



**Vigilancia del SARS-CoV-2 en el sistema de alcantarillado del municipio de Marinilla  
como herramienta de alerta temprana para la detección del virus.**

Jessica Johanna Llano Ríos

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Sanitario

Asesora

Diana Catalina Rodríguez Loaiza, Doctor (PhD)

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Sanitaria  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Llano Ríos, 2022)
<b>Referencia</b>	Llano Ríos, 2022. <i>Vigilancia del SARS-CoV-2 en el sistema de alcantarillado del municipio de Marinilla como herramienta de alerta temprana.</i>
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Grupo de Investigación Gestión y Modelación Ambiental (GAIA).

Sede de Investigación Universitaria (SIU).



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3 ESTADO DEL ARTE.....	10
4 METODOLOGÍA.....	14
4.1 Sitios de muestreo.....	14
4.1.1 Marinilla.....	14
4.1.2 San Vicente.....	14
4.1.3 Granada.....	15
4.2 Muestreos en campo.....	15
4.2.1 PTAR.....	15
4.2.2 Red de alcantarillado Marinilla.....	17
4.3 Análisis de laboratorio.....	19
4.3.1 Análisis fisicoquímico.....	19
4.3.2 Detección y cuantificación del SARS-CoV-2.....	20
5 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	21
5.1. Análisis fisicoquímicos.....	21
5.1.1 Análisis de la DQO en la red de alcantarillado de Marinilla.....	21
5.1.2 Análisis de la DQO en las PTAR.....	22
5.1.3 Análisis de los sólidos suspendidos totales (SST) en la red de alcantarillado.....	23
5.1.4 Análisis de los sólidos suspendidos en las PTAR.....	24
5.1.5 Análisis de pH en la red de alcantarillado de Marinilla.....	25
5.1.6 Análisis de pH en las PTAR.....	26
5.2 Correlaciones con el SARS-COV-2.....	27
5.2.1 correlación con parámetros fisicoquímicos en el Alcantarillado de Marinilla.....	27
5.2.2 Correlación con parámetros fisicoquímicos en las PTAR.....	28
5.3 Mapa de riesgo.....	29
6. Conclusiones.....	33
7. Agradecimientos.....	34
8. Bibliografía.....	34

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de los municipios de estudio.....	14
<b>Figura 2.</b> Toma de muestras en el afluente de la red de alcantarillado de Marinilla. Fuente: propia.....	18
<b>Figura 3.</b> Ubicación de los puntos del muestreo en la red de alcantarillado.....	18
<b>Figura 4.</b> DQO red de alcantarillado de Marinilla.....	20
<b>Figura 5.</b> DQO promedio para cada municipio.....	21
<b>Figura 6.</b> SST red de alcantarillado Marinilla.....	22
<b>Figura 7.</b> SST promedio para cada municipio.....	23
<b>Figura 8.</b> pH red de alcantarillado Marinilla .....	23
<b>Figura 9.</b> Promedio de pH en cada municipio.....	24
<b>Figura 10.</b> Evaluación parámetros fisicoquímicos Vs Copias del gen en la red del alcantarillado de Marinilla.....	25
<b>Figura 11.</b> Relación de las copias del gen Vs casos activos en el municipio de Marinilla.....	26
<b>Figura 12</b> Relación de las copias del gen Vs casos activos en el municipio de Granada. .....	27
<b>Figura 13.</b> Relación de las copias del gen Vs casos activos en el municipio de San Vicente .....	27
<b>Figura 14.</b> Correlación entre casos activos y copias de gen .....	28
<b>Figura 15.</b> Mapa de riesgo del SARS-CoV-2 en el municipio de Marinilla.....	29
<b>Figura 16.</b> Manjoles en alerta roja en el mapa de riesgo.....	30
<b>Figura 17.</b> Mapa de riesgo al sur de Marinilla.....	31
<b>Figura 18.</b> Mapa de riesgo sur-oriente de Marinilla.....	31

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Fechas de muestreos PTAR.....	15
<b>Tabla 2.</b> Datos de COVID PTAR.....	17
<b>Tabla 3.</b> Fechas de muestreos alcantarillados Marinilla.....	17
<b>Tabla 4.</b> Datos de COVID alcantarillado Marinilla.....	19

## RESUMEN

Una de las estrategias para el control de la pandemia causada por el SARS-CoV-2 es la identificación de personas infectadas y sus posibles contactos mediante la detección del genoma viral y/o de anticuerpos dirigidos contra el virus. Sin embargo, teniendo en cuenta que hay un porcentaje importante de personas que desarrollan infección asintomática y dado que no es posible hacer test a toda la población, la proporción real de personas infectadas en los diferentes países, incluido Colombia, es mayor a lo que indican los reportes oficiales y aunque la capacidad de realizar pruebas de detección a la población y su rapidez ha aumentado, siguen existiendo demoras en las pruebas. Por esta razón, es necesario buscar estrategias que permitan realizar el seguimiento a la población de forma masiva, no invasiva y de bajo costo y de esta manera tomar las medidas de control que sean acordes con la situación.

En este estudio, se evaluaron las aguas residuales domésticas (ARD), como un vínculo potencial para la detección del virus SARS-CoV-2, en afluentes de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) de los municipios de Marinilla, Granada y San Vicente Ferrer y en la red del alcantarillado de Marinilla del Oriente Antioqueño. Se presenta el estado del arte como base de estudio a las diferentes investigaciones que se han llevado a cabo en relación al virus SARS-CoV-2 y las aguas residuales domésticas, adicionalmente, los muestreos realizados en cada una de las PTAR y los manjoles de estudio permitieron monitorear la circulación del virus y su correlación con análisis fisicoquímicos, evaluando parámetros como el pH, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST), con la carga viral presente en la materia orgánica.

**Palabras Claves:** Epidemiología basada en aguas residuales, SARS-CoV-2, Alerta temprana.

## ABSTRACT

One of the strategies for the control of the pandemic caused by SARS-CoV-2 is the identification of infected people and their possible contacts by detecting the viral genome and/or antibodies directed against the virus. However, taking into account that there is a significant percentage of people who develop asymptomatic infection and given that it is not possible to test the entire population, the real proportion of infected people in different countries, including Colombia, is higher than indicated the official reports and although the capacity to carry out screening tests to the population and its speed has increased, there are still delays in the tests. For this reason, it is necessary to look for strategies that allow mass, non-invasive and low-cost monitoring of the population and thus take control measures that are commensurate with the situation.

In this study, domestic wastewater (DW) was evaluated as a potential link for the detection of the SARS-CoV-2 virus, in influents of the wastewater treatment plants (WWTP) of the municipalities of Marinilla, Granada and San Vicente Ferrer from Oriente Antioqueño. The state of the art is presented as a study basis for the different investigations that have been carried out in relation to the SARS-CoV-2 virus and domestic wastewater, additionally, the samplings carried out in each of the WWTPs allowed to monitor the circulation of the virus and its correlation with physicochemical analysis, evaluating parameters such as pH, Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS), with the viral load present in organic matter.

**Keywords:** Wastewater based epidemiology -WBE, SARS-CoV-2, Early warning

# 1 INTRODUCCION

El mundo atraviesa una emergencia sanitaria debido al brote del COVID-19, una enfermedad causada por el síndrome agudo respiratorio severo coronavirus 2 (SARS-CoV-2) perteneciente a una familia de virus que causan infecciones respiratorias y gastrointestinales agudo, leve o grave. Desde su primer caso informado a fines de 2020, el COVID-19 ahora se ha confirmado en 222 países y territorios con 424 822 073 casos confirmados y 5 890 312 muertes confirmadas según los datos oficiales disponibles en el sitio web de la Organización Mundial de la Salud el 22 de febrero de 2022 (WHO 2021). Los gobiernos nacionales han tomado acciones en esta problemática realizando bloqueos, cuarentenas, restricciones de vuelos, cierre de comercio y de escuelas, implementación de la vacuna con tres dosis, pues esto debido a que resulto una nueva cepa del virus llamado omicron.

Estudios recientes han indicado que el virus del SARS-COV-2 contiene ácido nucleico (ARN) y que se transmite principalmente por el aire y gotas de saliva, sin embargo hay investigaciones que muestran que pacientes con síntomas gastrointestinales contienen el virus en sus heces. Si bien, los sistemas de monitoreo y vigilancia del COVID-19 en las clínicas son muy específicas existen algunas discrepancias que las hacen menos eficientes, por ende muchos científicos a nivel mundial optaron como una medida alternativa a la epidemiología basada en las aguas residuales para monitorear, predecir, cuantificar y tomar decisiones frente al virus del SARS-COV-2.

Este virus es transmitido por gotas de saliva, contacto directo con superficies contaminadas entre otros, las personas que son infectadas son aisladas en hospitales o en sus hogares, estas personas hacen uso de las instalaciones sanitarias donde sus heces y orinas son excretadas por los alcantarillados y es allí donde el genoma del virus empieza su recorrido por las tuberías finalmente llegando al afluente de las plantas de tratamiento de las aguas residuales PTAR, por esta razón la correlación entre las heces y las copias del virus SARS-COV-2 permite conocer entre otras las características del comportamiento del gen cuando este llega al efluente de la PTAR y los cambios que presenta después de tratarse del agua, correlacionando parámetros como el pH, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) con la carga viral presentes en la materia orgánica. Además, Al conocer el número de personas que se encuentran infectadas dentro de una población, es posible obtener información del posible ingreso del virus SARSCoV-2 al sistema de alcantarillado a través de la materia fecal.

En este estudio se llevará a cabo un seguimiento de la propagación y comportamiento del virus SARS-CoV-2 en el sistema de alcantarillado del municipio de Marinilla, Para esto, se emplearán los planos del sistema de alcantarillado y se realizará el análisis de la presencia del virus mediante toma de muestras en el sistema, y posteriormente, con la ayuda del software AUTOCAD se podrán ubicar las redes de tuberías del alcantarillado y así poder definir cuáles son las zonas de mayor incidencia del COVID 19. La Identificación del comportamiento del SARS-CoV-2 en el agua residual entre los puntos de tratamiento y distribución, permitirá generar una herramienta que calcule la circulación del virus en tiempo real, y que servirá de apoyo para las entidades promotoras de salud de manera que puedan generar una alerta temprana a la

población no infectada por el virus SARS-CoV-2 donde se podrán tener medidas de precaución adecuadas para toda la comunidad.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Generar una alerta temprana de la presencia del COVID 19 en el municipio de Marinilla, a través de la evaluación de la presencia del SARS-COV-2 en las aguas residuales y su distribución en el sistema de alcantarillado.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Evaluar parámetros fisicoquímicos como (pH, la DQO y, los SST) en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Marinilla y su correlación frente a la presencia del SARS-CoV-2.
- ✓ Vigilar la circulación del virus a través del sistema de alcantarillado del municipio de Marinilla, definiendo las zonas de mayor incidencia del SARS-CoV-2 y generando estrategias de control y vigilancia epidemiológica.
- ✓ Definir un mapa de riesgo para el municipio de Marinilla definiendo las zonas de mayor y menor influencia del SARS-CoV-2, según el sistema de alcantarillado.

### 3 ESTADO DEL ARTE

Las aguas residuales son todas aquellas que por acciones antropogénicas del ser humano han sido contaminadas bien sea desde lo doméstico, ganadero, industrial, minería y demás. De este modo podemos encontrar que las aguas residuales tienen diferentes contaminantes según sus usos bien sea sólidos o disueltos. Así podemos clasificar las aguas residuales según los contaminantes como: los de uso doméstico (jabones, detergentes, aceites, contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables), procedentes de la industria (metales pesados y elementos químicos artificiales), productos sólidos (papel higiénico, toallas de algodón, plásticos), ganadería extensiva (contaminantes derivados tanto de ciertos productos químicos que se usan para criar al ganado como los desechos fecales y orina de los animales que permanecen en estabulación) y las aguas lluvias donde al llegar a los alcantarillados termina mezclándose con las aguas residuales. (Ecología verde, 2022). Estas aguas residuales son llevadas a los sistemas de tratamiento las cuales tienen tratamientos primarios como: la rejilla (reducen el material), desarenador (separa las arenas), vertedor o canal de aforo y sedimentación primaria (separa los sólidos disueltos); tratamientos secundarios como: sedimentador secundario, lodos activados, reactores FAFA, biofiltros, y tratamientos terciarios como biogás. (Franco et al. 2002).

En Colombia no se cuenta con la mejor tecnología para el tratamiento de estas aguas incluso existen municipios donde aún no cuentan con sistemas de tratamiento y estas terminan contaminando nuestros ecosistemas acuáticos, como dice Vargas “Las plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia son una alternativa de final de tubo para el control de la contaminación. Según lo establecido en la normatividad colombiana, la calidad de un efluente doméstico debe cumplir con la Resolución 631 del 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al verse en una fuente superficial. En Colombia, es necesario avanzar en las técnicas de tratamiento de las aguas residuales domésticas ARD, con el fin de disminuir la contaminación en los recursos hídricos, por tal motivo, se deben planificar plantas de tratamiento de aguas residuales en los municipios o zonas donde no presentan un sistema de tratamiento, las cuales consideren el crecimiento de la población y garanticen una buena eficiencia de remoción de materia orgánica y otros contaminantes” (Vargas et al., 2020).

Actualmente el mundo se encuentra en una emergencia sanitaria debido al brote del covid-19 que es una neumonía viral a causa del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus (SARS-COV-2), en pocos meses de su aparición ha infectado a millones de personas. Los gobiernos han tomado acciones frente a esta problemática ejecutando cuarentenas y bloqueos y es allí donde comienza la búsqueda e investigación por parte de todos los científicos del mundo sobre el SARS-COV-2. (Kataki et al. 2021; Chatterjee et al. 2021). La Organización Mundial de la Salud, junto con varias agencias de salud internacionales y nacionales, trabajan continuamente de manera sinérgica para explorar las formas de detectar, diagnosticar, prevenir, contener y tratar los casos altamente infecciosos de COVID-19 a nivel comunitario. En todo el mundo, los investigadores médicos y los epidemiólogos siguen encontrando y explorando nuevas formas de examinar, prevenir y tratar la enfermedad (Dai et al. 2020; He et al. 2021). Una de las nuevas formas de analizar el coronavirus es a través del monitoreo de

las aguas residuales municipales (Gostin et al. 2020 ; Lahrich et al. 2020 ). El SARS-CoV-2 es un virus con envoltura de ARN monocatenario de sentido positivo que pertenece al género *Betacoronavirus* en la familia *Coronaviridae* (Orden Nidovirales). La infección causada por el SARS-CoV-2 se caracteriza típicamente por síntomas respiratorios, indicativos de transmisión por el aire y por gotitas ( Chan et al., 2020 ). Sin embargo, una proporción significativa de pacientes infectados con COVID-19 también muestran síntomas gastrointestinales y/o excreción viral en las heces que duran más que las del tracto respiratorio (Holshue et al., 2020; Xu et al., 2020 ; Xiao et al., 2020a). ; Wu et al., 2020a , Wu et al., 2020b).

A diferencia de otros microorganismos, como las bacterias, los virus no crecen fuera de las células huésped. Por lo tanto, los virus humanos en las aguas residuales pueden representar las concentraciones excretadas por la población humana correspondiente siempre que persistan el tiempo suficiente (2 a 4 días) para ser detectados ( Carducci et al., 2020 ; Kitajima et al., 2020 ). Por lo tanto, el monitoreo de los cambios temporales en las concentraciones virales y la diversidad en las muestras de aguas residuales de la comunidad puede usarse no solo para determinar la verdadera extensión de la infección en la población, sino también la aparición de nuevas cepas virales y la detección temprana de nuevos brotes virales (Adriaenssens et al. al., 2008; Ahmed et al., 2020 ; Daughton, 2020 ; Hart y Halden, 2020 ).

El sistema de vigilancia de las aguas residuales anteriormente se ha utilizado para brotes virales como la poliomielitis, polivirus, hepatitis A y gastroenteritis.

Los sistemas de vigilancia para el SARS-COV-2 en las clínicas tienen ciertas limitaciones debido a que hay un porcentaje de pacientes que son asintomáticos, los cuales no son notificados, lo que da como resultado una subestimación considerable de la infección, además aunque las pruebas individuales sean más precisas, la estimación de la infección tarda días lo cual es algo desafiante a la hora de recopilar información y para dar prueba de este seguimiento se deben repetir las pruebas lo que económicamente para muchos países no es posible.( Mizumoto et al., 2020 ; Oran y Topol, 2020 ; Wang et al., 2020).)

La información biológica que contienen las aguas residuales puede utilizarse como un sistema de vigilancia imparcial y reflejo de la salud de la comunidad. Los virus humanos en las aguas residuales son, por naturaleza, marcadores biológicos de su propia circulación en las poblaciones debido a su ADN o ARN. Su detección en los afluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) puede sugerir fuentes humanas y, por lo tanto, indicar qué enfermedades están circulando dentro de una población casi en tiempo real. (Polo et.al 2020; Romalde et.al 2020). Los sistemas de vigilancia en las aguas residuales son más económicos, proporciona resultados más rápidos y puede monitorear una amplia variedad de enfermedades virales emergentes.

El virus es fácilmente encontrado en las aguas residuales domesticas lo que es de gran importancia tomar muestreos en los alcantarillados ubicados en puntos de concurrencia del sitio de estudio, ya que en las plantas de tratamiento llegan las aguas industriales y domesticas lo que cambiaría los resultados de la estimación del virus, existen muestreadores automáticos pero estos tardan 24 horas en recolectar la muestra y además la refrigeración de estas

muestras en este lapso tiempo es bastante costoso, lo que en algunos sitios es más práctico realizar muestreos manuales. ( O'Brien y Xagorarakis, 2020 )

El SARS-CoV-2 es cuantificado mediante un ensayo de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) basado en ácido nucleico. Sin embargo, los concentrados de extracción de virus de muestras de aguas residuales a menudo contienen diversos inhibidores de la PCR, incluidas grasas, proteínas y sustancias húmicas, que interfieren con la reacción de la PCR ( Gibson et al., 2012 ). También contribuyen al sesgo en el análisis metagenómico ( Hall et al., 2014). ). La detección y cuantificación de SARS-CoV-2 en aguas es un desafío complejo, considerando el efecto de dilución que podrían tener dependiendo del caudal, el cual podría fácilmente opacar la concentración detectable, más aún cuando se utilizan volúmenes pequeños para la extracción y purificación (Bogler et al., 2020). Aunque la RT-PCR es una técnica bien establecida, persisten desafíos en el proceso de detección del ARN viral, desde la recolección y el tratamiento iniciales de la muestra hasta la amplificación y detección.

Sin embargo existen necesidades de evaluar los métodos de PCR por diferentes laboratorios para lograr un estado de verificación y estandarización. Actualmente no es posible comparar los datos como contenido viral entre los laboratorios de diferentes países, pues existen discrepancias en las plataformas de PCR, los inhibidores, la eficiencia de extracción de ácidos nucleicos y solo se puede decir que se detectó el virus, cada protocolo es diferente y requieren estandarización como el método de concentración, el ensayo de PCR y los controles de proceso. Además la gran incertidumbre en la carga viral en heces dificulta determinar un valor típico que pueda ser útil para la epidemiología basada en aguas residuales (Wastewater – based-epidemiology-WBE). (Barcelo et al. 2020)

Con este fin, la solución actual para monitorear el brote de COVID-19 en WBE podría ser una combinación de tecnologías y estrategias metodológicas ya implementadas, como tecnologías de PCR y mediciones de biomarcadores endógenos usando ELISA o MS. Ambos métodos de medición tienen ventajas y desventajas, para los biomarcadores, las mediciones químicas son precisas y sensibles, pero no son específicos para una enfermedad determinada. ( Damia Barcelo, 2020).

El monitoreo en la epidemiología basado en aguas residuales (WBE) en SARS-CoV-2 proporciona una predicción más temprana de la dinámica comunitaria COVID 19, casos en comparación con los datos proporcionados por las pruebas a nivel individual, lo que sugiere la posibilidad de utilizar estos datos para informar sobre la contención temprana y hacer sonar la alarma en caso de que se produzca un resurgimiento. En este trabajo se realiza un seguimiento del SARS-CoV-2 empleando la WBE en el oriente Antioqueño principalmente de los afluentes y efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de tres municipios y algunas redes de alcantarillados con la finalidad de estimar su genoma, distribución geográfica y prevalencia y así implementar un mapa de riesgo en el sitio de estudio donde se hace un monitoreo del COVID-19 tanto de casos sintomáticos como asintomáticos.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Sitios de muestreo.

A continuación se muestra una imagen de los tres municipios del sitio de muestreo.

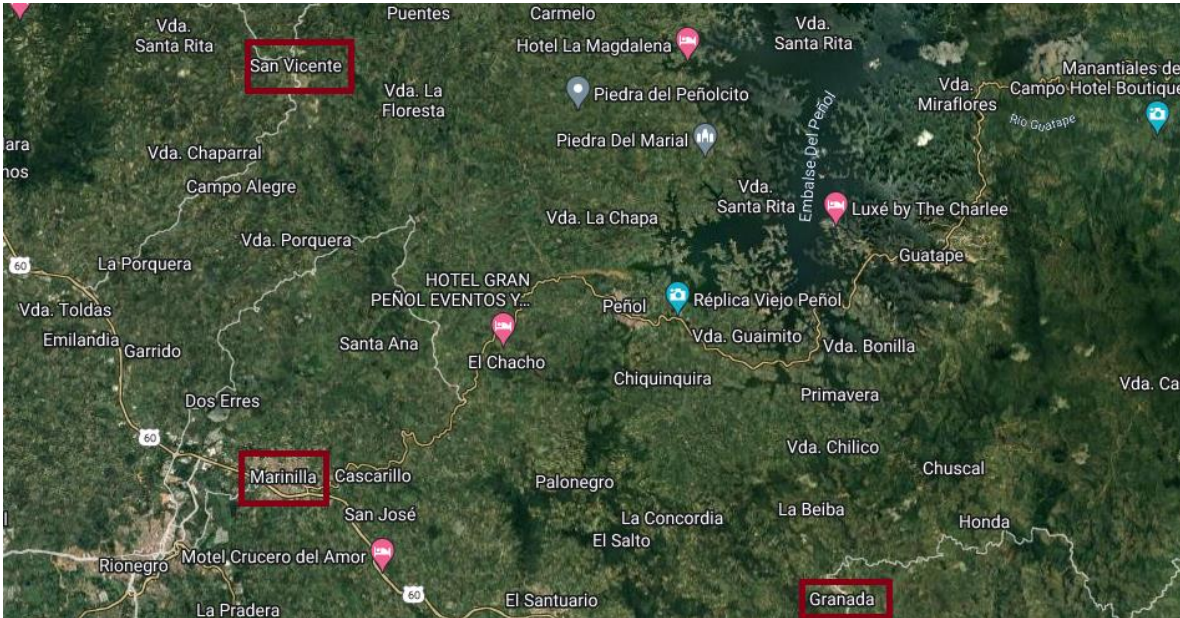


Figura 1. Ubicación de los municipios de estudio.

Fuente: Google Maps.

**4.1.1 Marinilla:** Es un municipio que se encuentra en el altiplano Antioqueño del oriente, limita por el norte con el municipio de San Vicente, por el este con El Peñol, por el sur con El Santuario y por el oeste con los municipios de El Carmen de Viboral y Rionegro. Se sitúa a 47 kilómetros de Medellín. Se encuentra ubicado  $6^{\circ}10'32''$  de latitud Norte y a  $75^{\circ}25'17''$  de longitud oeste en la región centro andina colombiana al este de la ciudad de Medellín. Tiene una población de 64 645 habitantes según el censo de 2018. Su población urbana es de 44 230 habitantes, y la rural de 20 415. Su economía principal es el comercio, turismo y la Agricultura. (Alcaldía de Marinilla).

**4.1.2 San Vicente:** Es un municipio localizado en la subregión Oriente del departamento de Antioquia. Limita por el norte con los municipios de Barbosa y Concepción, por el este con los municipios de Concepción y El Peñol, por el sur con los municipios de Marinilla y Rionegro y por el oeste con los municipios de Guarne y Girardota. Su cabecera dista 48 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital de Antioquia. El municipio posee una extensión de 243 kilómetros cuadrados. Se encuentra ubicado a  $6^{\circ}16'55''$  latitud Norte y a  $75^{\circ}19'56''$  de longitud Oeste. Tiene una población de 22 093 habitantes según el censo de 2018. Su población urbana es de 5

464 habitantes y la rural es de 16 629. Su economía principal es la Agricultura y Ganadería. (Alcaldía de San Vicente de Ferrer)

**4.1.3 Granada:** Es un municipio localizado en la subregión Oriente del departamento de Antioquia. Limita por el norte con los municipios de Guatapé y San Carlos, por el este con los municipios de San Carlos y San Luis, por el sur con el municipio de Cocorná, y por el este con el municipio de Santuario. Su ubicación se encuentra a 6°08'39" latitud Norte y a 75°11'07" de longitud Oeste en la cordillera central de los Andes al oriente del departamento de Antioquia. Tiene una población de 10 117 habitantes según el censo de 2018. Su población urbana es de 5 541 habitantes y la rural es de 4 576. Su economía principal es la Agricultura. (Alcaldía de Granada)

**4.2 Muestreos en campo.** Los muestreos se clasifican en: Afluentes y Efluentes de las plantas de tratamiento de las Aguas residuales de los tres municipios de estudio y la red de alcantarillado del Municipio de Marinilla. A continuación se describe detalladamente cada muestreo.

**4.2.1 PTAR.** Se realizaron 20 muestreos en las aguas residuales en los municipios de Marinilla, San Vicente de Ferrer y Granada durante los meses de Diciembre del 2020 y Enero, Febrero y Agosto de 2021.

**Tabla1.** Fecha de muestreos PTAR

<b>N°</b>	<b>Fecha</b>
1	16/12/2020
2	28/12/2020
3	05/01/2021
4	18/01/2021
5	25/01/2021
6	02/02/2021
7	08/02/2021
8	22/02/2021
9	08/03/2021
10	15/03/2021
11	22/03/2021
12	05/04/2021
13	26/04/2021
14	03/05/2021
15	17/05/2021

16	25/05/2021
17	03/08/2021
18	10/08/2021
19	17/08/2021
20	24/08/2021

La obtención de las muestras se llevó a cabo mediante muestreos compuestos durante 5 horas con alícuotas proporcionales al caudal de entrada, tomadas cada hora entre las 7:00 am a 11:00 am , que corresponden a las horas de mayor uso del agua y de los sistemas sanitarios por las personas. Las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos debidamente rotulados y esterilizados adecuadamente y refrigeradas a 4°C.

A través de los caudales registrados para cada una de las 5 muestras, se realizó el cálculo de los volúmenes de las alícuotas con la siguiente formula.

$$V_i = \frac{V * Q_i}{Q_p * n}$$

Donde:

$V_i$ : Volumen de cada alícuota.

$V$ : Volumen total a componer (2 L).

$n$ : Numero de muestras.

$Q_p$ : Caudal Promedio.

$Q_i$ : Caudal de cada alícuota.

Luego de calcular todos los volúmenes de cada alícuota se compone la muestra y es preservada en las neveras. Posteriormente, las muestras fueron transportadas al laboratorio del grupo GDCON de la Universidad de Antioquia para su análisis.

Para conocer la información sobre los casos actuales de presencia del COVID-19, se obtuvieron los datos epidemiológicos declarados sobre la situación actual del coronavirus en Antioquia, tomando la información de los casos nuevos y casos activos para cada uno de los municipios contenidos en la tabla 2.

Tabla 2. Datos de COVID PTAR

Fechas	Marinilla		Granada		San Vicente	
	Datos COVID		Datos COVID		Datos COVID	
	N° Casos nuevos	N° Casos activos	N° Casos nuevos	N° Casos activos	N° Casos nuevos	N° Casos activos
16/12/2020	41	93	0	0	10	41
28/12/2020	7	72	0	1	1	15
05/01/2021	16	53	0	0	0	4
18/01/2021	20	98	1	1	1	1
25/01/2021	19	64	0	1	2	8
02/02/2021	6	35	1	1	3	6
08/02/2021	7	31	0	2	0	1
22/02/2021	8	28	0	1	0	3
08/03/2021	1	38	0	0	0	1
15/03/2021	0	35	0	0	0	0
22/03/2021	2	39	0	3	0	4
05/04/2021	8	97	0	0	1	6
26/04/2021	18	113	0	1	0	13
03/05/2021	9	106	0	7	0	12
17/05/2021	11	101	0	1	0	3
25/05/2021	6	87	0	8	0	5
03/08/2021	1	74	0	6	0	13
10/08/2021	3	46	0	4	2	10
17/08/2021	5	65	0	8	0	16
24/08/2021	4	42	0	3	0	10

**4.2.3 Red de alcantarillado en Marinilla.** Se realizaron 3 muestreos en el municipio de Marinilla durante los meses de Abril, Agosto y Septiembre de 2021.

Tabla 3. Fechas muestras alcantarillado Marinilla.

N°	Fechas
1	26/04/2021
2	31/08/2021
3	27/09/2021

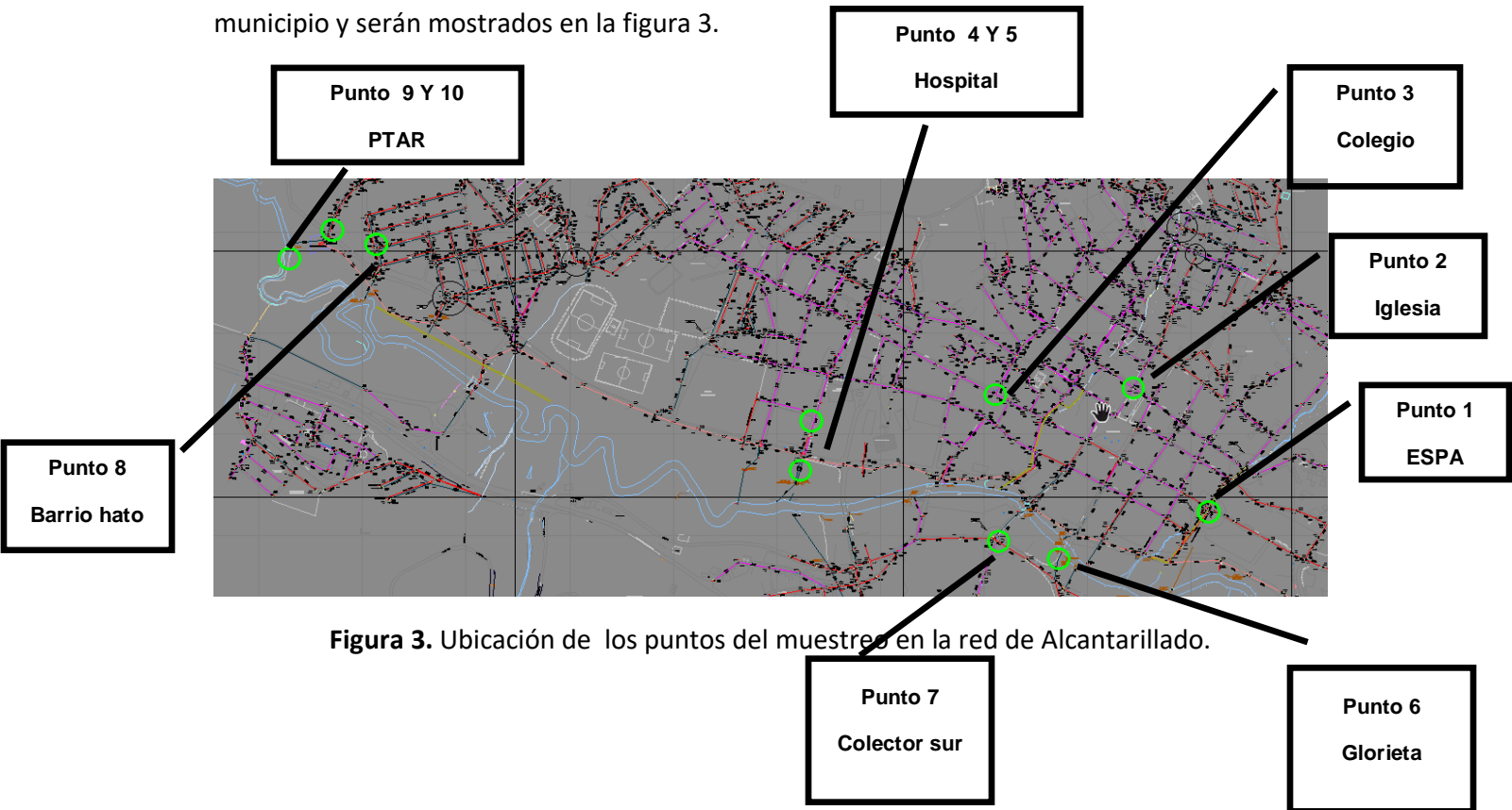




**Figura 2.** Toma de muestras de la red de Alcantarillado de Marinilla

**Fuente:** Propia

Los muestreos fueron tomados en 8 puntos estratégicos de la red de alcantarillado del municipio y serán mostrados en la figura 3.



**Figura 3.** Ubicación de los puntos del muestreo en la red de Alcantarillado.

Este muestreo fue tomado en recipientes de plástico debidamente rotulado y esterilizado, fue un muestreo puntual y refrigerado a 4°C, posteriormente fue entregado al laboratorio del grupo GDCON de la Universidad de Antioquia para su análisis.

En la tabla 4, se muestran los casos nuevos y activos para Marinilla.

**Tabla 4.** Datos de COVID alcantarillado Marinilla.

Fechas	Marinilla	
	Datos COVID	
	N° Casos nuevos	N° Casos activos
26/04/2021	41	93
31/08/2021	7	72
28/09/2021	16	53

Mediante la búsqueda de los planos del sistema de alcantarillado del municipio de Marinilla, se obtendrá la estructura de la red de saneamiento y el sistema de tuberías. Posteriormente, se tomará la información de las zonas de los municipios que tienen casos activos por presencia del virus SARS-CoV-2, en los que se determinarán por medio de los planos, el flujo desde las redes de alcantarillado hasta las instalaciones de tratamiento de aguas, siendo un indicador para estimar el número de infecciones posibles del virus en la población. A través de la evaluación en el comportamiento de las redes de alcantarillado con los casos positivos, se diseñará un sistema de alerta temprana que ayude a mitigar el impacto de casos por el virus SARS-CoV-2, siendo una herramienta útil que ayudará a prevenir posibles casos positivos del virus en los municipios.

**4.3 Análisis de laboratorio.** Los análisis de laboratorio que se realizan en este trabajo son: fisicoquímicos y detección y cuantificación del SARS-COV-2.

**4.3.1 Análisis Fisicoquímicos:** Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), siguiendo los protocolos definidos en el Estándar Métodos (APHA, 2017). Adicionalmente, fueron determinados *in situ* los parámetros de pH, temperatura y caudal en cada toma de alícuota.

**4.3.2 Detección y cuantificación del SARS-COV-2:** La detección del SARS-CoV-2 en las aguas residuales se realizó mediante qPCR usando un método previamente validado, concentrando previamente la muestra y realizando la extracción del ARN usando el kit comercial RNeasy PowerMicrobiome Kit (Qiagen), el cual ha demostrado ser eficiente para la extracción y la

purificación de ARN de matrices ambientales complejas como las aguas residuales. La concentración de ARN para las reacciones fue normalizada de acuerdo con los volúmenes de agua concentrados. Los inhibidores ambientales fueron inactivados usando resinas de eliminación de inhibidores de PCR (Zymoresearch). Para la detección y cuantificación de partículas virales se empleó un protocolo de RT-qPCR usando los cebadores descritos previamente dentro del gen E viral (Ahmed et al., 2020). La cuantificación se realizó utilizando una curva estándar basada en un oligonucleótido sintético correspondiente al amplicón de longitud completa en el gen E, este fragmento se empleó como control positivo y como estándar para la construcción de la curva.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análisis Físicoquímicos

#### 5.1.1 Análisis de la DQO en la red de Alcantarillado de Marinilla

Se estudiaron los resultados físicoquímicos para cada uno de los manjoles de estudio, a continuación, se presenta los resultados y análisis.

Se realizó un promedio de los tres muestreos de la DQO como se muestra en la figura 4.

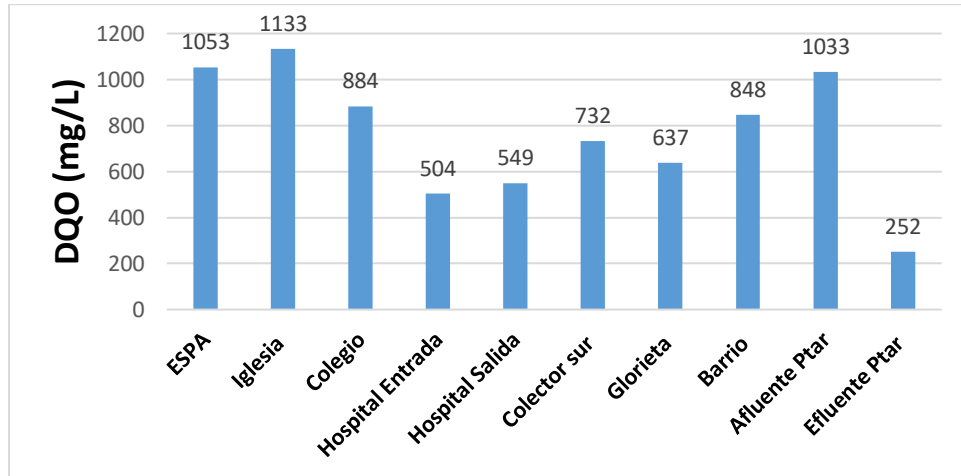


Figura 4. DQO red de alcantarillado de Marinilla.

Este parámetro se analiza como un indicador del grado de contaminación por materia orgánica que circula por la red del alcantarillado, las concentraciones oscilan entre 252 (mg/L) y 1133 (mg/L), Para un promedio de  $762 \pm 866$  mg/L.

Comparando los valores de entrada y salida del hospital, se observa que la DQO aumenta considerablemente, sin embargo no es el valor esperado en la concentración de la materia orgánica esto se atribuye a un mayor consumo de agua en las actividades de aseo del hospital, por tal razón la carga orgánica a la salida del hospital tiende a diluirse.

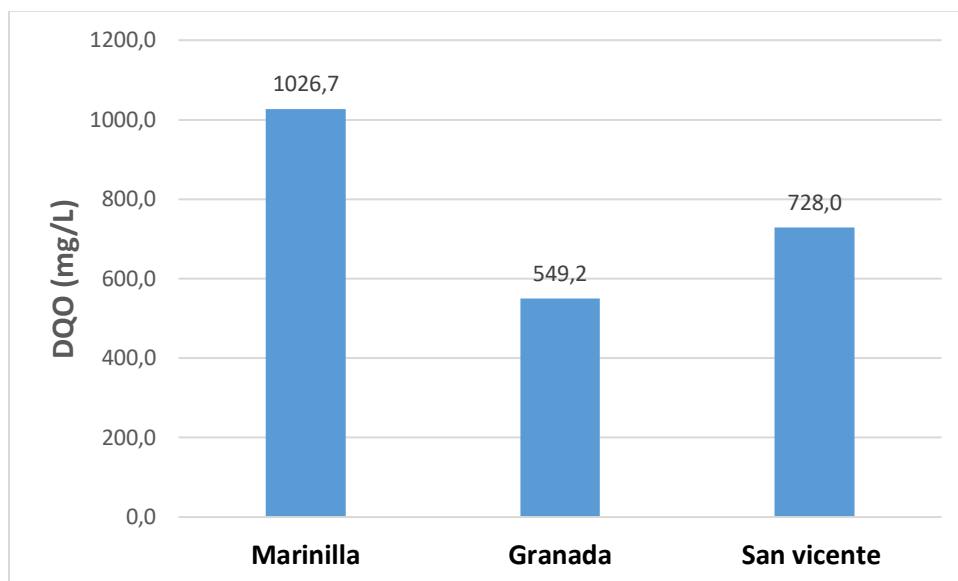
En los sectores de la iglesia (punto 2) y la Empresa de servicios públicos (punto 1), se observa las concentraciones más altas, en esta zona se encuentra el parque principal de Marinilla, lo cual el comercio es mayor y por esta razón el promedio de los habitantes es mayor en estos sitios del municipio, pues aquí la carga orgánica aumenta.

Al final, en el punto 10, se descarga al río una concentración de 252 mg/l, está por fuera del valor máximo permitido como lo indica la Resolución 0631 de 2015 de allí surge la necesidad de implementar y manejar adecuadamente los sistemas de tratamiento.

### 5.1.2 Análisis de la DQO de las PTAR

Se estudiaron los resultados fisicoquímicos para cada uno de los municipios evaluados, a continuación, se presentan los resultados y análisis de la información.

Se realizó un promedio de la DQO para cada uno de los municipios, como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** DQO promedio para cada municipio.

En el Municipio de Marinilla tenemos un promedio de  $1026,7 \pm 148$  mg/l, siendo esta la concentración más alta de materia orgánica teniendo en cuenta que para este municipio comparado con Granada y San Vicente se tiene un mayor número de habitantes.

En el Municipio de San Vicente tenemos un promedio de  $728 \pm 237$  mg/l, para este municipio tenemos la mayor desviación de los datos. En algunos muestreos en esta PTAR ingreso a la planta, aguas residuales no domésticas lo que pudo dar lugar a un incremento en la concentración de la materia orgánica.

En el Municipio de Granada tenemos un promedio de  $549,2 \pm 128$  mg/l, siendo esta la concentración más baja para los tres municipios.

Con base en Metcalf & Eddy (2003), el nivel de contaminación de este tipo de agua en comparación con la composición típica de un agua residual doméstica se clasifica como alta con valores menores o iguales a 1000 mg/L de DQO, siendo mayor la carga de materia orgánica para el municipio de Marinilla, comparado con Granada y San Vicente Ferrer.

### 5.1.3 Análisis de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en la red de Alcantarillado

Se realizó un promedio de los tres muestreos de los valores de sólidos suspendidos totales (SST) mostrados en la figura 6.

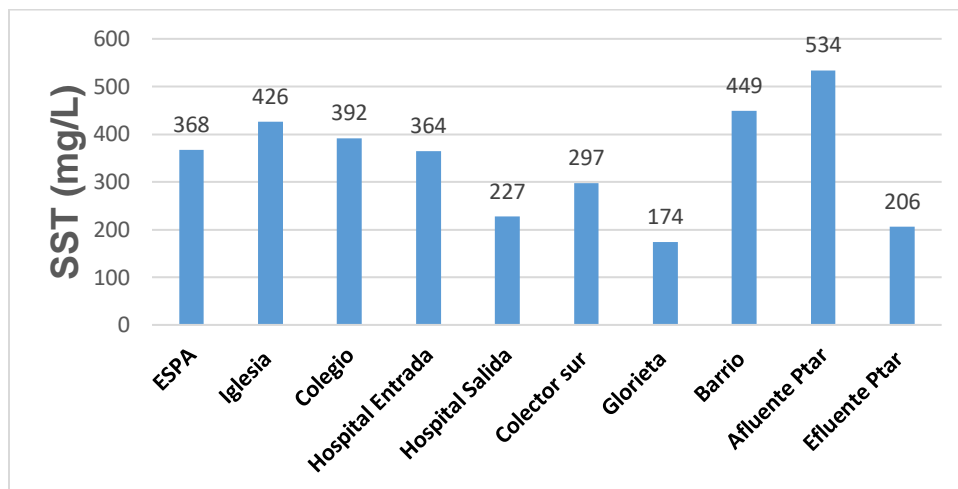


Figura 6. SST red de alcantarillado Marinilla.

Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) oscilan entre 206 mg/L y 534 mg/L, con un promedio de  $344 \pm 116$  mg/L, se observa que la entrada y la salida de la PTAR se tiene la concentración más alta y baja, lo que se analiza es que la planta de aguas residuales de este municipio tiene un sedimentado de alta tasa, lo que indica que este proceso biológico si está removiendo una buena cantidad de sólidos, sin embargo no cumple con la norma.

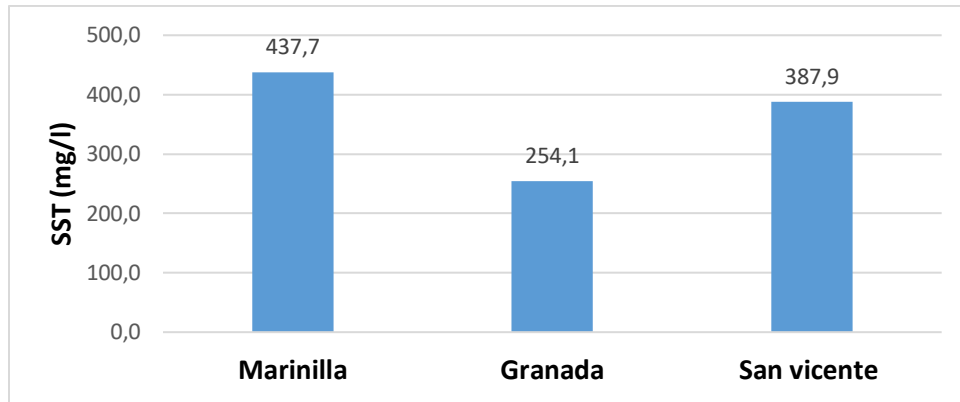
Se observa a la salida del hospital uno de los valores más bajos de sólidos, probablemente en ese punto el agua sale diluida debido a las tareas de aseo y un mayor consumo del agua del hospital.

En los puntos 1, 2, 3 y 4 tenemos valores altos en la concentración esto debido al comercio que presenta esta zona.

Debido a la naturaleza propia de las aguas residuales domesticas se observa una alta variabilidad en los datos.

### 5.1.4 Análisis de los sólidos suspendidos en las PTAR

Se realizó un promedio de los sólidos suspendidos totales (SST) para cada uno de los municipios, como se muestra en la figura 7.



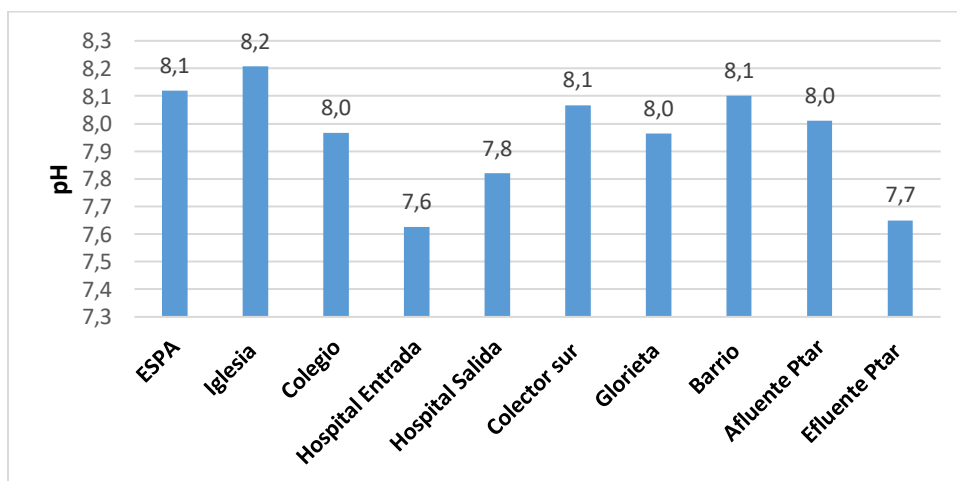
**Figura 7.** SST promedio para cada Municipio.

En el municipio de Marinilla tenemos un promedio de SST de  $437,7 \pm 146$  mg/l, siendo esta la concentración más alta, esto debido a que este municipio comparado con Granada y San Vicente tiene el mayor número de habitantes. Para San Vicente tenemos un promedio de SST de  $387,9 \pm 164$  mg/l, siendo este la mayor desviación de los datos. Para Granada tenemos un promedio de SST de  $254,0 \pm 77$  mg/l, con la concentración más baja.

Según Metcalf & Eddy (2003), el nivel de contaminación de este tipo de agua en comparación con la composición típica de un agua residual doméstica se clasifica como alta con valores menores o iguales a 350 mg/L de SST, siendo mayor para el caso del municipio de Marinilla, comparado con Granada y San Vicente.

### 5.1.5 Análisis del pH en la red de Alcantarillado de Marinilla

Se realizó un promedio de los tres muestreos de los valores de pH mostrados en la figura 8.

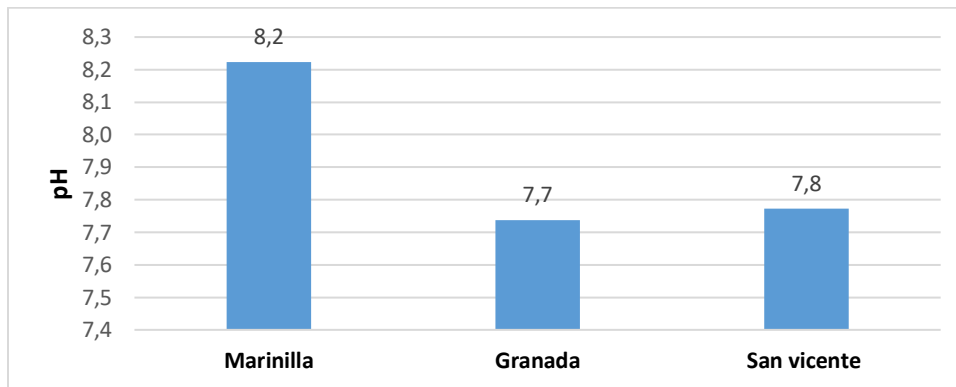


**Figura 8.** pH red de alcantarillado Marinilla.

Este parámetro indica la calidad del agua a través del grado de acidez o alcalinidad. Se encontraron valores en un rango de 7,6 y 8,2 con un promedio de 8, indicando tendencias alcalinas, se observa una variación en los datos debido a que podemos tener descargas de tipo industrial en algunos puntos del alcantarillado.

### 5.1.6 Análisis del pH en las PTAR

Se realizó un promedio de los valores de pH para cada uno de los municipios, mostrado en la figura 9.



**Figura 9.** Promedio de pH en cada municipio.

En el municipio de Marinilla tenemos un promedio de pH de  $8,2 \pm 0,36$ , indicando condiciones relativamente alcalinas, para el caso de Granada los valores oscilan en un rango de  $7,74 \pm 0,6$  y para San Vicente los valores son de  $7,77 \pm 0,65$ .

El agua residual que ingresa a las PTAR en cada municipio, presentó condiciones de pH ligeramente alcalinas, pero siendo todas muy cercanas a la neutralidad, promoviendo así un ambiente en el cual los microorganismos encargados del tratamiento de las aguas y estabilización de la materia orgánica por medio de la digestión anaerobia se desarrollen adecuadamente (Orozco, 2005). La importancia de mantener un ambiente óptimo para los microorganismos, radica en que el metabolismo bacteriano se ejecuta gracias a la acción de enzimas que son liberadas por la misma célula y que efectúan los cambios precisos en los nutrientes contenidos en el agua residual para ser transportados al interior de la célula donde son degradados para la obtención de energía vital, a temperaturas y pH fuera del rango óptimo los microorganismos se inactivarían o se presentaría desnaturalización de las células disminuyendo la biomasa activa y el crecimiento de los organismos, razón por la cual se debe tener un ambiente propicio con temperaturas y pH adecuados (Diaz et al., 2002).



## 5.2 Correlaciones con el SARS-COV-2

### 5.2.1 correlación con parámetros fisicoquímicos en el Alcantarillado de Marinilla

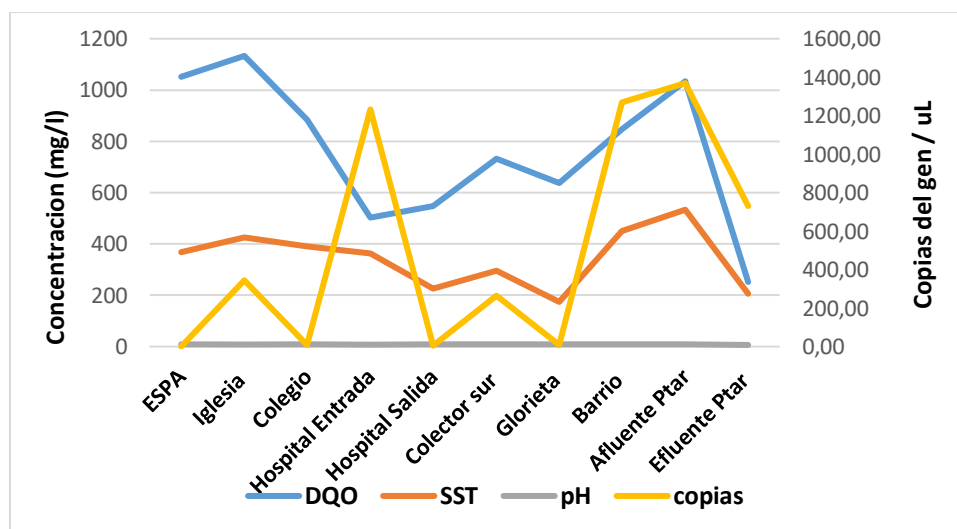
Se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos de DQO y SST y para comparar la medición de la materia orgánica y la cantidad de copias de gen presente en las aguas residuales, este análisis permitió conocer si el número de copias del gen tienen una relación con los parámetros evaluados en el agua residual para el municipio de Marinilla.

En la figura 10, se presentan los resultados obtenidos en la red de alcantarillado de Marinilla, al graficar la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) versus las copias del gen, los valores altos de las copias se presentan precisamente en el hospital, en el barrio cercano a la PTAR y en el afluente de la PTAR.

Se observan los valores más altos en la concentración de las copias del gen en la PTAR y en el hospital, en cuanto a la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, los SST y la DQO presentan estabilidad en el periodo de análisis.

Todos los parámetros evaluados con respecto a los casos del gen encontrados actúan de manera diferente con respecto a cada punto del sistema del alcantarillado, se puede explorar la DQO y SST para determinar la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

Realizando un análisis de regresión lineal, no se encontró correlación entre estas tres variables.



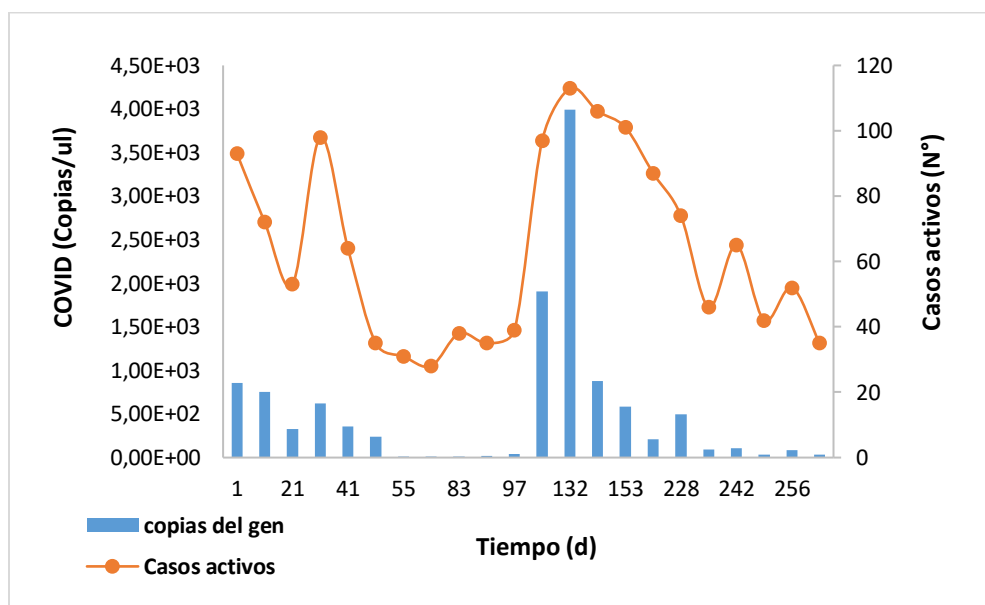
**Figura 10.** Evaluación parámetros fisicoquímicos Vs Copias del gen en la red del alcantarillado de Marinilla.

### 5.2.2 Correlación con parámetros fisicoquímicos en las PTAR

A través de los datos arrojados en los muestreos, se evaluó la cantidad de genes de los virus encontrados en cada uno de las PTAR de los municipios y de esta manera se correlaciono la información del día del muestreo con los casos activos. Se avaluaron los casos activos para cada municipio, los cuales corresponden a las personas confirmadas con COVID-19 cuya fecha de inicio de síntomas en la notificación es igual o menor a 15 días de la fecha del reporte.

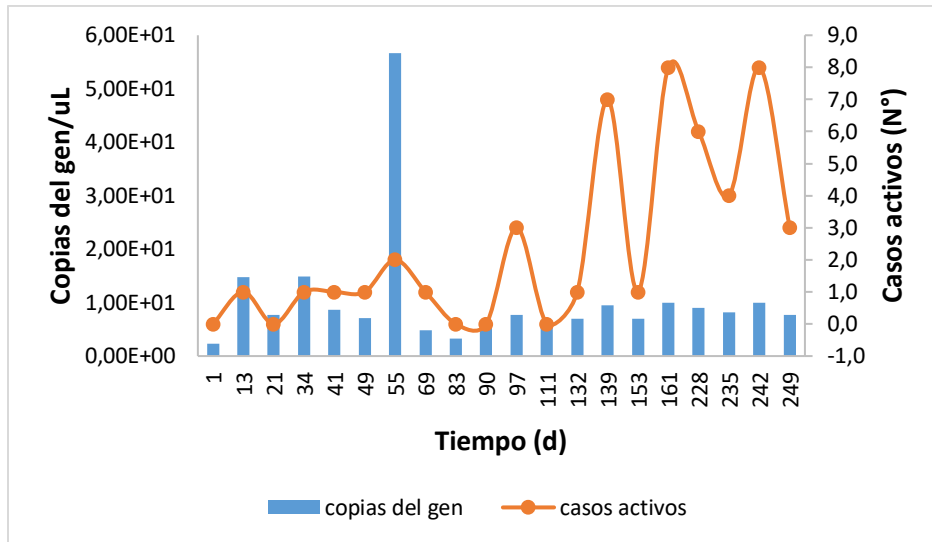
En el municipio de Marinilla (figura 11), se encontró una mayor cantidad de presencia del gen, con valores máximos de  $3,99 \times 10^3$  copias/uL, en el mes de abril y  $1,90 \times 10^3$  copias/uL que coincide con la tercera ola de casos reportados y con un número de casos de 113 personas y de 97 respectivamente, mientras que los valores más bajos del gen, ocurrieron en el mes de febrero, donde se reportó la menor cantidad de casos activos. Con respecto al comportamiento en el tiempo, se evidencia que existen variaciones en el gen circulante en las aguas residuales, y esto se puede dar por las personas asintomáticas que tienen el virus, pero no generan síntomas de alerta y si excretan el virus por medio de las heces y la orina, ya que se tiene valores del gen, pero el número de casos activos es significativamente menor.

Se encontró una relación entre los casos reportados con la presencia del gen, que aporta nuevos elementos en la detención temprana de la circulación del virus en las aguas residuales de esta población.



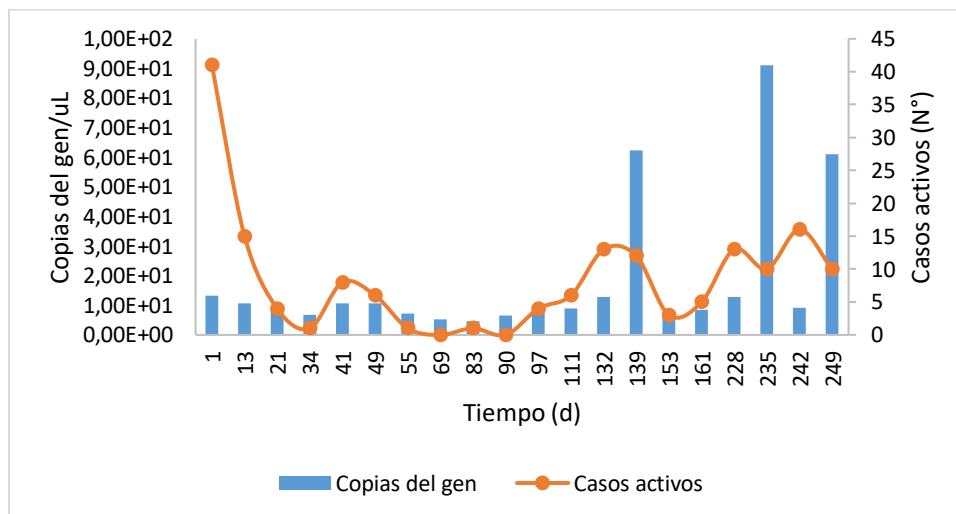
**Figura 11.** Relación de las copias del gen Vs casos cativos en el municipio de Marinilla.

En la Figura 12, se muestra la relación de las copias del gen con respecto a los casos activos en el municipio de Granada, en este caso y comparado con el municipio de Marinilla, los reportes fueron menores con un máximo de  $5,67 \times 10^1$  copias/uL en el día 55 de muestreo.



**Figura 12.** Relación de las copias del gen Vs casos activos en el municipio de Granada.

En el municipio de San Vicente Ferrer (Figura 13), se evidencia que la presencia del gen es menor comparado con los demás municipios, mientras que sus casos activos fueron mayores a los del municipio de Granada, con un máximo de  $9,11 \times 10^1$  copias/uL en el día 235 de muestreo y el mayor número de casos ocurrió en el mes de diciembre (41 casos), lo que verifica la segunda ola de mayor número de casos de COVID-19.

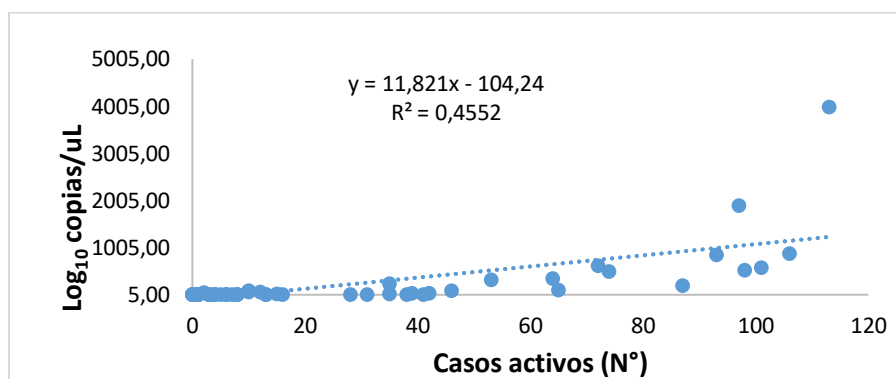


**Figura 13.** Relación de las copias del gen Vs casos activos en el municipio de San Vicente.

En general, se evidenció que el municipio de Marinilla presentó la mayor cantidad de casos activos, lo cual está relacionado con el hecho de que Marinilla es el municipio con mayor población de los tres municipios estudiados, el municipio ocupa el 3 puesto con más casos activos reportados en el oriente antioqueño. En el caso del municipio de Granada, la cantidad de gen encontrada es mayor

de lo que representan los casos reportados, en este aspecto es posible que parte de la población sea asintomática y que por lo tanto los reportes que se tengan de casos activos no correspondan con la realidad de lo que ocurre en el municipio.

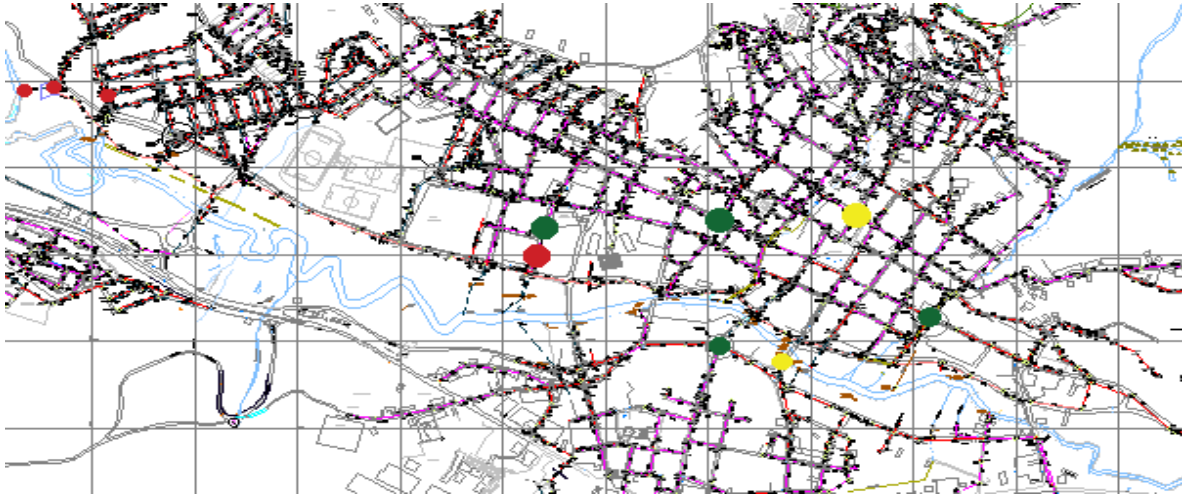
Se encontró una correlación entre los casos activos con respecto a las copias del gen (Figura 14) en los tres municipios evaluados, con un R2 de 0,4552 y la evolución del gen con respecto al tiempo donde a mayor casos activos reportados mayor presencia del gen, convirtiéndose en un indicador activo de la presencia del gen en las aguas residuales. Sin embargo, la correlación fue mejor en el caso del municipio de Marinilla con un R2 de 0,7734, mientras que para Granada fue de 0,033 y para San Vicente Ferrer 0,0287.



**Figura 14.** Correlación entre casos activos y copias del gen.

### 5.3 Mapa de riesgo

La empresa de servicios públicos de Marinilla (ESPA) nos proporcionó los planos de la red de alcantarillado del municipio y con la ayuda del software AutoCAD se ubicaron los 8 manjoles de estudio, posteriormente se clasifico por colores como se ilustra en la siguiente figura 15.

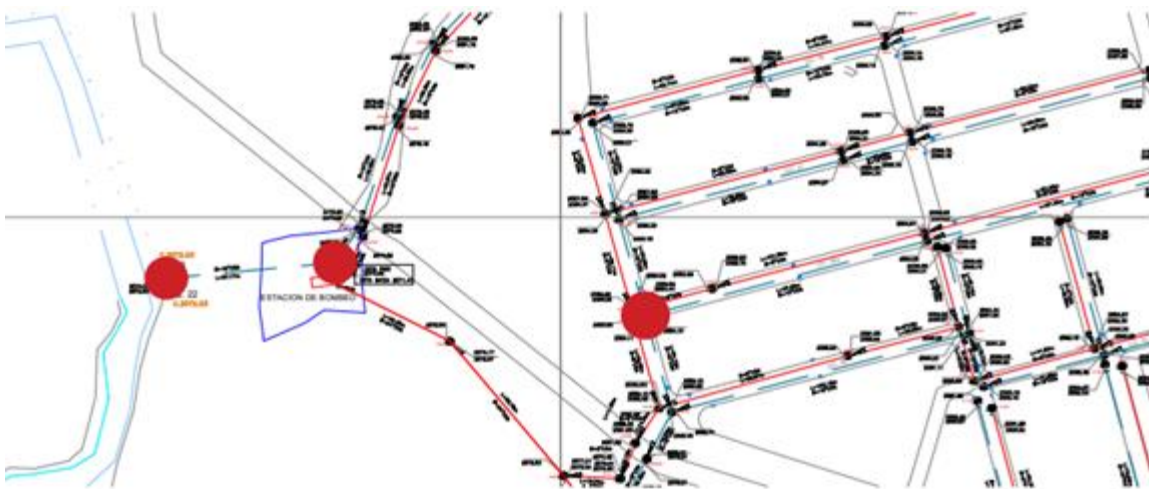


**Figura 15.** Mapa de riesgo del SARS-CoV-2 en el municipio de Marinilla.

Las concentraciones de SARS-COV-2 son simbolizadas de la siguiente manera:

- Color verde: menores a 250 (copias/ uL). **ALERTA ROJA**
- Color amarillo: 251 (copias/ uL) y 700 (copias/ uL). **ALERTA MODERADA**
- Color rojo: mayores a 701 (copias/ uL). **ALERTA SUAVE**

Se observan los flujos de la red de alcantarillado de aguas residuales desplazarse de Sur a Norte, es por esta razón que los barrios que se encuentran en alerta roja son precisamente los cercanos a la Planta de aguas residuales como se muestra en la figura 16.



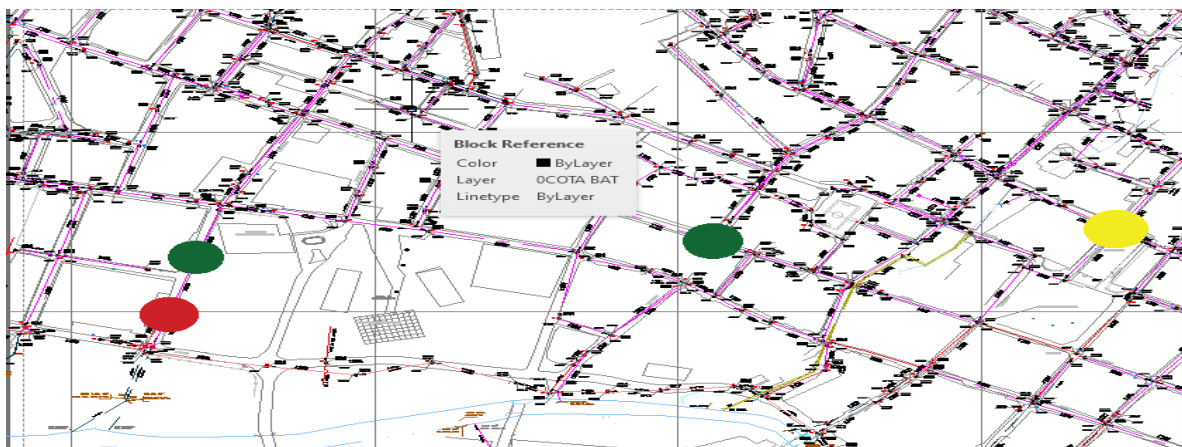
**Figura 16.** Manjoles en alerta roja en el mapa de riesgo.

Se observa que la descarga al río contiene una concentración alta de SARS-CoV-2, pues en este municipio se cuenta con una PTAR que le hace falta tratamiento secundario, lo cual se requieren estudios posteriores que indiquen las afectaciones y posible transmisión del gen en estas aguas a la población y a los recursos hídricos.

Surge la necesidad en la implementación y buen proceso de las plantas de tratamiento, esta planta por ejemplo solo realiza sedimentación de alta tasa y luego descarga al río, es necesario un tratamiento secundario como un reactor biológico que acelera la descomposición de la materia orgánica a través de la biomasa, puede ser anaerobio (donde la biomasa no requiere oxígeno para degradar los componentes orgánicos) o aerobia (presencia de oxígeno).

Los barrios cercanos al parque principal están en alerta moderada según las concentraciones de SARS-COV-2, Figura 17. Se observa que precisamente en la salida del hospital se encuentra una de las concentraciones de copias del gen más altas, lo que corrobora nuestra investigación.

Todos los barrios aledaños a la Iglesia (Barrio poblado) se encontraron en alerta moderada.



**Figura 17.** Mapa de riesgo al sur de Marinilla.

En el sur de Marinilla se observó que están en alerta suave (color verde), tenemos que en el colector nos arrojó alerta moderada (color amarillo), sin embargo este MH es una descarga al río, lo que podría estar afectando al ecosistema acuático, ya que se están descargando copias del gen generando posibles infecciones mediante el agua, como lo muestra la Figura 18.

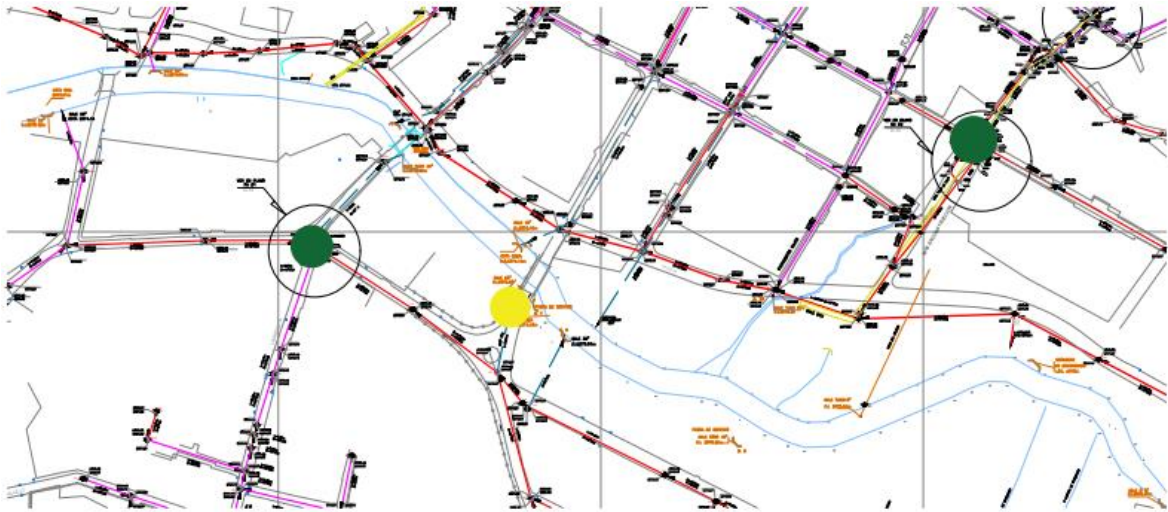


Figura 18. Mapa de riesgos sur-oriente de Marinilla.

## 6 CONCLUSIONES

- Revisar el estado del arte se convirtió en una herramienta fundamental que brindó elementos para conocer e interpretar el balance actual del virus SARS-CoV-2, permitiendo nuevos análisis en el ámbito de investigación, logrando nuevos conocimientos, ideas y comprensiones de la problemática generada por el virus SARS-CoV-2.
- El detectar las copias del gen por medio de los muestreos dio a conocer el comportamiento y la circulación del virus a través de toda la red del alcantarillado del municipio de Marinilla, permitiendo generar una alerta temprana de detención de las copias del gen SARS-CoV-2.
- Los análisis fisicoquímicos del pH, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) evaluados con la carga viral presente en la materia orgánica, son variables independientes que no afectan la cantidad de copias del gen encontradas en el agua residual.
- Los casos activos de COVID 19 que se reportan en el área urbana de Marinilla, se correlacionan con la copia del gen del SARS-CoV-2 encontrados en la red del alcantarillado, se concluye que a mayor población diagnosticada mayores copias del gen. De acuerdo con esto la detección y cuantificación de las copias del gen del virus SARS-CoV-2. Indican en forma adecuada la magnitud de la circulación del virus y dichos resultados pueden utilizarse herramientas epidemiológicas de alerta temprana, de esta manera se corroboran lo consignado por la literatura reciente
- Se concluye que mediante este estudio se puede observar para el municipio de Marinilla y Granada que las copias del gen son mayores que el número de casos reportados, esto es debido a que para estos municipios se cuenta con un número mayor de casos asintomáticos, lo cual verifica que mediante la epidemiología del agua residual podemos obtener una alerta temprana de las copias del gen.
- En el mapa de riesgos podemos identificar los barrios con una mayor y menor incidencia de las concentraciones de las copias del gen, así podemos alertar a la comunidad.
- La cantidad de copias del gen encontradas en el efluente es menor a la cantidad de copias encontradas en el afluente, se deduce que el proceso de tratamiento que se realiza dentro de la planta influye en la remoción de las copias del gen, sin embargo, es necesario en Colombia mejorar el proceso del tratamiento de las aguas residuales.



## 7. DEDICATORIA

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquia por la financiación del proyecto mediante la estrategia #UdeA responde al COVID-19 y al grupo de trabajo de Ambientes saludables. Además, a la convocatoria interna de proyectos SARS CoV2 y COVID-19 de la Escuela de Microbiología, por la financiación para la validación de la metodología de detección del SARS-CoV-2 en las aguas residuales.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- A. Carducci , I. Federigi , D. Liu , JR Thompson , M. Verani. (2020). Making Waves: detección, presencia y persistencia del coronavirus en el medio acuático: estado del arte y necesidades de conocimiento para la salud pública. Agua Res. Volumen (179 ) ,(15907 ).
- Adriana K.N. Vargas, J. C. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *SciElo*
- Barcelo, D. (2020). Epidemiología basada en aguas residuales para monitorear el brote de COVID-19: métodos de diagnóstico presentes y futuros para estar en su radar. ELSEVIER. Volumen (2) (100042), págs. 3-5
- Ecología verde “<https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales>. “(Enero 28, 2022).
- Franco, Alexander. (2002). Curso internacional “Gestión integral de tratamiento de aguas residuales “25 al 27 de septiembre de 2002. Accelerating the world's research.
- F. Xiao , J. Sun , Y. Xu , F. Li , J. Zhao , J. Huan , J. Zhao. (2020). **SARS-CoV-2 infeccioso en heces de paciente con COVID-19 grave** Infección emergente.
- F. Xiao , M. Tang , X. Zheng , Y. Liu , X. Li , H. Shan (2020). Evidencia de infección gastrointestinal por SARS-CoV-2. *Gastroenterología* ( 2020 ) , pags. 1 - 3 .
- JFW Chan , S. Yuan , KH Kok , KKW To , H. Chu , J. Yang , F. Xing , J. Liu , CCY Yip , RWS Poon , HW Tsoi (2020) .Un grupo familiar de neumonía asociado con el nuevo coronavirus de 2019 que indica transmisión de persona a persona: un estudio de un grupo familiar. *lancet* , volumen (395) ( 10223 ) , págs. 514 – 523.

Lahrich, S.(2020). Revisión sobre la contaminación de aguas residuales por el virus COVID-19: impacto y tratamiento. ScienceDirect. Volumen (751)(142325),págs. 1-5.

M. Kitajima , W. Ahmed , K. Bibby , A. Carducci , CP Gerba , KA Hamilton , E. Haramoto , JB Rose. (2020).SARS-CoV-2 en aguas residuales: estado del conocimiento y necesidades de investigación. Ciencia Entorno Total. volumen (739 )(139076 ).

Polo, D, Romalde, J. (2020). Haciendo olas: Epidemiología basada en aguas residuales para COVID-19: enfoques y desafíos para la vigilancia y la predicción. ELSEVIER. Volumen (186)(116404), págs. 4-10

Sampriti Katak, S. Chatterjee, D. (2020). Preocupaciones y estrategias para el tratamiento de aguas residuales durante la pandemia de COVID-19 para detener la transmisión plausible. ScienceDirect, volumen (164), págs. 2-4.

Y. Wu , C. Guo , L. Tang , Z. Hong , J. Zhou , X. Dong , H. Yin , Q. Xiao , Y. Tang , X. Qu , L. Kuang , X. Fang , N. Mishra , J. Lu , H. Shan , G. Jiang , X. Huang. (2020).Presencia prolongada de ARN viral del SARS-CoV-2 en muestras fecales. Lancet Gastroenterol. Hepatol. , volumen ( 5 ) , págs. 434 - 435 .

W. Ahmed , N. Ángel , J. Edson , et al. (2020).Primera detección confirmada de SARS-CoV-2 en aguas residuales sin tratar en Australia: una prueba de concepto para la vigilancia de aguas residuales de COVID-19 en la comunidad. Ciencia Entorno Total. Volumen (728 )(138764).

“World health organization” <https://covid19.who.int/> (Octubre 10, 2021)