerable presencia de material genético viral. Esto sugiere que otros factores, como la falta de sistemas de alcantarillado adecuados y la expansión poblacional acelerada, pueden influir significativamente en la contaminación viral de las aguas y la variación de la presencia de la diversidad en las muestras (Gobierno autónomo Descentralizado del Distrito Metropolitano de Quito, 2024).

Un ejemplo interesante de mencionar es la planta Nuevo Horizonte, que es un piloto experimental, sin mucha información pública, ubicada en una zona rural con menor densidad poblacional y un sistema de saneamiento menos desarrollado. Esta planta, mostró una menor diversidad viral, lo que podría deberse a las características de su ubicación y la baja concentración de actividad humana, basándose en la ubicación geográfica de la planta. En contraste, la planta Quitumbe, situada en una zona urbana con un sistema de alcantarillado bien definido, presentó altos niveles de contaminación. Esto se explica por el gran volumen de aguas residuales que recibe de 15 barrios del suroccidente de la ciudad, donde la circulación viral es

constante en la población (*La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Quitumbe Es el Modelo A Seguir Para Otras Que Se Construirán En la Ciudad*, 2024).

Es importante recordar que las aguas residuales no tratadas representan un riesgo significativo, ya que pueden filtrarse en fuentes de agua potable, agua subterránea o incluso ser utilizadas en actividades agrícolas. Esto perpetúa un ciclo de contaminación, donde los patógenos presentes en aguas de riego contaminan los productos agrícolas que luego son consumidos por humanos y animales, facilitando la propagación de enfermedades infecciosas (Chahal et al., 2016).

Nuestros resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias efectivas de tratamiento de aguas residuales en la región. El tratamiento incluye métodos físicos, químicos y biológicos permitirían disminuir la carga de patógenos y contaminantes, reducir los riesgos para la salud pública y el ambiente, y prevenir la degradación de los ecosistemas acuáticos. Además, una vigilancia constante de los virus entéricos en aguas residuales se presenta como una herramienta económica y eficiente para rastrear patógenos, anticipar brotes y fortalecer las estrategias de respuesta del sistema de salud (Santos et al., 2024; Obaideen et al., 2022). Es necesario realizar un tratamiento de las aguas residuales, pero se ha demostrado que los métodos tradicionales como el uso de filtros y radiación UV son capaces de disminuir la carga de virus entéricos, pero no de eliminarlos (Fitzhenry et al., 2015). De igual forma, se puede observar que estos mantienen su infectividad, a pesar de haber pasado por el tratamiento completo (Bisseux et al., 2018). La investigación se ha enfocado hacia el desarrollo de tecnologías avanzadas, como microfiltración, ultrafiltración, biorreactores de membrana, que han demostrado ser más efectivas y permiten la liberación de aguas postratamiento más limpias y fortalecer estrategias contra la contaminación viral en aguas residuales. Aunque esta técnica presenta limitantes como es el costo elevado y la sostenibilidad operativa (Ibrahim et al., 2021; Yan et al., 2024).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten ver la presencia de virus entéricos en aguas residuales del Distrito Metropolitano de Quito. Se pudo detectar rotavirus, adenovirus, norovirus, sapovirus y astrovirus y esto evidencia una fuerte o importante contaminación viral. Esta contaminación varía según el mes estudiado y los patrones de infección de cada virus. Se puede decir que la vigilancia molecular es una herramienta importante que permite la detección y el análisis de alta sensibilidad de diversos patógenos presentes en aguas y permite generar resultados que pueden brindar una perspectiva más representativa de la población de una región geográfica. Nuestros resultados destacan la necesidad urgente de mejorar el tratamiento de aguas residuales en la región, ya que en el Distrito Metropolitano de Quito apenas el 3.5 % de estas aguas son tratadas antes de ser liberadas al medio ambiente. Esta insuficiencia en el tratamiento agrava la contaminación de los ecosistemas acuáticos, afectando tanto a la biodiversidad como a la salud pública. Un adecuado tratamiento de las aguas residuales permite reducir la carga de contaminantes y patógenos, previniendo enfermedades infecciosas, evitando la contaminación de cuerpos de agua utilizados para consumo humano o riego, y promoviendo la conservación de este recurso limitado.

FIGURAS

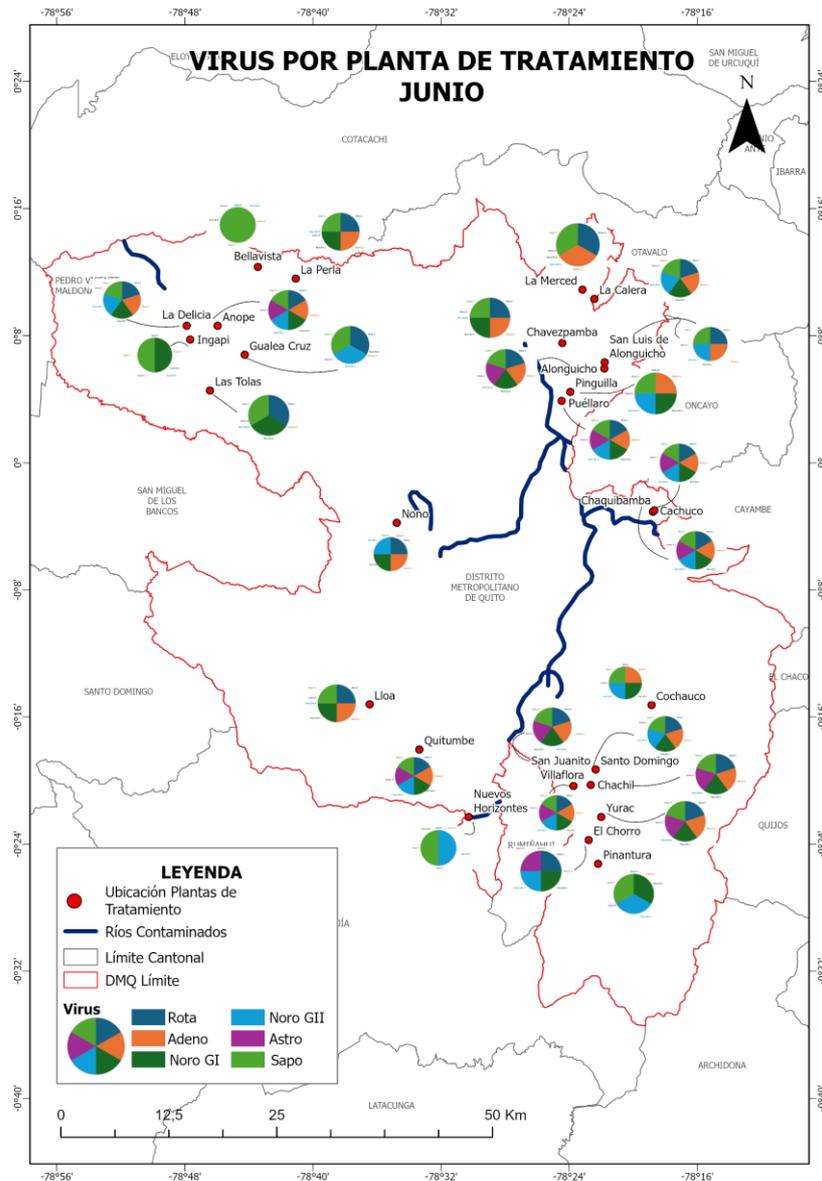


Figura 1. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de junio de 2023.

La presente figura tiene la ubicación de cada una de las plantas basándose en sus coordenadas. Sobre esta se encuentra la información de la presencia o ausencia de los diversos virus.

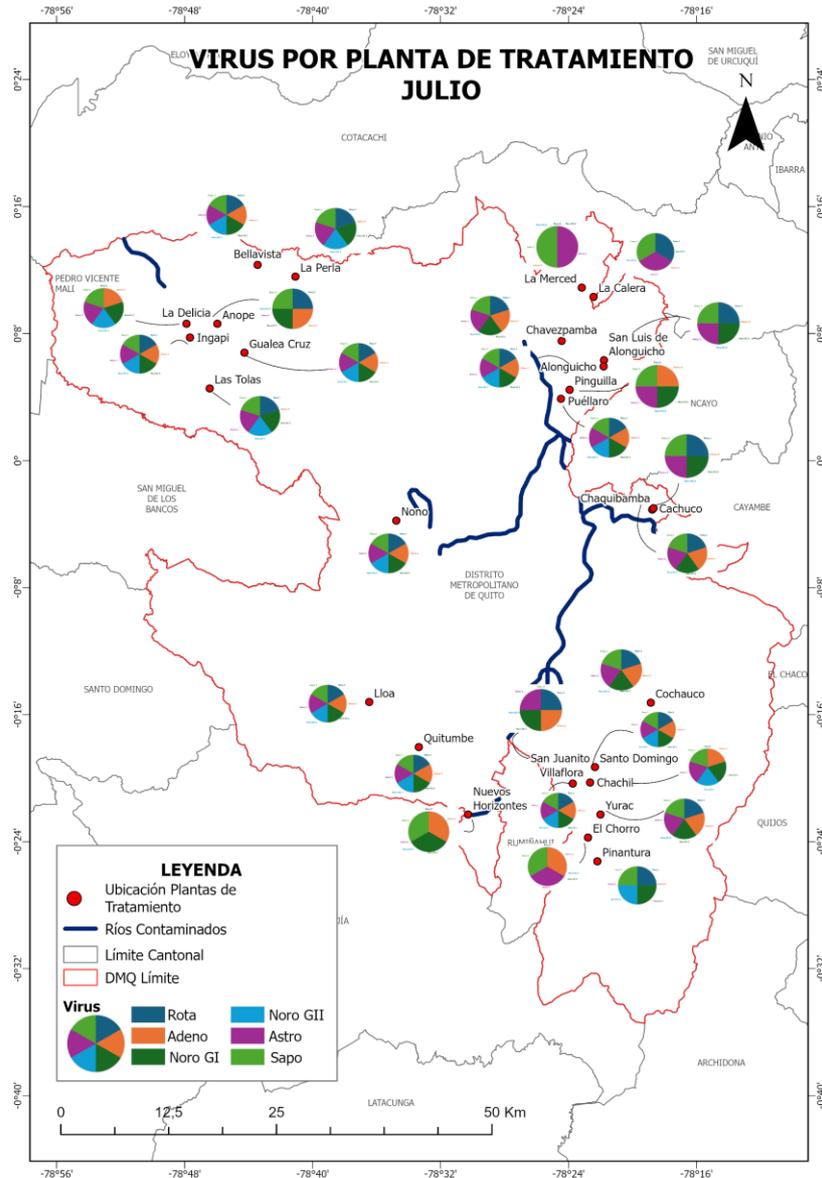


Figura 2. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de julio de 2023.

La presente figura tiene la ubicación de cada una de las plantas basándose en sus coordenadas. Sobre esta se encuentra la información de la presencia o ausencia de los diversos virus.

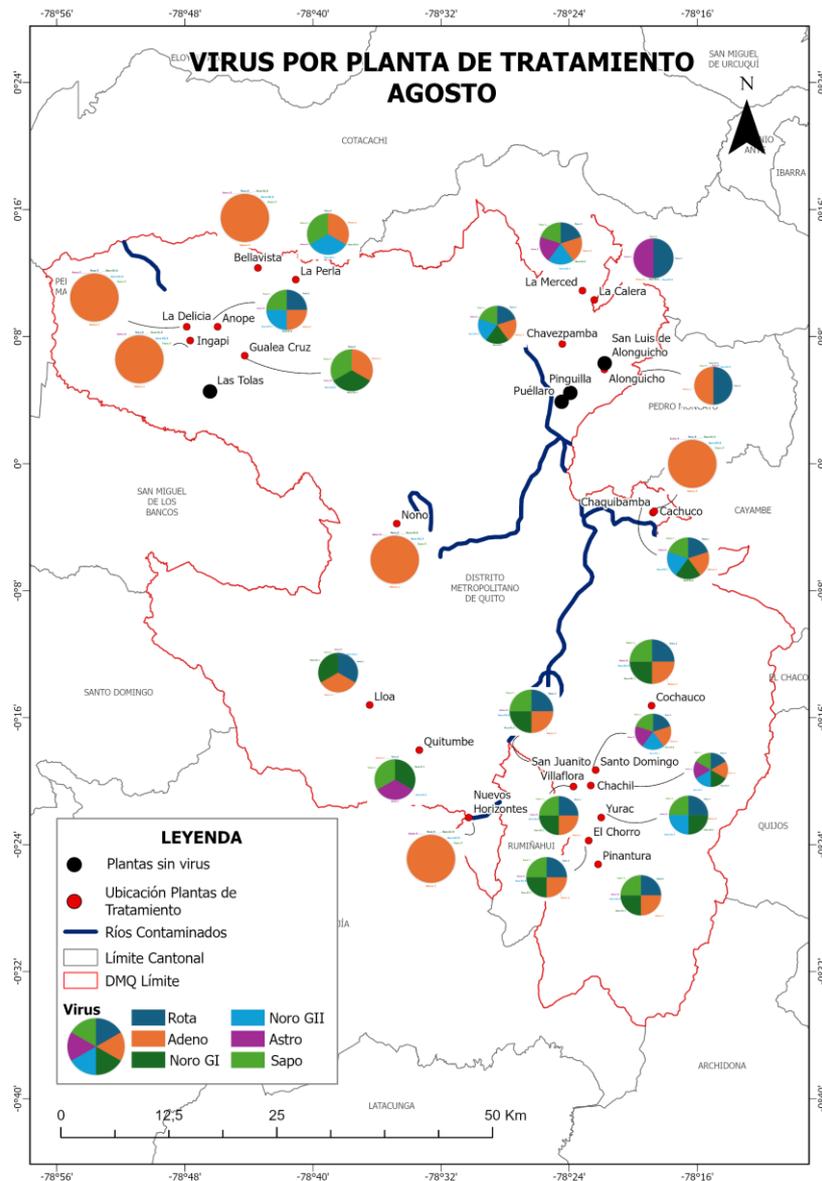


Figura 3. Mapa con la diversidad de los 5 virus entéricos en los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales del DMQ del mes de agosto de 2023.

La presente figura tiene la ubicación de cada una de las plantas basándose en sus coordenadas. Sobre esta se encuentra la información de la presencia o ausencia de los diversos virus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baque, E. E. L., Granda, V. D. V., & Chávez, M. D. V. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador: regiones sierra y oriente. *Dilemas Contemporáneos Educación Política y Valores*.
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2608>
- Bishop, R., & Kirkwood, C. (2008). Enteric viruses. En *Elsevier eBooks* (pp. 116-123).
<https://doi.org/10.1016/b978-012374410-4.00386-1>
- Bisseux, M., Colombet, J., Mirand, A., Roque-Afonso, A., Abravanel, F., Izopet, J., Archimbaud, C., Peigue-Lafeuille, H., Debroas, D., Bailly, J., & Henquell, C. (2018). 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. *Eurosurveillance*, 23(7). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es.2018.23.7.17-00237>
- Borja-Serrano, P., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Morales, G., Quilumbaqui, C., Tejera, E., & Machado, A. (2020). Determination of the Microbial and Chemical Loads in Rivers from the Quito Capital Province of Ecuador (Pichincha)—A Preliminary Analysis of Microbial and Chemical Quality of the Main Rivers. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17(14), 5048.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17145048>
- Boussettine, R., Hassou, N., Bessi, H., & Ennaji, M. M. (2019). Waterborne Transmission of Enteric Viruses and Their Impact on Public Health. En *Elsevier eBooks* (pp. 907-932).
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819400-3.00040-5>

- Capece, G., & Gignac, E. (2023, 14 agosto). *Norovirus*. StatPearls - NCBI Bookshelf.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513265/>
- Chacón, L., Barrantes, K., Santamaría-Ulloa, C., Solano, M., Reyes, L., Taylor, L., Valiente, C., Symonds, E. M., & Achí, R. (2020). A Somatic Coliphage Threshold Approach To Improve the Management of Activated Sludge Wastewater Treatment Plant Effluents in Resource-Limited Regions. *Applied And Environmental Microbiology*, 86(17). <https://doi.org/10.1128/aem.00616-20>
- Chacón, L., Morales, E., Valiente, C., Reyes, L., & Barrantes, K. (2021). Wastewater-Based Epidemiology of Enteric Viruses and Surveillance of Acute Gastrointestinal Illness Outbreaks in a Resource-Limited Region. *American Journal Of Tropical Medicine And Hygiene*, 105(4), 1004-1012. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0050>
- Chahal, C., Van Den Akker, B., Young, F., Franco, C., Blackbeard, J., & Monis, P. (2016). Pathogen and Particle Associations in Wastewater. *Advances In Applied Microbiology*, 63-119. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2016.08.001>
- Choi, P. M., Tschärke, B. J., Donner, E., O'Brien, J. W., Grant, S. C., Kaserzon, S. L., Mackie, R., O'Malley, E., Crosbie, N. D., Thomas, K. V., & Mueller, J. F. (2018). Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future. *TrAC Trends In Analytical Chemistry*, 105, 453-469. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004>
- Das, R., Haque, M. A., Kotloff, K. L., Nasrin, D., Hossain, M. J., Sur, D., Ahmed, T., Levine, M. M., Breiman, R. F., Faruque, A. S. G., & Freeman, M. C. (2024). Enteric viral pathogens and child growth among under-five children: findings from South Asia and sub-Saharan Africa. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64374-0>

Dzinamarira, T., Pierre, G., Iradukunda, P. G., Tungwarara, N., Mukwenha, S., Mpabuka, E., Mataruka, K., Chitungo, I., Musuka, G., & Murewanhema, G. (2022).

Epidemiological surveillance of enteric viral diseases using wastewater in Africa – A rapid review. *Journal Of Infection And Public Health*, 15(6), 703-707.

<https://doi.org/10.1016/j.jiph.2022.05.010>

Espinosa-García, A. C., Arias-Ortíz, C. F., & Mazari-Hiriart, M. (2004). Virus en sistemas acuáticos e implicaciones en salud pública. *Hidrobiológica*, 14(2), 166-178.

Recuperado el 11 de diciembre de 2024, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972004000200011&lng=es&tlng=es.

Eugenio, V. R., & De León Norberto, M. (2017). *Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador*.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200008&lng=es&tlng=es.

Farkas, K., Cooper, D. M., McDonald, J. E., Malham, S. K., De Rougemont, A., & Jones, D.

L. (2018). Seasonal and spatial dynamics of enteric viruses in wastewater and in riverine and estuarine receiving waters. *The Science Of The Total Environment*, 634, 1174-1183.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.038>

Fitzhenry, K., Barrett, M., O’Flaherty, V., Dore, W., Cormican, M., Eil Rowan, N., &

Clifford, E. (2015). The effect of wastewater treatment processes, in particular ultraviolet light treatment, on pathogenic virus removal. *EPA Research Report*.

<https://researchrepository.universityofgalway.ie/server/api/core/bitstreams/e95a1e34-33b1-4839-8708-32f3cf61748a/content>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2023, 24 agosto). *Las aguas residuales pueden proporcionar energía a 500 millones de personas*. Noticias ONU.

<https://news.un.org/es/story/2023/08/1523557>

García, L. (2012). *La basura: consecuencias ambientales y desafíos*.

<https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios>

Gobierno autónomo Descentralizado del Distrito Metropolitano de Quito. (2024). Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 2024-2033. En *Apéndice 2 Diagnóstico Por Ejes*.

<https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Apendice-2.-Diagnostico-por-ejes.pdf>

Hall, A. J. (2012). Noroviruses: the perfect human pathogens? *The Journal Of Infectious Diseases*, 205(11), 1622-1624. <https://doi.org/10.1093/infdis/jis251>

Haramoto, E., Kitajima, M., Hata, A., Torrey, J. R., Masago, Y., Sano, D., & Katayama, H. (2018). A review on recent progress in the detection methods and prevalence of human enteric viruses in water. *Water Research*, 135, 168–186.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.062>

Ibrahim, Y., Ouda, M., Kadadou, D., Banat, F., Naddeo, V., Alsafar, H., Yousef, A. F., Barceló, D., & Hasan, S. W. (2021). Detection and removal of waterborne enteric viruses from wastewater: A comprehensive review. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105613. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105613>

- Jan, I., Ahmad, T., Wani, M. S., Dar, S. A., Wani, N. A., Malik, N. A., & Tantary, Y. R. (2022). Threats and consequences of untreated wastewater on freshwater environments. En *Elsevier eBooks* (pp. 1-26). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91893-0.00009-2>
- Kasprzyk-Hordern, B., Adams, B., Adewale, I., Agunbiade, F., Akinyemi, M., Archer, E., Badru, F., Barnett, J., Bishop, I., Di Lorenzo, M., Estrela, P., Faraway, J., Fasona, M., Fayomi, S., Feil, E., Hyatt, L., Irewale, A., Kjeldsen, T., Lasisi, A., . . . Yinka-Banjo, C. (2022). Wastewater-based epidemiology in hazard forecasting and early-warning systems for global health risks. *Environment International*, *161*, 107143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107143>
- Keenum, I., Lin, N. J., Logan-Jackson, A., Gushgari, A. J., D'Souza, N., Steele, J. A., Kaya, D., & Gushgari, L. R. (2024). Optimizing Wastewater Surveillance: The Necessity of Standardized Reporting and Proficiency for Public Health. *American Journal Of Public Health*, *114*(9), 859-863. <https://doi.org/10.2105/ajph.2024.307760>
- Khalid, S., Shahid, M., Natasha, N., Bibi, I., Sarwar, T., Shah, A. H., & Niazi, N. K. (2018). A Review of Environmental Contamination and Health Risk Assessment of Wastewater Use for Crop Irrigation with a Focus on Low and High-Income Countries. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, *15*(5), 895. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>
- Kitajima, M., Haramoto, E., Phanuwat, C., Katayama, H., & Furumai, H. (2012). Molecular detection and genotyping of human noroviruses in influent and effluent water at a wastewater treatment plant in Japan. *Journal Of Applied Microbiology*, *112*(3), 605-613. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05231.x>

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Quitumbe es el modelo a seguir para otras que se construirán en la ciudad. (2024, 6 septiembre).

<https://www.quitoinforma.gob.ec/2024/09/06/la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ptar-quitumbe-es-el-modelo-a-seguir-con-las-otras-que-se-construiran-en-la-urbe/>

Murray, J., & Cohen, A. L. (2016). Infectious disease surveillance. En *Elsevier eBooks* (pp. 222-229). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803678-5.00517-8>

National Institutes of Health. (2022, 30 agosto). *Treatment of Viral Gastroenteritis (“Stomach Flu”)*. National Institute Of Diabetes And Digestive And Kidney Diseases. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/digestive-diseases/viral-gastroenteritis/treatment>

Obaideen, K., Shehata, N., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Mahmoud, M. S., & Olabi, A. (2022). The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, 7, 100112.

<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112>

Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Las aguas residuales ofrecen pistas sobre enfermedades emergentes*. OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud.

<https://www.paho.org/es/historias/aguas-residuales-ofrecen-pistas-sobre-enfermedades-emergentes>

Peláez, D., Guzmán, B. L., Rodríguez, J., Acero, F., & Nava, G. (2016). Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. *Biomédica*, 36, 169.

<https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.2987>

Phan, T. G., Khamrin, P., Quang, T. D., Dey, S. K., Takanashi, S., Okitsu, S., Maneekarn, N., & Ushijima, H. (2007). Detection and Genetic Characterization of Group A Rotavirus Strains Circulating among Children with Acute Gastroenteritis in Japan. *Journal Of Virology*, 81(9), 4645-4653. <https://doi.org/10.1128/jvi.02342-06>

Phillips, A. (2021, 24 febrero). La historia de la humanidad contada a través de la basura. *La Vanguardia*.

<https://www.lavanguardia.com/historiayvida/20210220/6255806/historia-humanidad-contada-traves-basura.html>

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe cumple con normativa ambiental.

(2024, 26 marzo). <https://www.quitoinforma.gob.ec/2024/03/26/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-quitumbe-cumple-con-normativa-ambiental/>

Primicias, R. (2022, 5 marzo). Solo el 3,5% de las aguas residuales en Quito recibe tratamiento. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/primicias-tv/sociedad/quito-plantas-tratamiento-aguas-contaminadas/#:~:text=Next-.Solo%20el%203%2C5%25%20de%20las%20aguas%20residuales%20en%20Quito,millones%20de%20habitantes%20de%20Quito.>

Quito Informa. (2023, 31 agosto). *1,2 millones de personas viajaron en vacaciones desde las terminales interprovinciales.* <https://www.quitoinforma.gob.ec/2023/08/31/12-millones-de-personas-viajaron-en-vacaciones-desde-las-terminales-interprovinciales/>

Santos, M. C. D., Silva, A. C. C., Teixeira, C. D. R., Prazeres, F. P. M., Santos, R. F. D., De Araújo Rolo, C., De Souza Santos, E., Da Fonseca, M. S., Valente, C. O., Hodel, K. V. S., Fonseca, L. M. D. S., Fiuza, B. S. D., De Freitas Bueno, R., De Andrade, J. B.,

& Machado, B. A. S. (2024a). Wastewater surveillance for viral pathogens: A tool for public health. *Heliyon*, 10(13), e33873. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33873>

Srinivasan, J. T., & Reddy, V. R. (2009). Impact of irrigation water quality on human health: A case study in India. *Ecological Economics*, 68(11), 2800-2807.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.04.019>

The Rockefeller Foundation. (2023, 23 mayo). *Wastewater Surveillance: Vital for an Outbreak Early Warning System*.
<https://www.rockefellerfoundation.org/pandemicpreventioninitiative/wastewater-surveillance-vital-for-an-outbreak-early-warning-system/#:~:text=Wastewater%20surveillance%20is%20a%20powerful,present%20in%20a%20healthcare%20system.>

Usman, N., & Suarez, M. (2023, enero 9). Adenoviruses. En *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Recuperado el 10 de diciembre de 2024, de
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559072/>

World Health Organization: WHO. (2023, 23 octubre). *Una sola salud*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/one-health#:~:text=%C2%ABUna%20sola%20salud%C2%BB%20es%20un%20enfoque%20integral%20y%20unificador%20cuyo,vigilancia%20y%20control%20de%20enfermedades.>

Yan, C., Liu, L., Zhang, T., Hu, Y., Pan, H., & Cui, C. (2024). A comprehensive review on human enteric viruses in water: Detection methods, occurrence, and microbial risk assessment. *Journal Of Hazardous Materials*, 480, 136373.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136373>

Yoneda, M., Nakano, M., Sugimoto, D., Inada, M., Fujitani, M., & Kitahori, Y. (2016).

Epidemiological Characteristics of Sapovirus and Human Astrovirus Detected among Children in Nara Prefecture, Japan, during the 2009/2010–2014/2015 Seasons.

Japanese Journal Of Infectious Diseases, 70(1), 87-91.

<https://doi.org/10.7883/yoken.jjid.2015.529>

ANEXOS

Anexo 1: Coordenadas geográficas de las plantas de tratamiento muestreadas

N°	Plantas de tratamiento	Coordenadas		Parroquia
1	Cochauco	0° 15' 14.903" S	78° 18' 52.103" W	Pifo
2	La Perla	0° 11' 34.974" N	78° 41' 5.023" W	Nanegal
3	Gualea Cruz	0°06'47.4" N	78° 44'16.2" W	Gualea
4	Quitumbe	0° 18' 2.495" S	78° 33' 21.608" W	Quitumbe
5	Nono	0° 3' 46.5" S	78° 34' 46.023" W	Nono
6	Lloa	0° 15' 12.748" S	78° 36' 28.186" W	Lloa
7	Bellavista	0°12'19.0980" N	78°43'26.3400" W	Gualea
8	Ingapi	0°07'45.310" N	78°47'40.1880" W	Pacto
9	San Luis de Alonguicho	0°06'19.6920" N	78°21'46.6200" W	Puéllaro
10	Pinguilla	0°04'27.8300" N	78°23'55.5000" W	Puéllaro
11	Alonguicho	0°05'55.6560" N	78°21'48.3300" W	Puéllaro
12	Puéllaro	0°03'53.1"N	78°24'28.6"W	Puellaro
13	Las Tolas	0°04'32.9040" N	78°46'25.9020" W	Gualea
14	La Delicia	0°8'37.5420" N	78°47'53.2720 W	Pacto
15	Cachuco	0° 3' 4.841" S	78° 18' 45.661" W	Guayllabamba
16	Chaquibamba	0°03'00.3" S	78°18'41.0" W	Puéllaro
17	Yurac	0° 22' 16.836" S	78° 21' 59.907" W	Pintag
18	Chachil	0° 20' 16.152" S	78° 22' 39.715" W	Pintag
19	Villaflora	0° 20' 20.204" S	78° 23' 44.679" W	Pintag
20	El Chorro	0° 23' 44.123" S	78° 22' 47.26" W	Pintag
21	Santo Domingo	0° 19' 18.416" S	78° 22' 21.146" W	Pintag
22	La Calera	0°10'18.9660" N	78°22'26.0880" W	San José de Minas
23	Chavezpamba	0° 7' 32.704" N	78° 24' 26.27" W	Chavezpamba
24	La Merced	0° 10' 53.973" N	78° 23' 10.65" W	San José de Minas
25	Nuevos Horizontes	0° 22' 17.004" S	78° 30' 16.421" W	Amaguaña
26	San Juanito	0° 19' 18.416" S	78° 22' 21.146" W	Pintag
27	Pinantura	0° 25' 14.626" S	78° 22' 11.782" W	Pintag
28	Anope	0° 8' 30.402" N	78° 46' 3.018" W	Pacto

En la presente tabla se puede visualizar las ubicaciones geográficas de las 28 plantas de tratamiento. De igual forma se puede observar el nombre y la parroquia en la que se ubica.