



MONITOREO DE SARS-CoV-2 EN AGUAS RESIDUALES

RESUMEN DEL ESTUDIO

Monitoreo Epidemiológico del SARS-CoV-2 en Aguas Residuales: Una Herramienta de Alerta Temprana frente al COVID-19: Resumen del estudio

Estudio Desarrollado en el marco del Programa SECOSAN de la Cooperación Suiza - SECO, implementado por Helvetas Perú, a solicitud de la Dirección de Saneamiento del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.

Autores

El estudio fue encargado a el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC, en conjunto con el Centro de investigación en Bioingeniería (BIO) de la UTEC y el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Plantas Sostenibles de Tratamiento de Aguas Residuales (INCT PTARs Sostenibles) de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) de Brasil. Con el apoyo de SEDAPAL, SEDAPAL y la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

Jefe del equipo de investigación : Mónica Santa María Fuster

Equipo Técnico

Isabel Solórzano Ortiz
Antonio Quispe Gutiérrez
Alberto Donayre Torres
Julio Valdivia Silva
Patrick Venail Zorro

Equipo de Campo y Laboratorio

Braulio Pardo Figueroa Dianderas
Fabrizzio Villar Acevedo
Elías Mindreau Ganoza
Alonso Reyes Calderón
Katherine García Luquillas
Makgyori Espinoza Huamán

MVCS

Max Carbajal Navarro
Enma Salazar Agüero
Jessica Cortez Flores

Equipo Asesor

Carlos Chernicharo
César Mota

SEDAPAL

Apoyo Técnico

Yuri Sánchez Merlo
Cesar Rashta Maguiña

UNSA

Responsable Técnico

Sonia Yufra Cruz

SEDAPAR

Apoyo Técnico

Giovanni Chávez Velando

Revisión y supervisión: **Max Carbajal N.** Director de Saneamiento del MVCS
(Periodo Set- 2019 – Feb. 2022)

Resumen del estudio realizado por: **Diego Villaverde.** Consultor SECOSAN y
Max Carbajal Director de Saneamiento del
MVCS (Periodo Set- 2019 – Feb. 2022)

Editado por:

Programa SECOSAN de la Cooperación Suiza SECO, implementado por Helvetas Perú.
1era edición – Junio 2022

Revisión documento:

Max Carbajal- Director de Saneamiento del MVCS (Periodo Set- 2019 – Feb. 2022)

Diseño y diagramación

Franco Laynes

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación, bajo la condición de que se cite la fuente.

Este documento ha sido realizado por el equipo de consultores del Programa SECOSAN Su contenido no necesariamente refleja la opinión del Gobierno Peruano, de sus instituciones o de sus funcionarios, así como de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos de la Confederación Suiza (SECO).

Se agradece las revisiones y los valiosos comentarios de Fernando Laca B. (Helvetas), Maritza Paliza F. (Helvetas), Bárbara Gonzales-Otoya (SECO Lima).

Contenido

Prólogo	2
Acrónimos	4
Resumen Ejecutivo	5
1. Antecedentes	7
2. La iniciativa	2
3. Marco conceptual	10
4. Ámbito de estudio	11
5. Metodología de implementación	12
5.1 Fase de aplicación piloto	13
5.2 Fase de aplicación piloto extendido	14
5.3 Fase de Monitoreo	15
6. Resultados	19
6.1 Resultados de la fase piloto y piloto extendido	19
6.2 Resultados de la fase de Monitoreo	24
6.2.1 Resultados Lima Metropolitana y Callao	24
6.2.2 Resultados Arequipa Metropolitana	45
7. Conclusiones	64
8. Próximos Pasos y Recomendaciones	65
9. Referencias	66
10. Anexo: Detalle de Áreas de Drenaje	69

Prólogo

El 11 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) calificó el brote del COVID-19 como una pandemia. En la misma fecha, en el Perú se declara la Emergencia Sanitaria a nivel nacional mediante Decreto Supremo N° 008-2020-SA, dictándose medidas para la prevención y control a efectos de evitar la propagación del COVID-19.

No obstante, como lo refieren experiencias internacionales, para controlar el impacto de la pandemia en los países en desarrollo con deficientes sistemas de salud, se requiere de enfoques e intervenciones novedosas de seguimiento y gestión (Nishi et al., 2020).

Estas deben ser flexibles, rentables y escalables, e idealmente deben proporcionar datos completos y objetivos en tiempo real. Precisamente, esto es lo que ofrece la epidemiología basada en aguas residuales, toda vez que la misma puede proporcionar evaluaciones objetivas y completas, en tiempo real, de la situación actual de la pandemia (Mao et al., 2020).

En consecuencia, el monitoreo del SARS-COV-2 en aguas residuales constituye una opción novedosa, viable y escalable a nivel nacional, que puede aportar con información relevante, objetiva y oportuna a las autoridades de salud para la toma de decisiones. Pudiendo además ser un complemento a las acciones de vigilancia sanitaria y estudios de epidemiología de las autoridades de salud.

En ese contexto el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) propone el desarrollo de la herramienta de alerta temprana a partir del monitoreo epidemiológico del SARS-COV-2 en aguas residuales, la misma que logra implementar gracias al apoyo técnico y financiero del Programa SECOSAN de la Cooperación Suiza – SECO.

El estudio se realiza en los ámbitos Lima Metropolitana y Callao, y Arequipa Metropolitana, que son las ciudades más grandes del país, y por lo tanto, con las que más alcance e incidencia lograría el estudio, siendo que la ciudad de Lima y Callao cuenta con más de 10 millones de habitantes, mientras que la ciudad de Arequipa cuenta con más de 1.2 millones de habitantes. Asimismo, es importante resaltar que han sido las ciudades con un número mayor de casos reportados de COVID-19, en el caso de la ciudad de Lima y Callao presenta aproximadamente 1,650,000 casos reportados, mientras que la ciudad de Arequipa presenta aproximadamente 215,000 casos reportados.

El estudio se ha aplicado monitoreando catorce (14) puntos en Lima Metropolitana y Callao, y en seis (06) puntos en Arequipa Metropolitana, se obtuvieron resultados semana a semana, lo cual muestra la evolución de la carga viral de SARS-CoV-2 estimada para las áreas de drenaje correspondiente a los puntos de monitoreo tanto en colectores de las redes de alcantarillado, como en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Es importante resaltar que esta herramienta es posible de escalar a nivel nacional, ya que los resultados han demostrado que es factible la aplicación y la interacción entre los diferentes actores involucrados del sector saneamiento. Así también se ha realizado una interrelación intersectorial con los actores del Sector Salud (MINSA, CDC e INS), con quienes se sostenían reuniones semanales para intercambiar los resultados del estudio.

Un aspecto a resaltar es que esta aplicación no solo beneficia al Sector Salud, sino que trae importantes beneficios para el Sector Saneamiento, debido a la mejora en la valoración de los servicios de saneamiento (Eje N° 6 de la Política Nacional de Saneamiento). Este aspecto no solo se presenta de cara a los usuarios del servicio, sino que también frente a diversos actores involucrados con el financiamiento de inversiones y el cierre de brechas en agua potable y saneamiento.

Esta aplicación, que emplea ciencia y tecnología, demuestra que es posible el trabajo articulado entre actores del gobierno, la cooperación nacional e internacional y la academia en busca de soluciones innovadoras frente a los enormes retos que se presentan en el país.

Fernando Laca Barrera
Coordinador Técnico SECOSAN

Acrónimos

AD	: Áreas de Drenaje
APCI	: Agencia Peruana de Cooperación Internacional
ARN	: Ácido Ribonucleico
CG	: Copias del Genoma
CITA	: Centro de Investigación y Tecnología del Agua
COVID-19	: Enfermedad por Coronavirus de 2019 (acrónimo del inglés <i>Coronavirus Disease 2019</i>)
CSSE	: <i>Center for Systems Science and Engineering</i>
DS	: Dirección de Saneamiento
EPS	: Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento
FAT	: Fondo de Asistencia Técnica
INCT-ETES	: Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Plantas Sostenibles de Tratamiento de Aguas Residuales
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
INS	: Instituto Nacional de Salud
MINSA	: Ministerio de Salud
MVCS	: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OMS	: Organización Mundial de la Salud
OTASS	: Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento
PCR	: Reacción en Cadena de la Polimerasa (del inglés <i>Polymerase Chain Reaction</i>)
PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SARS-CoV-2	: Síndrome Respiratorio Agudo Severo Coronavirus 2 (del inglés <i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>)
SECO	: Secretaría de Estado para Asuntos Económicos de la Cooperación Suiza
SECOSAN	: Fondo de Asistencia Técnica del Programa de Apoyo al Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento en el Perú
SEDAPAL	: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SEDAPAR	: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa
SINADEF	: Sistema Informático Nacional de Defunciones
SUNASS	: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
UFMG	: Universidad Federal de Minas Gerais
UNSA	: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
UTEC	: Universidad de Ingeniería y Tecnología
VMCS	: Viceministerio de Construcción y Saneamiento

Resumen Ejecutivo

El SARS-CoV-2 o síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 ha causado más de 255 millones de personas infectadas y más de 5.1 millones de fallecimientos en el mundo; mientras que en el país se registran 3.6 millones de casos positivos y más de 213 mil fallecidos.

Diversos estudios dan cuenta que el material genético del SARS-CoV-2 se elimina en las heces de las personas infectadas, en consecuencia, el ácido ribonucleico viral (ARN) es detectable en las aguas residuales. Actualmente, numerosos países vienen aplicando estudios de vigilancia de aguas residuales, los cuales confirman la detección del ARN del SARS-CoV-2 en aguas residuales.

El presente documento tiene como propósito dar a conocer los resultados obtenidos de la aplicación de la vigilancia epidemiológica a través del monitoreo de aguas residuales en Lima Metropolitana y Callao, y Arequipa Metropolitana, para la detección del material genético del SARS-CoV-2, como una herramienta de alerta temprana del COVID-19 que podría consolidarse en una estrategia de salud pública para determinar la presencia o carga del virus en zonas localizadas de la ciudad, de manera anticipada. Ello constituye una opción novedosa, viable y escalable a nivel nacional, aportando información relevante, objetiva y oportuna desde el sector saneamiento al sector salud.

El estudio se desarrolló en tres (03) fases, en donde se registraron los siguientes resultados:

- i.** Fase Piloto, que comprende la elaboración del protocolo para la toma, preservación, transporte, recepción y análisis de las muestras; y su validación en campo empleando cuatro (04) puntos de monitoreo (colectores y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR) en el ámbito de estudio de Lima Metropolitana y Callao durante 06 semanas (del 04 de enero al 14 de febrero 2021). En la semana 06 (del 08 al 14 de febrero 2021) se logró identificar, cualitativa y cuantitativamente, el genoma del virus SARS-CoV-2 en todos los puntos de monitoreo empleados, lo que dio paso a la fase piloto extendido.
- ii.** Fase Piloto Extendido, que comprende el monitoreo desde la semana 07 (del 15 al 21 de febrero 2021) hasta la semana 14 (del 05 al 11 de abril 2021). En esta fase se optimizaron los procedimientos aplicados tanto en campo como en laboratorio y se continuó con el monitoreo en los cuatro (04) puntos empleados en la fase piloto. En esta fase se elaboraron los Planes de Monitoreo para Lima Metropolitana y Callao, y Arequipa Metropolitana, como paso previo a la siguiente fase.
- iii.** Fase de Monitoreo, que comprende el monitoreo desde la semana 15 (del 12 al 18 de abril 2021) hasta la semana 56 (del 24 al 30 de enero 2022). En esta fase se incorporó a la ciudad de Arequipa Metropolitana como parte del ámbito de estudio y se amplió la cantidad de puntos de monitoreo a 22 (14 en Lima Metropolitana y Callao, y 06 en Arequipa Metropolitana). Los resultados revelan que, para Lima Metropolitana y Callao, los valores más altos de carga viral se registraron entre las semanas 15 y 16, a excepción de la PTAR Puente Piedra y el Colector Canto Grande, cuyos valores más altos se registraron

en las semanas 32 y 27, respectivamente; mientras que, para Arequipa Metropolitana, en algunos puntos de monitoreo (PTAR La Escalerilla y Colector 83) los valores más altos de carga viral se registraron en la semana 19, mientras que en otros puntos se registraron en las semanas 22 (Colector 56), 24 (PTAR La Enlozada) y 29 (Colectores Arrayanes y 73). Sin embargo, en todos los casos, durante las últimas semanas del estudio se han presentado niveles extremos de concentración de la carga viral, reflejando el inicio de la tercera ola de contagios por COVID-19 en el Perú.

- iv.** A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que la epidemiología basada en aguas residuales para la detección del SARS-CoV-2 aplicada en Lima Metropolitana, Callao y Arequipa Metropolitana, permite al sector saneamiento contribuir con información de utilidad para las estrategias de salud pública.

Palabras Clave:

- COVID-19
- SARS-CoV-2
- Aguas residuales
- Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR)
- Redes colectoras de alcantarillado
- Servicio de Agua y Saneamiento
- Epidemiología

1. Antecedentes

El 11 de marzo de 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) calificó el brote del COVID-19 como una pandemia, esto luego de haberse extendido en más de cien países del mundo de manera simultánea. En la misma fecha, en el Perú se declara la Emergencia Sanitaria a nivel nacional mediante Decreto Supremo N° 008-2020-SA¹, dictándose medidas para la prevención y control a efectos de evitar la propagación del COVID-19.

Posteriormente, el 15 de marzo, mediante Decreto Supremo N° 044-2020-PCM² se declara el Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19, disponiéndose medidas como el aislamiento social obligatorio; no obstante, conforme transcurrieron los meses, progresivamente se dieron paso a medidas en busca de la reanudación actividades.

La Pandemia del COVID-19, causada por el virus SARS-CoV-2, presenta un saldo de 532 millones de personas infectadas y alrededor de 6.3 millones³ de fallecimientos a nivel mundial. De acuerdo con información de la sala situacional COVID-19 Perú⁴, la letalidad de la enfermedad alcanza un 5.95%, con cerca de 3.6 millones de casos positivos y 213,173 fallecidos. En cuanto a Lima Metropolitana y Callao, representan la mayor cantidad de casos positivos con 1,507,686 y 147,252 casos respectivamente⁵, y en el caso de la región Arequipa, se registran 215,840 casos positivos totales.

Por su parte, la evolución de las defunciones confirmadas por COVID-19 revela la ocurrencia de tres (03) olas a nivel nacional desde el inicio de la pandemia, siendo la segunda (año 2021) más letal que la primera (año 2020) y la tercera (2022), tal como se aprecia en la Figura N° 1⁶.

¹ La Emergencia Sanitaria a nivel nacional se ha venido prorrogando a través de los siguientes Decretos Supremos: N° 020-2020-SA, N° 027-2020-SA, N° 031-2020-SA, N° 009-2021-SA, N° 025-2021-SA y N° 003-2022-SA. Mediante este último Decreto Supremo se prorrogó la Emergencia Sanitaria a nivel nacional por un plazo de ciento ochenta (180) días calendario a partir del 02 de marzo de 2022.

² El Estado de Emergencia Nacional se ha venido prorrogando a través de los siguientes Decretos Supremos: N° 051-2020-PCM, N° 064-2020-PCM, N° 075-2020-PCM, N° 083-2020-PCM, N° 094-2020-PCM, N° 116-2020-PCM, N° 129-2020-PCM, N° 135-2020-PCM, N° 139-2020-PCM, N° 146-2020-PCM, N° 151-2020-PCM, N° 162-2020-PCM, N° 165-2020-PCM, N° 170-2020-PCM, N° 174-2020-PCM, N° 184-2020-PCM, N° 201-2020-PCM, N° 008-2021-PCM, N° 036-2021-PCM, N° 058-2021-PCM, N° 076-2021-PCM, N° 105-2021-PCM, N° 123-2021-PCM, N° 131-2021-PCM, N° 149-2021-PCM, N° 151-2021-PCM, N° 152-2021-PCM, N° 167-2021-PCM, N° 174-2021-PCM, N° 186-2021-PCM, N° 010-2022-PCM, N° 016-2022-PCM, N° 030-2022-PCM, N° 041-2022-PCM y N° 058-2022-PCM. Mediante este último Decreto Supremo se prorrogó el Estado de Emergencia Nacional por todo el mes de junio de 2022.

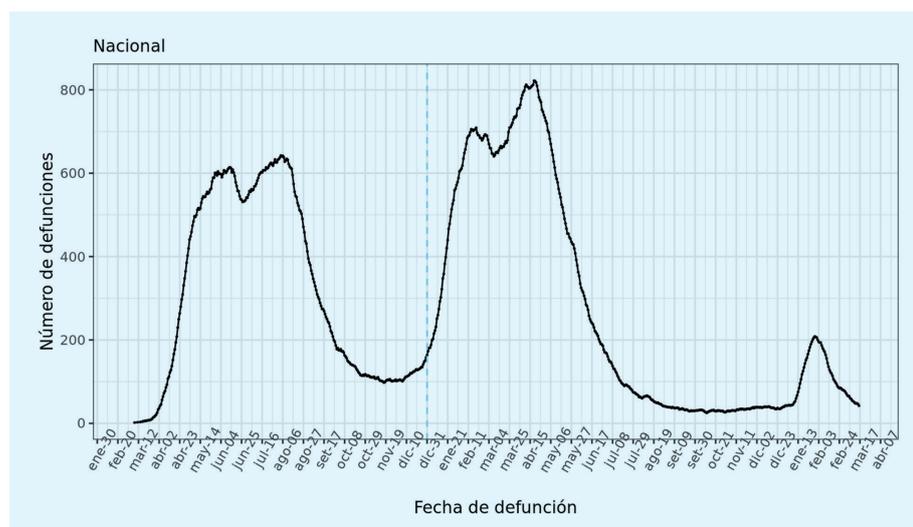
³ Universidad Johns Hopkins. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE). Recuperado el 05 de junio de 2022 de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.

⁴ Según información al 05 de junio de 2022, disponible en: https://covid19.minsa.gob.pe/sala_situacional.asp.

⁵ Asimismo, es importante resaltar que, para el caso de Lima Metropolitana y Callao, se cuenta con los resultados de un estudio de seroprevalencia (personas que presentan anticuerpos y por lo tanto han estado infectados con el virus) de SARS-CoV-2, que tuvo el trabajo de campo y encuestas entre junio y julio del 2020, en donde se determinó una seroprevalencia de 20.8% (18.9% para Lima y 26.9% para el Callao) y una prevalencia (personas infectadas en ese momento) de 25.2% (pruebas serológicas y moleculares) de infección por SARS-CoV-2, con una mayor incidencia en niveles socioeconómicos más bajos y en hogares con hacinamiento. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258953702100081X>.

⁶ Disponible en: <https://www.dge.gob.pe/portalnuevo/informacion-publica/mortalidad-covid-19/>.

Figura 1. Nuevas defunciones diarias confirmadas por COVID-19 – Perú (promedio móvil de 7 días).



Fuente: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades – MINSA

La primera ola, cuyo pico máximo de mortalidad se registró entre fines de julio e inicios de agosto de 2020, ocurrió en el marco de un estricto confinamiento durante los primeros meses (marzo a mayo) a fin de evitar un colapso del sistema sanitario, y de una posterior gradualidad en la reanudación de algunas actividades económicas.

Por su parte, la segunda ola, cuyo pico máximo de mortalidad se registró en abril de 2021, se dio en un contexto de surgimiento de nuevas variantes del COVID-19 más contagiosas que el virus original⁷, y de la reanudación de todas las actividades económicas contempladas en las cuatro (04) fases aprobadas mediante Decreto Supremo N° 080-2020-PCM⁸; lo cual explica por qué la segunda ola tuvo un impacto mayor que la primera en el número de casos reportados y en el número de fallecidos por COVID-19.

La tercera ola de contagios en el Perú se presenta en un contexto de expansión mundial de la variante ómicron, la misma que es muy contagiosa, pero de menor letalidad de otras variantes enfrentadas. Lo que se reflejó en un pico de contagios muy por encima de las 2 olas precedentes, pero con bajas tasas de fallecidos por COVID-19.

Cabe precisar que mediante Resolución Ministerial N° 095-2021-PCM, del 14 de abril de 2021, se aprobaron los criterios técnicos para actualizar la cifra de fallecidos por COVID-19 en el Perú⁹. Sobre la base de dichos criterios se actualizó la cifra de fallecidos, determinándose que, al 22 de mayo de 2021, 180,764 personas fallecieron por COVID-19 en el Perú, convirtiéndose en el país con la mayor cantidad de muertes por millón de habitantes (5,540)¹⁰.

⁷ <https://www.gob.pe/12548-coronavirus-variantes-de-la-covid-19-detectadas-en-el-peru>.

⁸ Decreto Supremo que aprueba la reanudación de actividades económicas en forma gradual y progresiva dentro del marco de la declaratoria de Emergencia Sanitaria Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del COVID-19.

⁹ Para mayor información ver: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/1944190-criterios-tecnicos-para-actualizar-la-cifra-de-fallecidos-por-covid-19-en-el-peru>.

¹⁰ Información extraída del "Informe sobre las causas del elevado número de muertes por la pandemia del COVID-19 en el Perú", elaborado por el Comité de Alto Nivel sobre el COVID-19. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/concytec/informes-publicaciones/2028205-informe-sobre-las-causas-del-elevado-numero-de-muertes-por-la-pandemia-del-covid-19-en-el-peru>.

2. La iniciativa

En un contexto como el descrito, durante la primera ola de contagios, el MVCS identificó una oportunidad de contribuir desde el sector saneamiento¹¹ en las estrategias de salud pública de lucha contra la pandemia, mediante el diseño de una herramienta de alerta temprana frente al COVID-19 a partir de la epidemiología basada en aguas residuales. Es así que, como parte de una iniciativa liderada por el Viceministerio de Construcción y Saneamiento (VMCS), la Dirección de Saneamiento (DS) propuso la iniciativa denominada “Desarrollo de una herramienta de alerta temprana a partir del monitoreo de aguas residuales desde el sector saneamiento”.

Se plantearon 3 objetivos específicos de la iniciativa:

- Elaborar un Protocolo para la toma, preservación, transporte, recepción y análisis de las muestras para identificar la presencia y concentración del virus en aguas residuales y su validación en campo.
- Realizar el monitoreo de las aguas residuales y determinar la concentración del SARS-COV-2 en los puntos seleccionados de acuerdo con el Plan de Monitoreo.
- Elaborar una Guía Instructiva para la aplicación de la herramienta de alerta temprana, con el objetivo de replicar y ampliar este proceso.

La iniciativa fue presentada ante el programa SECOSAN, que es el Fondo de Asistencia Técnica del “Programa de Apoyo al Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento (A&S) en el Perú”¹², promovida por la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos – SECO, de la cooperación Suiza¹³. La mencionada iniciativa se aprobó por unanimidad, por lo que luego se pasó por un proceso de selección de la entidad que se encargaría del servicio de consultoría, siendo la ganadora un *joint venture* entre la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) y la Universidad de Minas Gerais (Porto Alegre, Brasil)¹⁴.

De ese modo, desde enero 2021, se logró implementar la iniciativa, lográndose importantes avances y resultados. La implementación comienza con la puesta en marcha de una fase piloto, en el ámbito de estudio de Lima Metropolitana y Callao, que permitió la elaboración y validación de un “Protocolo para la toma, preservación, transporte, recepción y análisis de las muestras” mediante métodos y/o procedimientos que permitan identificar la concentración de material genético del SARS-CoV-2 en aguas residuales. Seguidamente, se implementó la fase de piloto extendido, periodo que permitió afinar y optimizar los procesos aplicados, así como diseñar el plan de monitoreo a implementarse. Finalmente, se llevó a cabo la fase de implementación del Plan de Monitoreo, en los ámbitos de estudio de Lima Metropolitana y Callao, y en Arequipa Metropolitana.

¹¹ En el área urbana incluye los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

¹² En el marco del Acuerdo Interinstitucional suscrito entre la Confederación Suiza, representada por la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO) y la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI), el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS) y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), en agosto de 2018.

¹³ HELVETAS Swiss Intercoperación, es la entidad seleccionada por SECO para actuar como Administradora del Programa SECOSAN.

¹⁴ El servicio de consultoría es desarrollado por el Centro de Investigación y Tecnología del Agua (CITA) de la Universidad de Ingeniería y Tecnología – UTEC, en conjunto con el Centro de investigación en Bioingeniería (BIO) de la UTEC y el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Plantas Sostenibles de Tratamiento de Aguas Residuales (INCT - ETES) de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG). El INCT – ETES de la UFMG cuenta con experiencia en este tipo de estudios realizados en Brasil, siendo uno de ellos el elaborado por Mota, C., Calábria, J., Ayrimoraes, S., Tullius, M. & Chernicharo, C. en el año 2020, denominado “Metodologia para concentração e quantificação do novo coronavírus em amostras de água e esgoto por técnicas moleculares”. Para mayor información sobre los resultados de los trabajos realizados por el INCT – ETES de la UFMG sobre el análisis de concentración viral en aguas residuales en Brasil, ingresar al siguiente enlace: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/opsdashboard/index.html#/0866093559f04e469d42097b5347e910>.

3. Marco conceptual

Como lo refieren experiencias internacionales, para controlar el impacto de la pandemia en los países en desarrollo con deficientes sistemas de salud, se requiere de enfoques e intervenciones novedosas de seguimiento y gestión (Nishi¹⁵ et al., 2020). Estas intervenciones deben ser flexibles, rentables, escalables, e idealmente deben proporcionar datos completos y objetivos en tiempo real. Precisamente, esto es lo que ofrece la epidemiología basada en aguas residuales, toda vez que la misma puede proporcionar evaluaciones objetivas y completas, en tiempo real, de la situación actual de la pandemia (Mao¹⁶ et al., 2020).

Las personas infectadas con el SARS-CoV-2 (virus causante del COVID-19), descargan sus excretas y secreciones a la red de alcantarillado, y contribuyen en la presencia de material genético del virus en las aguas residuales, lo que puede identificarse, incluso con anterioridad a la sintomatología característica del COVID-19. La información sobre estos aportes de material genético, permitirá identificar aquellas zonas que albergan mayor o menor cantidad de personas contagiadas, así como analizar la evolución del COVID-19.

La información biológica que contienen las aguas residuales puede ser utilizada como un sistema de vigilancia imparcial y reflejar la salud de la comunidad. El enfoque se basa en el supuesto de que cualquier sustancia excretada por humanos y estable en aguas residuales, se puede identificar y utilizar para calcular la concentración original excretada por la población en cuestión.

La vigilancia epidemiológica a través del monitoreo de aguas residuales aplicada a la detección del nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) surge como herramienta para determinar la prevalencia del COVID-19 en las ciudades. Su uso como herramienta de alerta temprana se debe a reportes que indicaron que el SARS-CoV-2 puede ser identificado en las aguas residuales días antes de registrarse los primeros casos de la COVID-19 en una población (Farkas et al., 2020; Mallapaty, 2020)

La comunidad científica ha generado numerosas publicaciones sobre la cuantificación y mapeo del SARS-CoV-2 a partir de muestras de aguas residuales en diferentes partes del mundo. Al respecto, existe información sobre la detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales en los Países Bajos (Medema et al., 2020), Estados Unidos (Nemudryi et al., 2020; Peccia et al., 2020; Wu et al., 2020), Australia (Ahmed et al., 2020), Francia (Wurtzer, Marechal, Mouchel, Maday, et al., 2020; Wurtzer, Marechal, Mouchel, & Moulin, 2020), España (Randazzo, Cuevas-Ferrando, et al., 2020; Randazzo, Truchado, et al., 2020), Italia (La Rosa et al., 2020; Rimoldi et al., 2020), Israel (Or et al., 2020), Turquía (Kocamemi, Kurt, Hacioglu, et al., 2020; Kocamemi, Kurt, Sait, et al., 2020), Japón (Haramoto et al., 2020), Brasil (Chernicharo et al., 2020; Prado et al., 2020), Ecuador (Guerrero-Latorre et al., 2020) y Argentina (Barril et al., 2020).

Adicionalmente a los países mencionados de la región, se han realizado este tipo de estudios en países como Chile, Costa Rica, Honduras, México, Paraguay y Uruguay, quienes participaron en reuniones técnicas de intercambio convocadas por la Organización Panamericana de la Salud, con el objetivo de intercambiar experiencias y unificar criterios.

¹⁵ Nishi, A., Dewey, G., Endo, A., Neman, S., Iwamoto, S. K., Ni, M. Y., Tsugawa, Y., Iosifidis, G., Smith, J. D., & Young, S. D. (2020). Network interventions for managing the COVID-19 pandemic and sustaining economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

¹⁶ Mao, K., Zhang, K., Du, W., Ali, W., Feng, X., & Zhang, H. (2020). The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks. *Current Opinion in Environmental Science & Health*.

Asimismo, debe resaltarse que para el caso del COVID-19, una proporción significativa de los pacientes son asintomáticos, presintomáticos o experimentan síntomas leves o inespecíficos y, por lo tanto, estos casos no son reportados en el sistema de salud, resultando en una considerable subestimación de la infección.

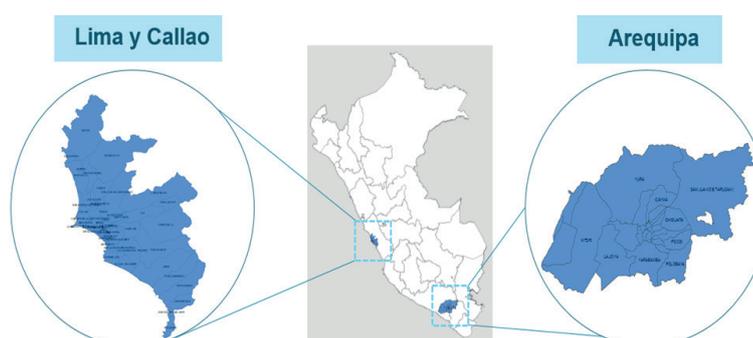
A partir del análisis de la presencia y concentración del virus en las aguas residuales del alcantarillado, se contextualiza la data obtenida por el estudio en el laboratorio, para poder generar una herramienta de alerta temprana para la prevención epidemiológica en las poblaciones. Con esta metodología se pueden identificar zonas de alta o baja presencia del virus, así como detectar tempranamente el incremento o disminución de contagios, basándose en la variación en el tiempo de la concentración de virus detectado en las aguas residuales de los diferentes puntos de muestreo, ubicados tanto en la red de alcantarillado como en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) de las ciudades.

En consecuencia, el monitoreo del SARS-COV-2 en aguas residuales constituye una opción novedosa, viable y escalable a nivel nacional o regional, que puede aportar con información relevante, objetiva y oportuna a las autoridades de salud para la toma de decisiones, a partir de una herramienta de alerta temprana sobre la base del monitoreo epidemiológico de aguas residuales. Pudiendo además ser un complemento a las acciones de vigilancia sanitaria y estudios de epidemiología de las autoridades del sector salud.

4. Ámbito de estudio

En el Perú, las EPS tienen bajo su responsabilidad la gestión, operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado sanitario y las PTAR dentro de su ámbito de responsabilidad. Dichas infraestructuras recolectan y reciben las aguas residuales de viviendas, centros comerciales, centros de salud, industrias, entre otros. En ese sentido, el MVCS, en su calidad de ente rector del sector saneamiento, convocó la participación de las EPS, en este caso de SEDAPAL, para el ámbito de Lima Metropolitana y Callao, y a SEDAPAR, para el ámbito de Arequipa Metropolitana, a efectos de viabilizar la aplicación del monitoreo epidemiológico de las aguas residuales para los fines de la Herramienta de Alerta Temprana frente al COVID-19.

Figura 2. Ámbitos de estudio.



Elaboración:
Dirección de
Saneamiento
- MVCS

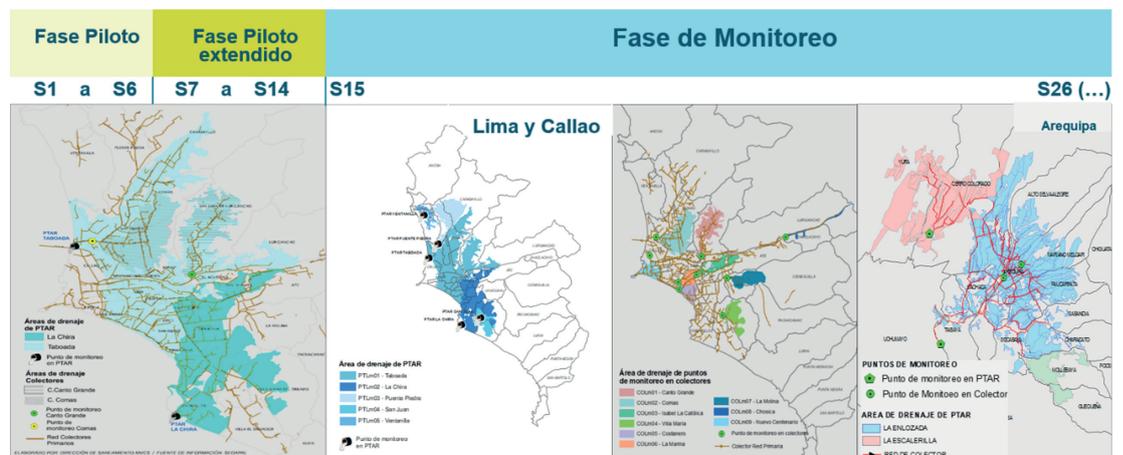
La selección de los dos (02) ámbitos de estudio, responde a que son las ciudades más grandes del país, y por lo tanto, con las que más alcance e incidencia lograría el estudio, siendo que la ciudad de Lima y Callao cuenta con más de 10 millones de habitantes, mientras que la ciudad de Arequipa cuenta con más de 1.2 millones de habitantes. En consecuencia, Sedapal y Sedapar son las EPS con un mayor número de conexiones, con aproximadamente 1,700,000 y 325,000 conexiones, respectivamente. Asimismo, es importante resaltar que han sido las ciudades con un número mayor de casos reportados, en el caso de la ciudad de Lima y Callao presenta aproximadamente 1,650,000 casos reportados, mientras que la ciudad de Arequipa presenta aproximadamente 215,000 casos reportados¹⁷.

5. Metodología de implementación

La metodología aplicada en el desarrollo del presente documento comprendió las siguientes fases:

- Fase de aplicación piloto
- Fase de aplicación piloto extendido
- Fase de implementación de monitoreo

Figura 3. Fases de estudio.



¹⁷ Según información al 05 de junio de 2022, disponible en: https://covid19.minsa.gob.pe/sala_situacional.asp.

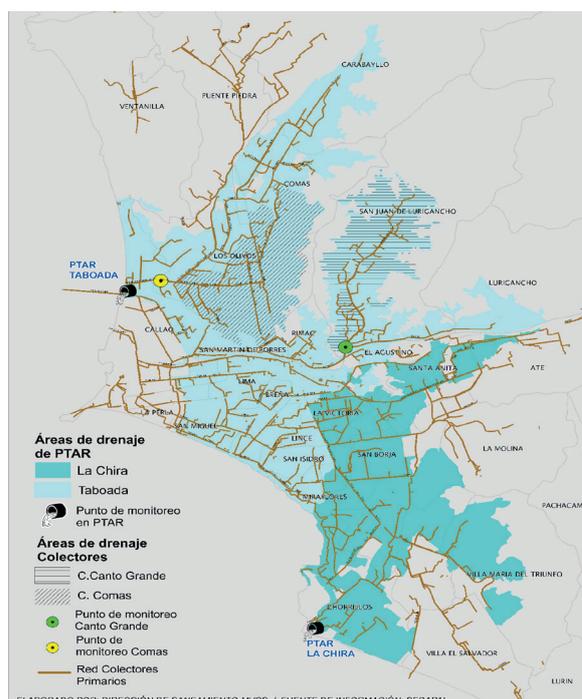
5.1 Fase de aplicación piloto

Esta fase comprendió la elaboración del Plan de Trabajo que integra una revisión bibliográfica exhaustiva respecto a: (i) monitoreo microbiológico de aguas residuales como herramienta de vigilancia epidemiológica, con énfasis en detección de virus; (ii) determinar la presencia y concentración del SARS-CoV-2 en aguas residuales como herramienta de alerta temprana frente al COVID-19 en centros urbanos; (iii) aspectos epidemiológicos relacionados a la COVID-19 en Perú y el mundo; (iv) publicaciones científicas relacionadas a la optimización de protocolos de toma de muestra y análisis en laboratorio de la detección del SARS-CoV-2, así como de otros virus, y otros agentes patógenos.

Como se ha indicado, si bien es cierto que la detección y cuantificación del SARS-CoV-2 a partir de muestras de aguas residuales se ha realizado en diferentes partes del mundo, considerando lo novedoso de la aplicación y la inmediatez de acciones que diversos países han aplicado para hacer frente a la Pandemia, no se contaba con un protocolo establecido y universal, por lo cual cada país ha adecuado sus procedimientos considerando su realidad local y disponibilidad de insumos.

En ese contexto, en la semana 01 (del 04 al 10 de enero 2021) en la que inició la fase piloto, se llevaron a cabo las actividades de elaboración del Protocolo para la toma, preservación, transporte, recepción y análisis de las muestras mediante métodos y/o procedimientos que permitan identificar la presencia y concentración de material genético del SARS-CoV-2 en aguas residuales, así como su validación en campo, para lo cual se emplearon cuatro (04) puntos de monitoreo piloto.

Figura 4. Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de aguas residuales y sus áreas de drenaje - aplicado en la fase piloto del ámbito Lima Metropolitana y Callao.



Los cuatro (04) puntos de monitoreo fueron seleccionados en el ámbito de estudio de Lima Metropolitana y Callao, correspondiente al ámbito de responsabilidad de SEDAPAL, distribuidos en dos (02) colectores¹⁸ (Canto Grande y Comas) y dos (02) PTAR (Taboada y La Chira), como se encuentra representado en la Figura 4.

Los puntos de monitoreo piloto se seleccionaron teniendo en cuenta ciertos criterios, por un lado, se consideraron la cercanía de los puntos piloto con el laboratorio y el alcance de las áreas de drenaje de las PTAR, que conjuntamente tratan más del 80% de las aguas residuales de Lima Metropolitana y Callao, lo que permitía tener una mirada panorámica de la situación en la ciudad. Asimismo, se consideraron las facilidades para el recojo de las muestras, por ejemplo, que las PTAR cuentan con muestreadores automatizados que recogen muestras las 24 horas del día. Mientras que, para el caso de los puntos de monitoreo en colectores, se consideraron aspectos como las facilidades de recojo, que el área de drenaje represente una cuenca aislada, la dimensión de la misma y la prevalencia de la enfermedad.

Es importante precisar que para esta aplicación se tomó como base la información de las EPS, tales como la cartografía urbana de cada ámbito de estudio, base cartográfica de los principales componentes de la infraestructura de saneamiento como redes de colectores, buzones, áreas de drenaje, ubicación de las PTAR, datos de caudales, entre otros.

De igual forma, se contrastó con información cartográfica y tabular de la población a nivel de manzanas e información socioeconómica proveniente del INEI, y revisiones de información publicada por el sector salud en cuanto a casos positivos de COVID-19, información de fallecidos reportada por el SINADEF, entre otros.

En los cuatro (04) puntos de monitoreo antes mencionados, se efectuó el recojo de muestras de aguas residuales, desde la semana 01 (del 04 al 10 de enero 2021) a la semana 06 (del 08 al 14 de febrero 2021); en el caso de las PTAR las muestras de aguas residuales son tomadas desde el afluente o a la entrada de las plantas; es decir, antes de que las aguas residuales pasen por algún tipo de tratamiento¹⁹. Las experiencias obtenidas en cada semana permitieron la elaboración y validación del Protocolo que describe los pasos a seguir para: (i) la toma, preservación, transporte, recepción y almacenamiento de la muestra de aguas residuales, y (ii) la determinación y cuantificación de la carga viral del SARS-CoV-2 en aguas residuales.

En líneas generales, el método de análisis adoptado por los especialistas de laboratorio para estimar la carga del SARS-CoV-2 en aguas residuales se divide en tres (03) etapas: (i) captura y concentración de partículas virales; (ii) purificación del ARN viral total de la muestra; y (iii) amplificación selectiva y cuantificación del virus SARS-CoV-2 mediante una prueba PCR de tiempo real cuantitativa con transcripción reversa (RT-qPCR).

5.2 Fase de aplicación piloto extendido

Sobre la base de los resultados de laboratorio, durante la fase piloto, reportados hasta la semana 06 del estudio, fue posible continuar con el monitoreo en los cuatro (04) puntos empleados para la colecta de muestras de aguas residuales. A esta etapa se denominó piloto extendido, el cual comprendió desde la semana 07 (del 15 al 21 de febrero 2021)

¹⁸ Redes de alcantarillado.

¹⁹ Se suele hacer referencia a aguas residuales crudas para este tipo de casos.

hasta la semana 14 (del 05 al 11 de abril 2021) del estudio. La aplicación del piloto extendido generó resultados positivos semana a semana. Asimismo, en esta etapa, se optimizaron los procedimientos aplicados tanto en campo como en laboratorio y se continuó con el análisis de información proveniente de las EPS, del INEI y del sector salud, como insumo para la formulación del Plan de Monitoreo.

5.3 Fase de Monitoreo

Esta fase consiste en realizar el monitoreo de las aguas residuales y determinar la concentración del SARS-CoV-2 en todos los colectores y PTAR seleccionados en el Plan de Monitoreo en los dos (02) ámbitos de estudio del proyecto. En primer lugar, se inició una fase de pruebas, ampliando los puntos de monitoreo a catorce (14) en Lima Metropolitana y Callao; adicionalmente a ello, se incorporó el ámbito de estudio de la ciudad de Arequipa Metropolitana, con cuatro (04) puntos de monitoreo iniciales, totalizándose dieciocho (18) puntos de monitoreo.

Una vez seleccionados²⁰ los puntos de monitoreo más representativos y contando con las validaciones de campo respectivas²¹, resultó fundamental el trabajo coordinado con las EPS para determinar la configuración final de las áreas de drenaje (AD) aportantes a cada punto de monitoreo seleccionado, siendo pertinente mencionar que las AD pueden extenderse sobre más de un distrito, sin abarcarlo necesariamente en su totalidad; es decir, que las AD no necesariamente concuerdan con la delimitación político administrativa de las ciudades, sino que responden a la hidráulica del diseño de redes.

De ese modo, una vez culminada la fase de pruebas y teniéndose un Plan de Monitoreo consolidado, se da lugar a su aplicación, lo cual contempla lo siguiente:

- Aplicar el monitoreo en Lima Metropolitana y Callao, en cinco (05) PTAR y nueve (09) puntos en colectores de la red de alcantarillado.
- Aplicar el monitoreo en la ciudad de Arequipa Metropolitana, en dos (02) PTAR y dos (02) puntos en colectores de la red de alcantarillado.

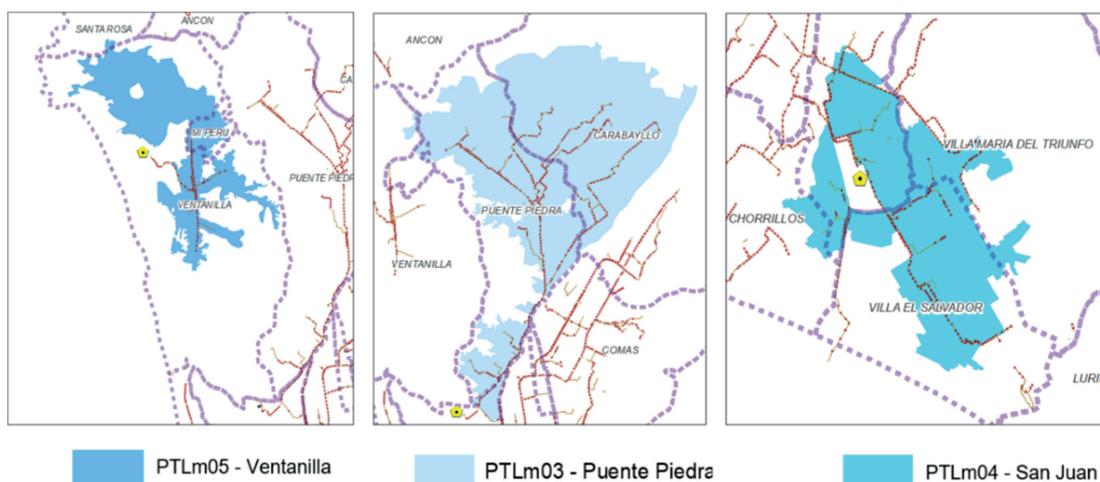
Asimismo, si bien es cierto que se plantearon originalmente dieciocho (18) puntos de monitoreo denominados fijos, se había contemplado la posibilidad de incorporar nuevos puntos de monitoreo, denominados puntos variables, dependiendo de los resultados obtenidos en campo, focalizando la atención en las zonas que lo requieran eventualmente.

Las áreas de drenaje de la PTAR Ventanilla, PTAR Puente Piedra y PTAR San Juan, del ámbito de Lima Metropolitana y Callao, así como los distritos que abarcan se muestran en la Figura N° 5, nótese que las áreas de drenaje de la PTAR Taboada y PTAR La Chira se presentaron en la Figura N° 4.

²⁰ Como se mencionó, para la elección de los puntos de monitoreo es primordial el análisis de información proveniente de diversas fuentes, tales como la proporcionada por las EPS respecto a las infraestructuras de saneamiento y sus áreas de drenaje, información poblacional y socioeconómica proporcionada por el INEI, de igual forma la información publicada por el sector salud en cuanto a casos positivos de COVID-19, información de fallecidos reportada por el SINADEF, entre otros.

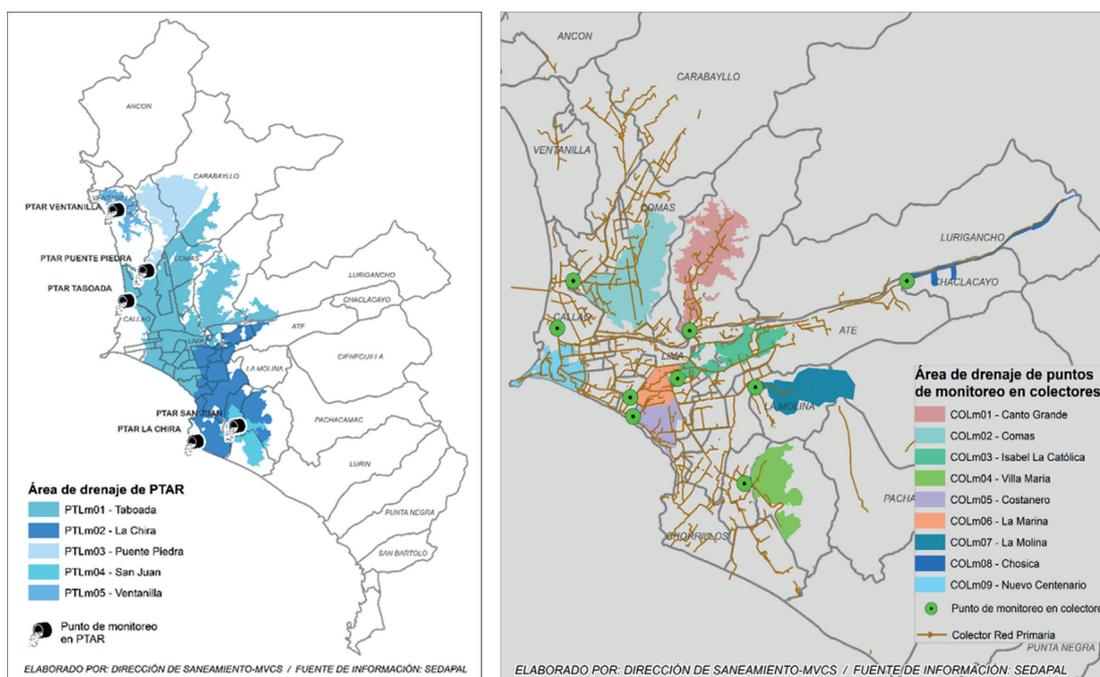
²¹ Lo que incluye aspectos logísticos del trabajo de campo, como por ejemplo la posibilidad de abrir los buzones para la colecta de las muestras.

Figura 5. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para las PTAR Ventanilla, Puente Piedra y San Juan, ámbito de Lima Metropolitana y Callao.



Elaboración: Dirección de Saneamiento – MVCS

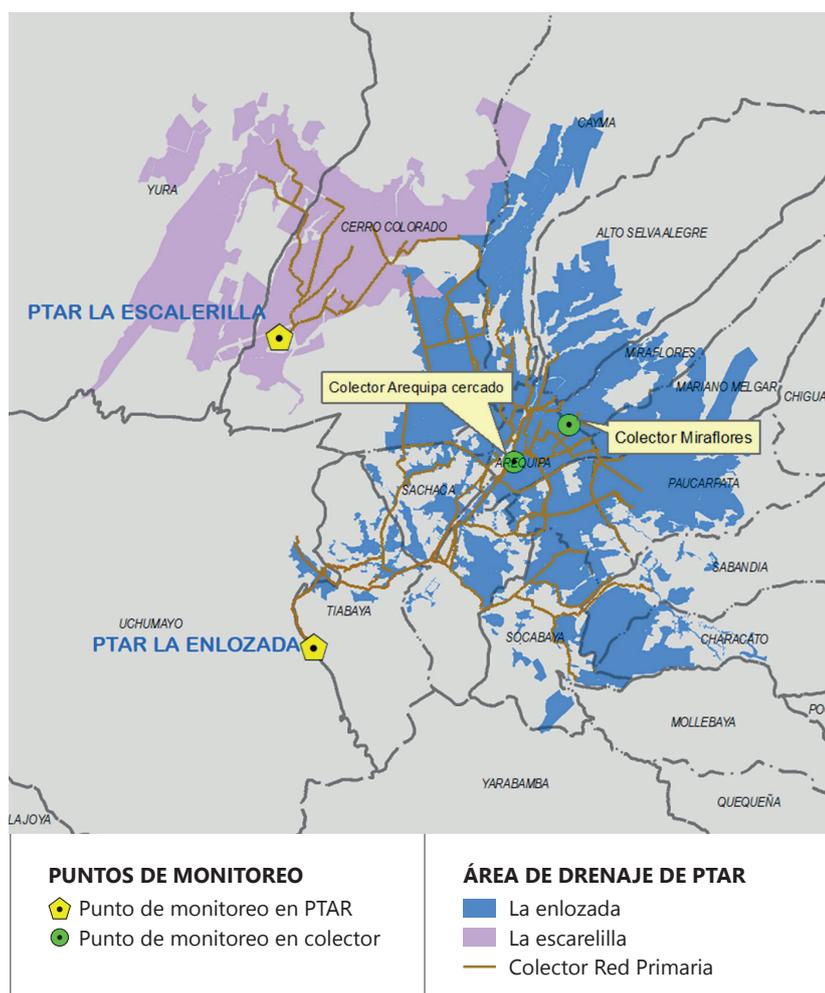
Figura 6. Ubicación de puntos de monitoreo en PTAR y Colectores, y áreas de drenaje respectivas - ámbito Lima Metropolitana y Callao.



La Figura 6 muestra, al lado derecho, el consolidado de las áreas de drenaje de las cinco (05) PTAR monitoreadas en Lima Metropolitana y Callao, las mismas que en conjunto abarcan más del 90% de las aguas residuales tratadas de la ciudad; mientras que, al lado derecho se muestran los nueve (09) puntos colectores seleccionados (para mayor detalle véase el Anexo), los mismos que por un lado brindan información a mayor detalle (colectores ubicados dentro de las áreas de drenaje de las PTAR), así como complementan la información (colectores ubicados fuera de las áreas de drenaje de las PTAR).

La Figura N° 7 muestra los puntos de monitoreo de las dos (02) PTAR monitoreadas en el ámbito de Arequipa Metropolitana, donde la PTAR La Enlozada trata el 96% de las aguas residuales de la ciudad; mientras que, la PTAR Escalerilla trata el 4% restante. Asimismo, se muestran los dos (02) colectores seleccionados inicialmente (los mismos que posteriormente fueron ampliados), estos colectores se ubican dentro del área de drenaje de la PTAR La Enlozada, en los distritos más comerciales de la ciudad.

Figura 7. Ubicación de puntos de monitoreo en PTAR y colectores del ámbito de Arequipa Metropolitana.



Las consideraciones generales para la toma de muestras de aguas residuales en campo, se resumen en los siguientes párrafos:

- La recolección de las muestras de aguas residuales se realizó de forma manual en todos los puntos ubicados en los colectores de la red de alcantarillado y en dos (02) de las cinco (05) PTAR del ámbito de SEDAPAL (PTAR Puente Piedra y PTAR Ventanilla). En tanto que, en las PTAR Taboada, La Chira y San Juan del ámbito de SEDAPAL, y en las PTAR La Enlozada y La Escalerilla del ámbito de SEDAPAR, se aplica la recolección con el uso de muestreadores automáticos por periodos horarios en 24 horas, dado que dichas PTAR cuentan con el equipamiento necesario.
- Toda actividad de recojo de muestras en campo consideró la coordinación previa y acompañamiento del personal de la EPS respectiva, asimismo consideró la preparación de materiales, equipos e indumentaria de seguridad para el personal que ejecuta el monitoreo de aguas residuales en colectores y en PTAR como mínimo un día previo a cada monitoreo.
- Para los colectores (recolección manual), la frecuencia de colecta de muestra se realizó una vez por semana por punto de monitoreo entre lunes y viernes, siendo el periodo de duración de cada monitoreo de cuatro (04) horas en total. El rango horario en el que se tomaron las muestras en los colectores seleccionados fue de 8:00 am a 2:00 pm. Este horario busca que las muestras recolectadas presenten la menor cantidad de inhibidores, como por ejemplo detergentes o desinfectantes.
- Durante cada hora de monitoreo se colecta una muestra simple de 500 mL que se mantiene en una caja térmica en refrigeración ($< 8^{\circ}\text{C}$). Seguidamente, se realiza la mezcla de las cuatro (04) muestras en un recipiente, para generar la muestra compuesta, a partir de donde se recoge una muestra de 1000 mL por cada punto de monitoreo, recolectándose en un envase de plástico previamente desinfectado para el análisis de SARS-CoV-2, adicionalmente se recolectan 500 mL en un envase de plástico provisto por un laboratorio externo para el análisis de DQO y Amonio. Con el remanente se miden in situ ciertos parámetros de las aguas residuales (pH, conductividad y temperatura). Adicionalmente a esto, se realiza una última muestra simple en un envase de 250 mL de vidrio ámbar para el análisis de coliformes fecales.
- Para las PTAR se consideró originalmente la toma de muestra dos (02) veces por semana por punto de monitoreo, entre lunes y viernes, siendo el periodo de duración de cada monitoreo de 24 horas para los casos en los que la PTAR cuentan con el muestreador automático. En dicho equipo se mantiene la temperatura baja ($< 8^{\circ}\text{C}$) agregando hielo y/o ice packs dentro del reservorio del colector automático. Una vez que haya pasado el monitoreo de 24 horas, se prepara la muestra compuesta acopiando las 24 muestras simples en un recipiente, de donde se extrae 1000 mL en un envase de plástico previamente desinfectado para el análisis de SARS-CoV-2.
- En las PTAR donde no se cuente con muestreador automático y se tenga que realizar muestreos manuales, se aplica el muestreo con una duración de cuatro (04) horas en total. Para ello, el procedimiento es similar a lo expuesto para los monitoreos en colectores.
- El rango horario para la toma de muestras en las PTAR con muestreador automático será según esté fijado en la PTAR específica, siempre que abarque un periodo de 24 horas. Para el caso donde se tenga que realizar la toma de muestra manual, el rango horario será entre 8:00 am a 2:00 pm, pudiendo empezar típicamente entre 9:00 am y 10:00 am.

- Para el caso de Arequipa, las muestras colectadas en las PTAR y en los colectores consideran un procedimiento particular aplicado por criterio del personal de laboratorio, con el propósito de evitar posibles procesos degradativos de la muestra, que podrían comprometer los resultados de la determinación del SARS-CoV-2. En ese contexto, el mismo día de la colecta en campo, las muestras deben ser filtradas en las instalaciones del laboratorio en Arequipa²²; posteriormente se realiza el transporte vía terrestre de Arequipa a Lima, el traslado de las muestras filtradas, mantenidas en solución de preservación en una caja térmica con *ice packs*, se realiza una vez por semana. A su llegada a Lima se realiza el análisis para la determinación de la concentración del SARS-CoV-2.
- Es importante resaltar que se ha elaborado una “Guía Instructiva para la aplicación de la herramienta de alerta temprana a partir del monitoreo del SARS-COV-2 en aguas residuales dirigida a las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS)”, la misma que presenta el proceso de campo y de laboratorio a detalle.

6. Resultados

6.1 Resultados de la fase piloto y piloto extendido

Como se mencionó previamente, en estas etapas se efectuó la toma de muestras de aguas residuales de cuatro (04) puntos de monitoreo en el ámbito de estudio de Lima Metropolitana y Callao, correspondiente al ámbito de responsabilidad de SEDAPAL, ubicados en dos (02) colectores (Canto Grande y Comas) y dos (02) PTAR (Taboada y La Chira).

Como resultado de ello, en la semana 06 (del 08 al 14 de febrero 2021), se logró identificar cualitativamente y cuantitativamente, el genoma del virus SARS-CoV-2 en los cuatro (04) puntos de monitoreo empleados, como se muestra en la Tabla N° 1.

Tabla 1. Resultados de laboratorio de la semana 06

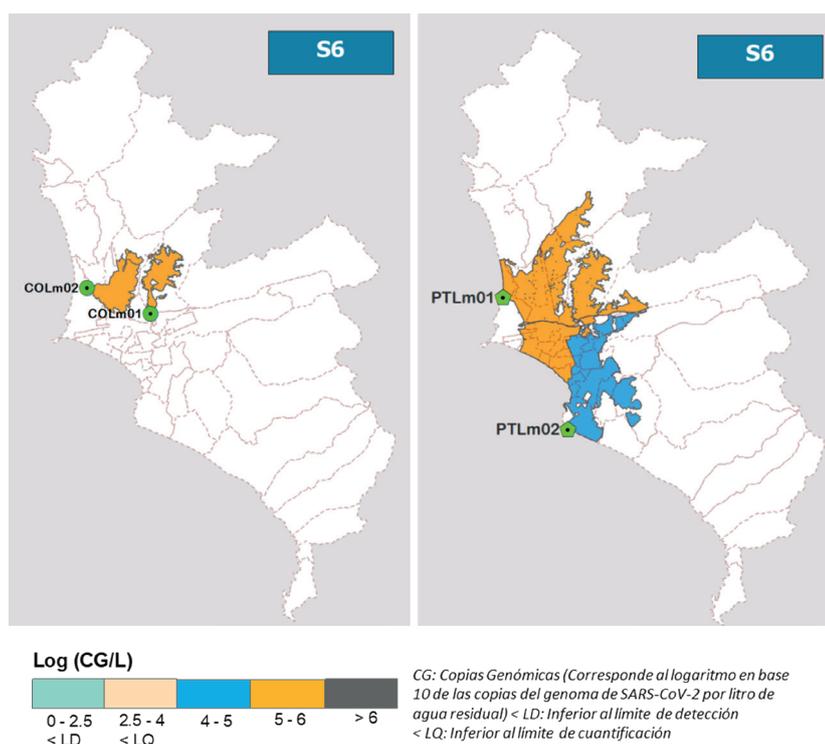
Código de la muestra	Punto de Monitoreo	Rendimiento de ARN (μ g)	Detección de SARS-CoV-2 (1)	Genomas de SARS-CoV-2 / mL de agua residual (target N1)	Genomas de SARS-CoV-2 / mL de agua residual (target N2)	Log (copias de SARS-CoV-2 / L de agua residual) (target N1) (2)	Log (copias de SARS-CoV-2 / L de agua residual) (target N2) (2)
COLm01-BPF-2021.02.09	Colector Canto Grande	55,82	DETECTADO	207,63	164,33	5,32	5,22
COLm02-BPF-2021.02.11	Colector Comas	36,56	DETECTADO	521,47	251,63	5,72	5,40
PTLm01-ISO-2021.02.11	PTAR Taboada	46,23	DETECTADO	217,31	90,45	5,34	4,96
PTLm02-ISO-2021.02.11	PTAR La Chira	34,64	DETECTADO	86,84	47,28	4,94	4,67

Fuente: Reporte de Laboratorio – UTEC

²² Laboratorio de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), que colaboró con el laboratorio de UTEC.

Los resultados de laboratorio muestran la equivalencia de la data de carga viral por litro de agua residual a escala logarítmica, aplicando logaritmo en base 10; es decir que la concentración estimada del virus se mide en el logaritmo del número de copias del genoma del SARS-CoV-2 (CG) por litro (L) de agua residual, medido en la región N1 del genoma. Con ello se efectúa la representación espacial en mapas temáticos de cada semana, para las concentraciones máximas de cada semana, como se muestra en la Figura 8, para los cuatro (04) puntos de monitoreo de Lima Metropolitana y Callao: Colector Canto Grande (COLm01), Colector Comas (COLm02), PTAR Taboada (PTLm01), PTAR La Chira (PTLm02).

Figura 8. Semana 06, número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cuatro (04) puntos de monitoreo de Lima Metropolitana y Callao: Colector Canto Grande (COLm01), Colector Comas (COLm02), PTAR Taboada (PTLm01) y PTAR La Chira (PTLm02)



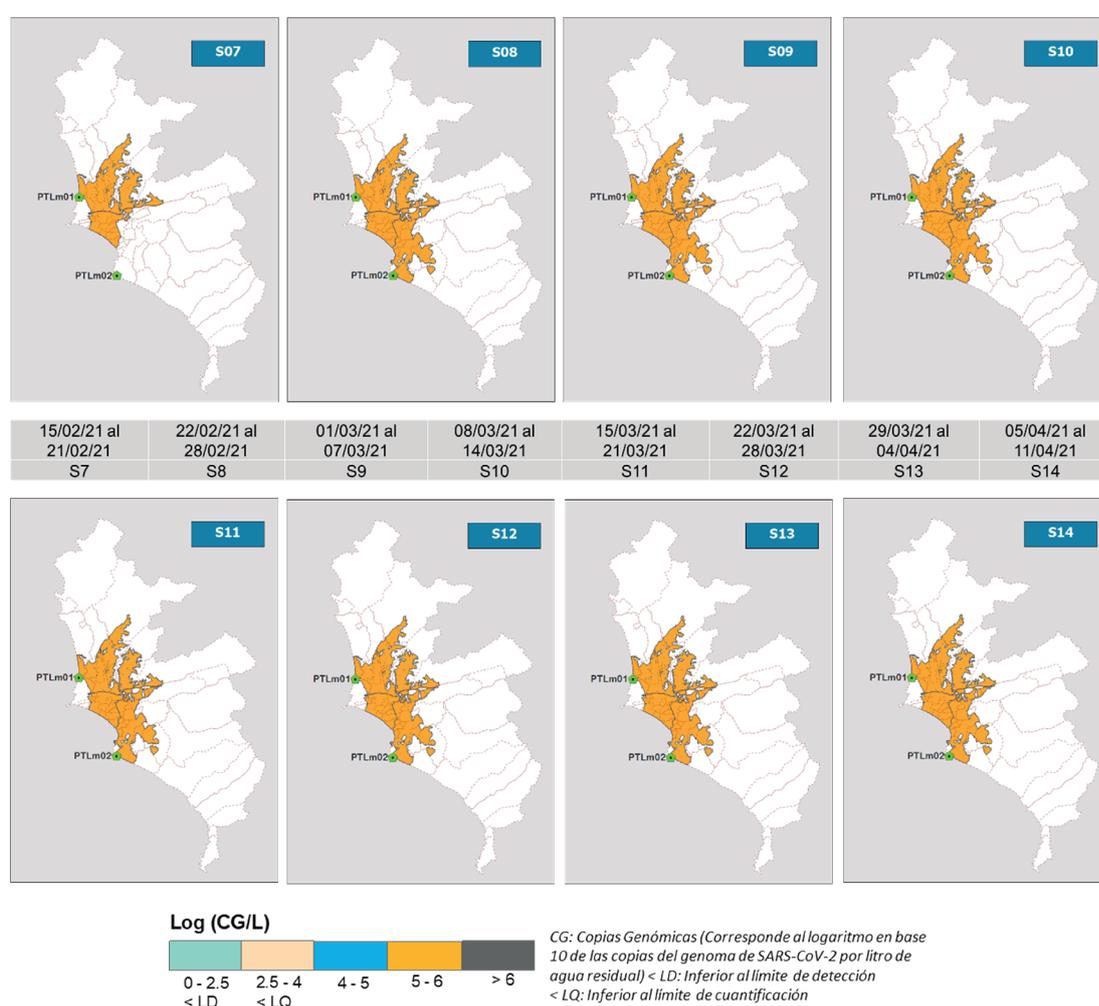
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)²³

²³ Reportes de Laboratorio semanal emitidos por UTEC, en el marco del Contrato de Locación de Servicios de Consultoría N° 12-2020-SECOSAN.

Posteriormente, en la fase de piloto extendido, desde la semana 07 (del 15 al 21 de febrero 2021) hasta la semana 14 (del 05 al 11 de abril 2021), se continuó obteniendo resultados semana a semana, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

Figura 9. Semana 07 a semana 14, número de CG de SARS-CoV-2 por litro de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Lima Metropolitana y Callao: PTAR Taboada (PTLm01) y PTAR La Chira (PTLm02)



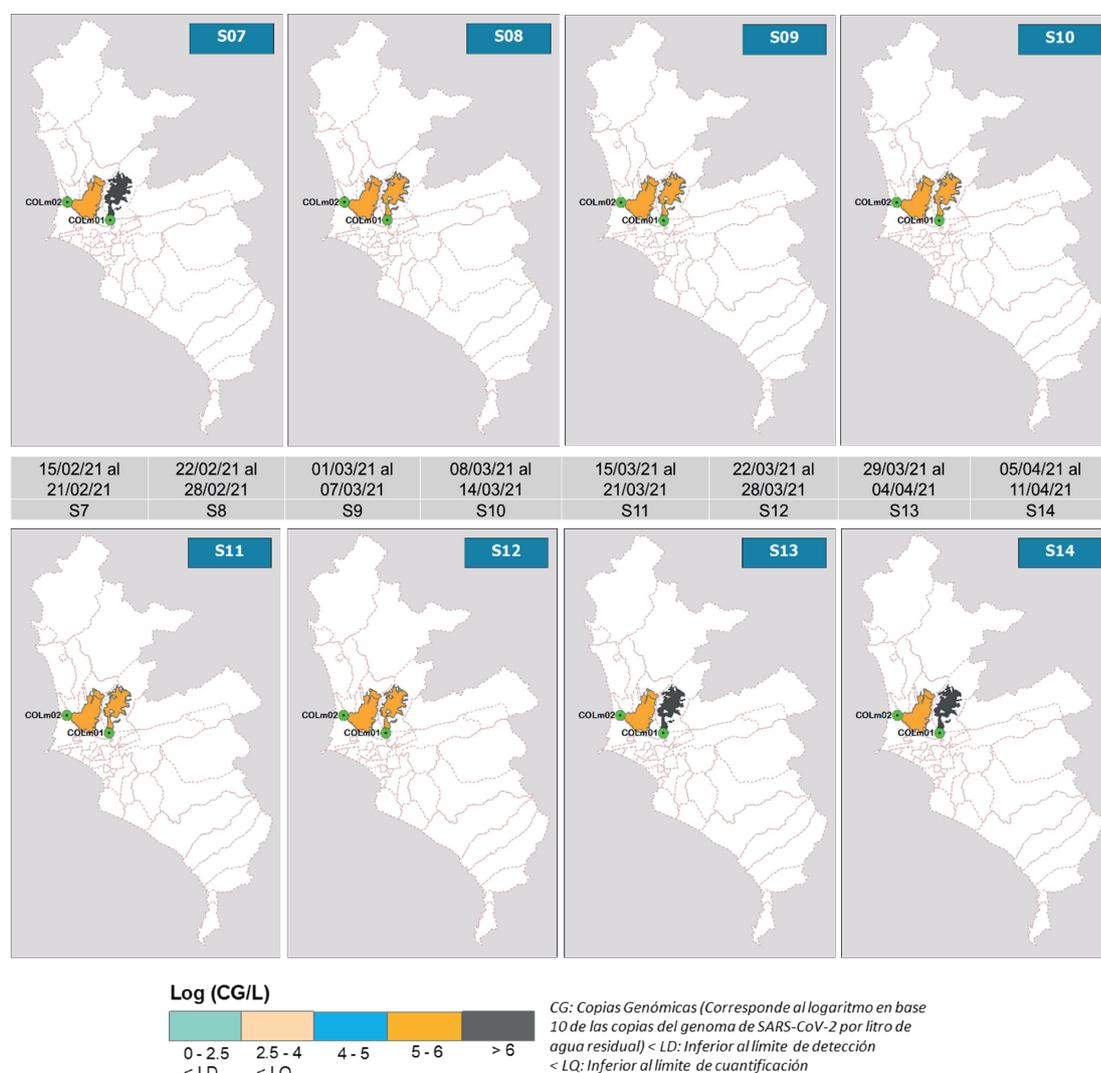
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Como se puede apreciar en la Figura 9, los dos (02) puntos de monitoreo correspondientes a PTAR Taboada (PTLm01) y PTAR La Chira (PTLm02) reportaron sistemáticamente para todas las semanas analizadas una concentración alta del virus. Es pertinente mencionar que estas semanas de monitoreo coinciden con la segunda ola de contagios en Lima Metropolitana y Callao, lo que explica los resultados obtenidos.

Por su parte, como se puede apreciar en la Figura 10, que muestra el caso del Colector Canto Grande (COLm01) y Colector Comas (COLm02), el punto de monitoreo del Colector Canto Grande, alcanzó a presentar las cifras de concentración extrema del virus durante las semanas 07, 13 y 14 del estudio, manteniéndose concentraciones altas para el resto de las semanas en ambos colectores.

Figura 10. Semana 07 a semana 14, número de CG de SARS-CoV-2 por litro de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Lima Metropolitana y Callao: Colector Canto Grande (COLm01) y Colector Comas (COLm02)

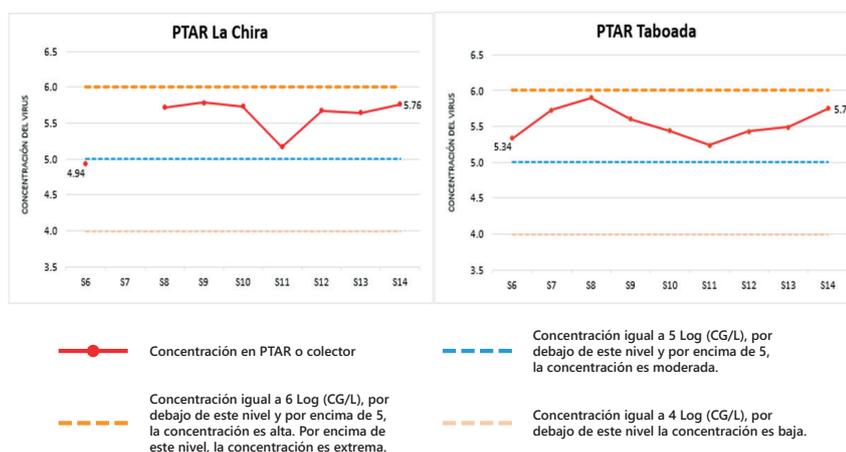


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

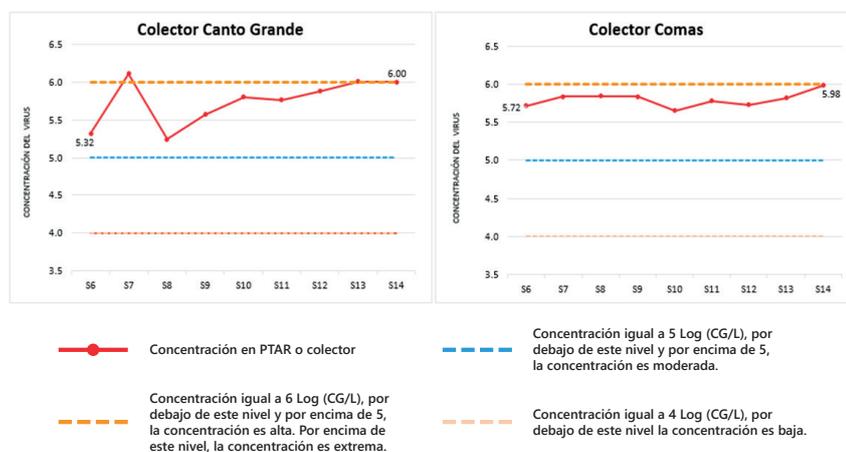
La Figura 11 a continuación muestra, a través de una gráfica de series de tiempo, la evolución de los resultados de carga viral (concentración), para los cuatro (04) puntos de monitoreo (PTAR y Colectores), las mismas que representan las concentraciones máximas obtenidas en cada semana. Al respecto, se puede apreciar que la concentración de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales ha sido, por lo general, alta, a excepción del Colector Canto Grande, que en algunas semanas reporta una concentración extrema.

Figura 11. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 06 a Semana 14, puntos de monitoreo en PTAR de Lima Metropolitana y Callao



Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

Figura 12. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 06 a Semana 14, puntos de monitoreo en Colectores de Lima Metropolitana y Callao



Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

6.2 Resultados de la fase de Monitoreo

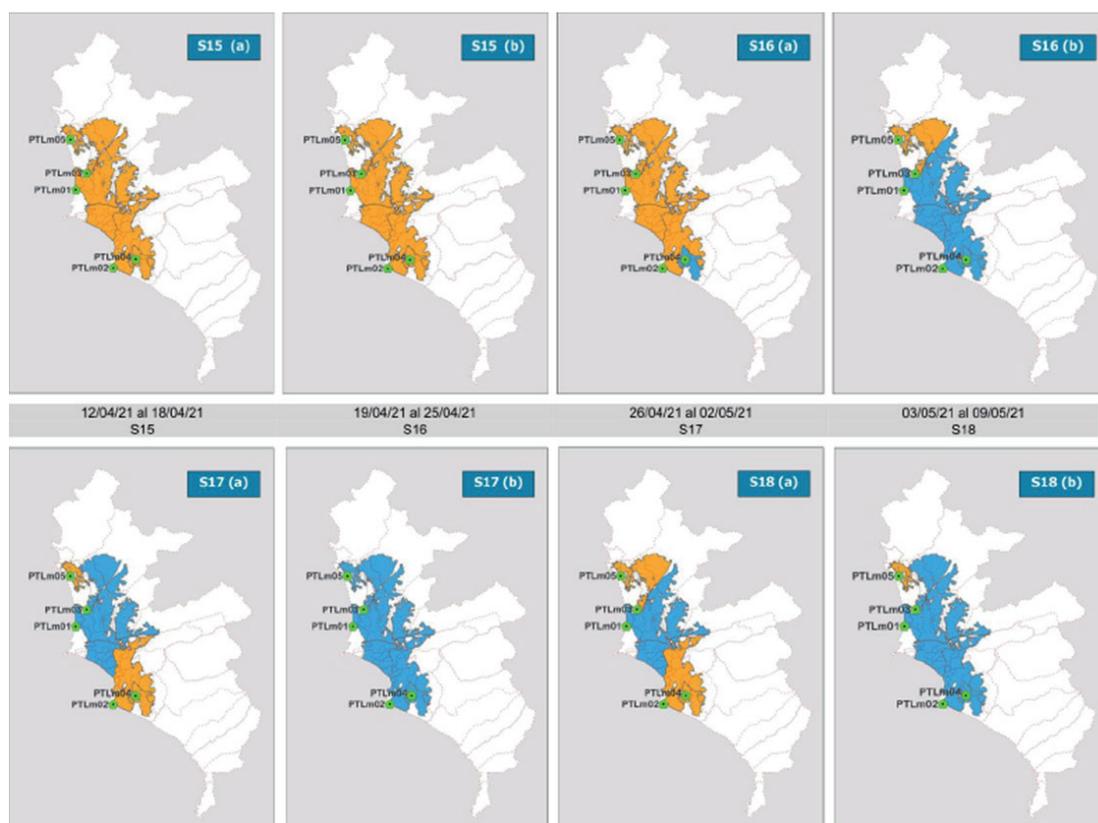
Los resultados que se muestran a continuación corresponden a los obtenidos desde la semana 15 (12 al 18 de abril 2021) a la semana 56 (24 al 30 de enero de 2022) y comprende:

- a) El monitoreo efectuado en Lima Metropolitana y Callao en cinco (05) PTAR, siendo estas las PTAR Taboada, La Chira, Puente Piedra, Ventanilla, San Juan; y en nueve (09) puntos en colectores de la red de alcantarillado que corresponden a puntos estratégicos ubicados en los distritos de San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, La Victoria, San Juan de Miraflores, Magdalena, Pueblo Libre, La Molina, Chaclacayo, Callao (Ver Anexo para más detalle).
- b) El monitoreo efectuado en la ciudad de Arequipa Metropolitana en dos (02) PTARs, La Escalerilla y La Enlozada, así como en cuatro (04) puntos de monitoreo en los colectores de la red de alcantarillado; Colector 58 que capta las aguas residuales en una mayor proporción del distrito de Arequipa Cercado y una menor proporción del distrito de Miraflores; Colector 83, que capta las aguas residuales, principalmente, del distrito de Miraflores; Colector Los Arrayanes, que capta las aguas residuales, principalmente, del distrito de Yanahuara; y Colector 73, que capta las aguas residuales de Socabaya y, en menor proporción de los distritos de Sabandía y José Luis Bustamante y Rivero (Ver Anexo para más detalle).

6.2.1 Resultados Lima Metropolitana y Callao

A partir de los resultados de laboratorio, en sus cifras equivalentes aplicando logaritmo en base 10 de la concentración del virus (copias de genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual), se efectuó la representación espacial en mapas temáticos de cada semana, para las PTAR del ámbito de Lima Metropolitana y Callao: PTAR Taboada (PTLm01), PTAR La Chira (PTLm02), PTAR Puente Piedra (PTLm03), PTAR San Juan (PTLm04), PTAR Ventanilla (PTLm05).

Figura 13. Semana 15 (S15) a semana 18 (S18), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

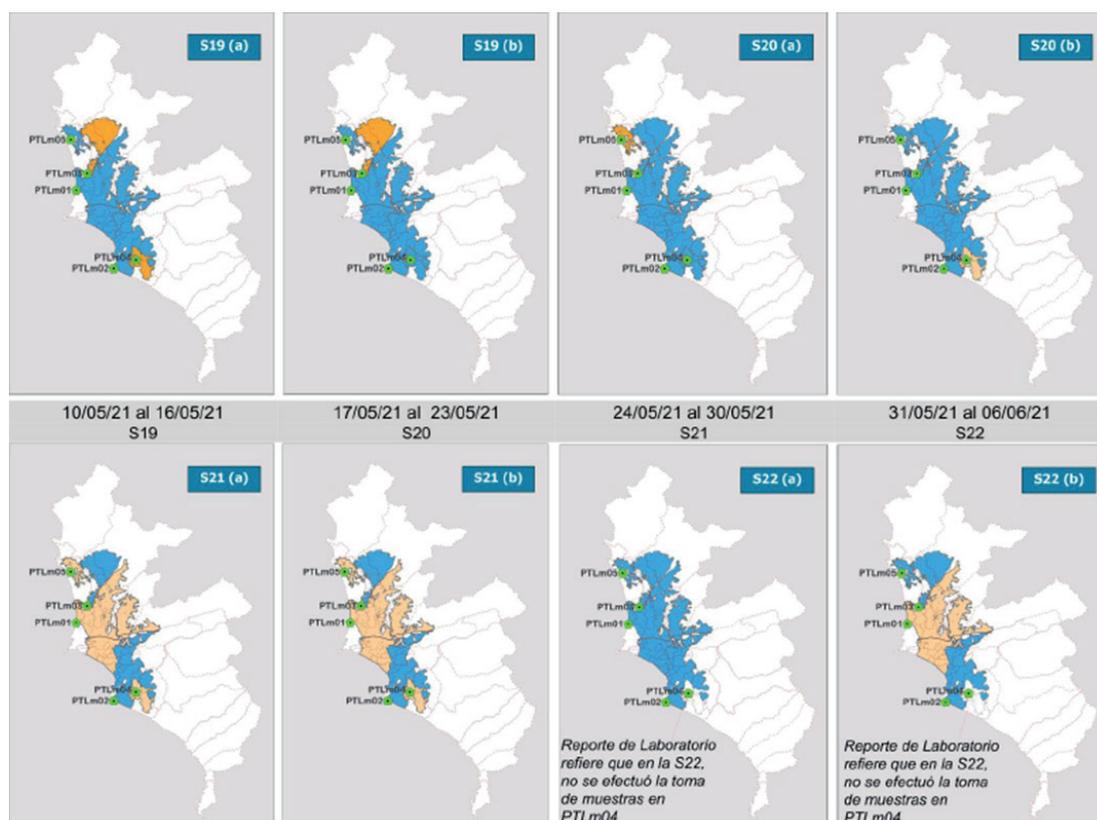


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

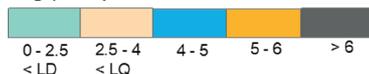
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

Figura 14. Semana 19 (S19) a semana 22 (S22), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

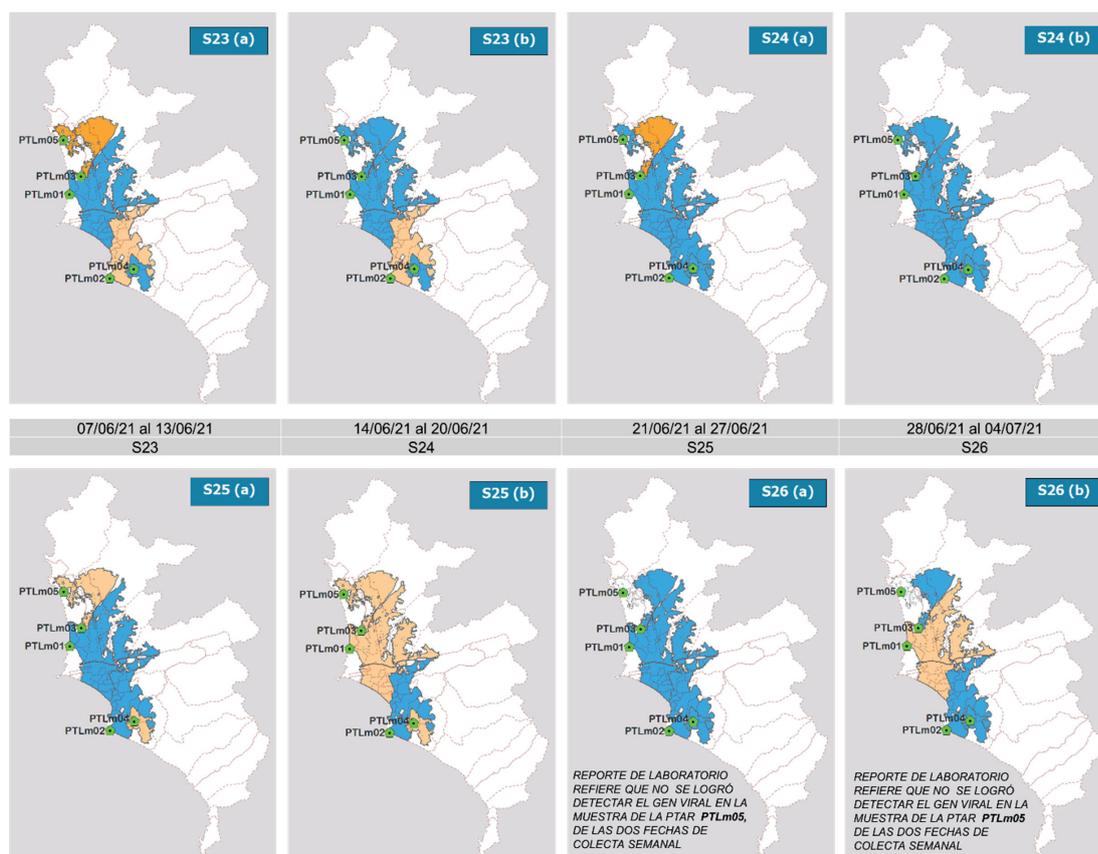


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

Figura 15. Semana 23 (S23) a semana 26 (S26), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

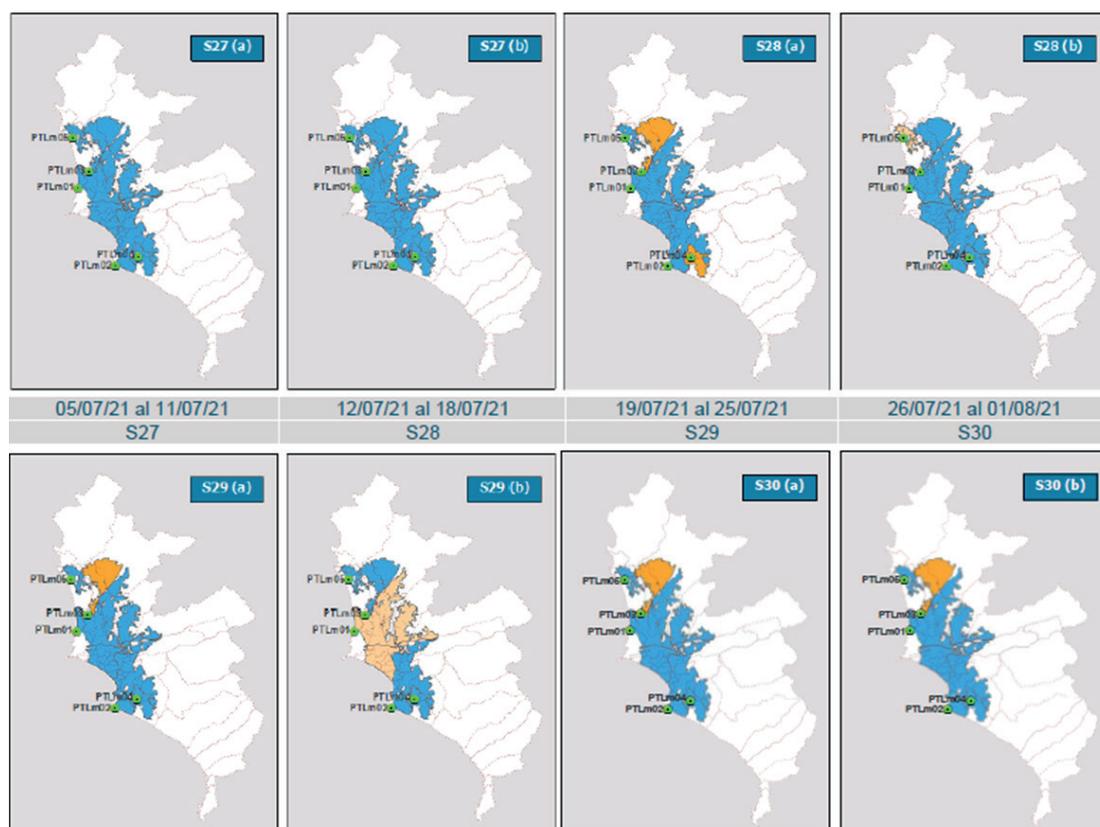


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

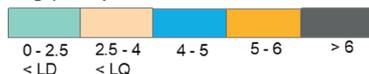
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

Figura 16. Semana 27 (S27) a semana 30 (S30), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

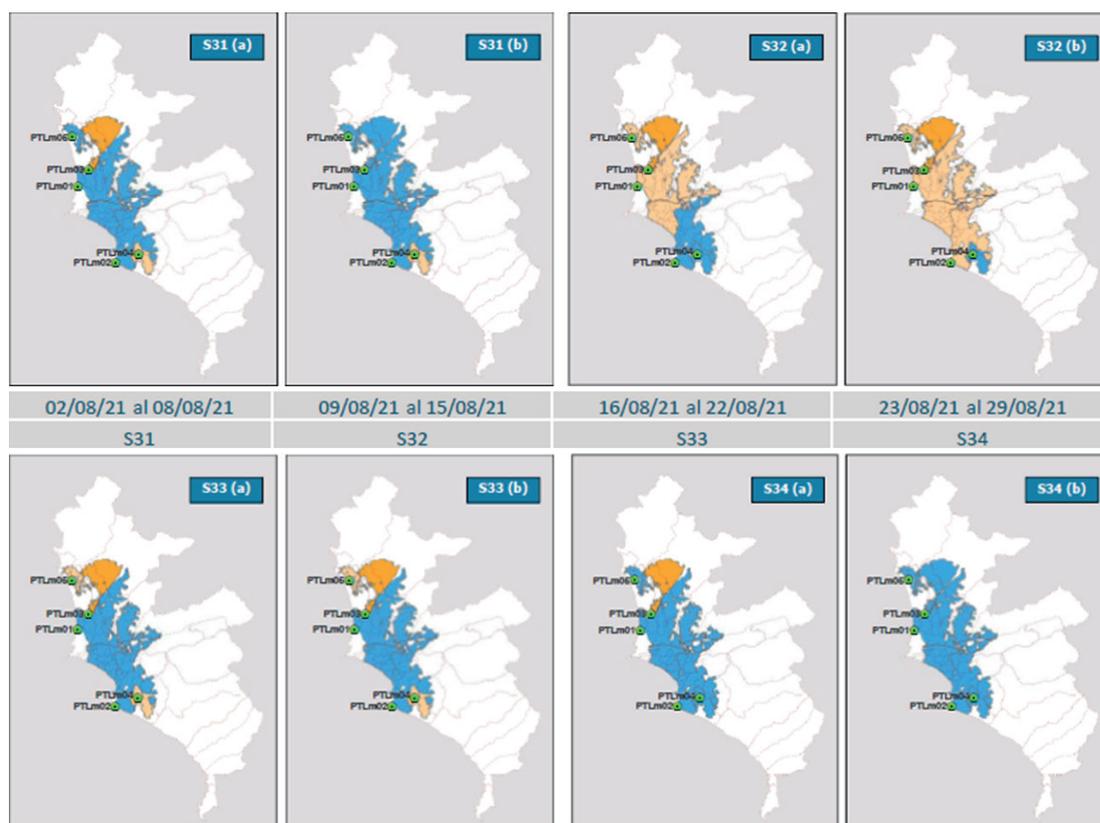


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

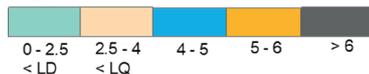
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 17. Semana 31 (S31) a semana 34 (S34), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

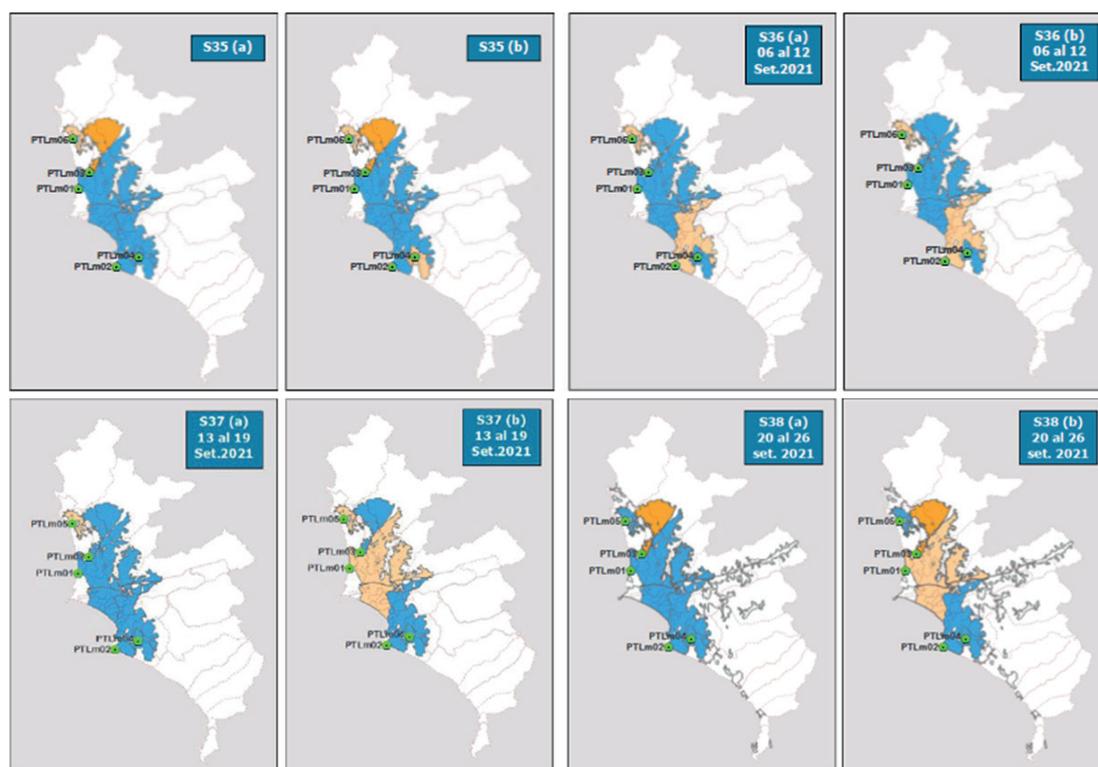


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 18. Semana 35 (S35) a semana 38 (S38), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

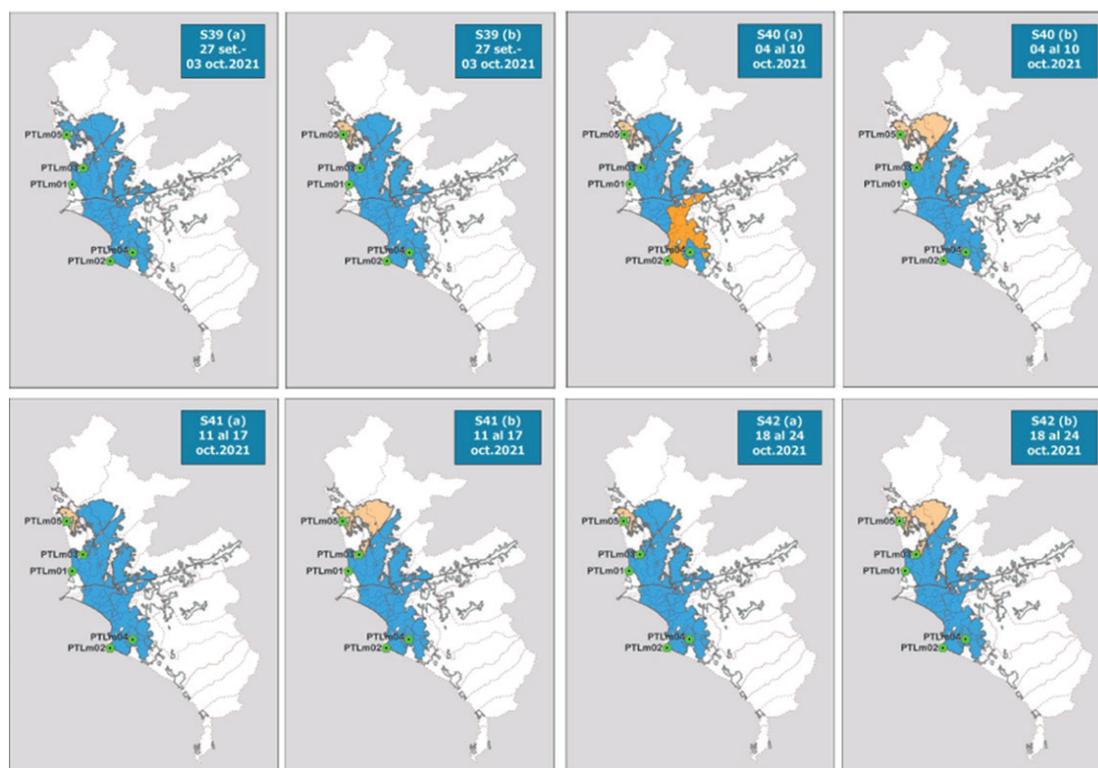


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECH)

Figura 19. Semana 39 (S39) a semana 42 (S42), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao. (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)



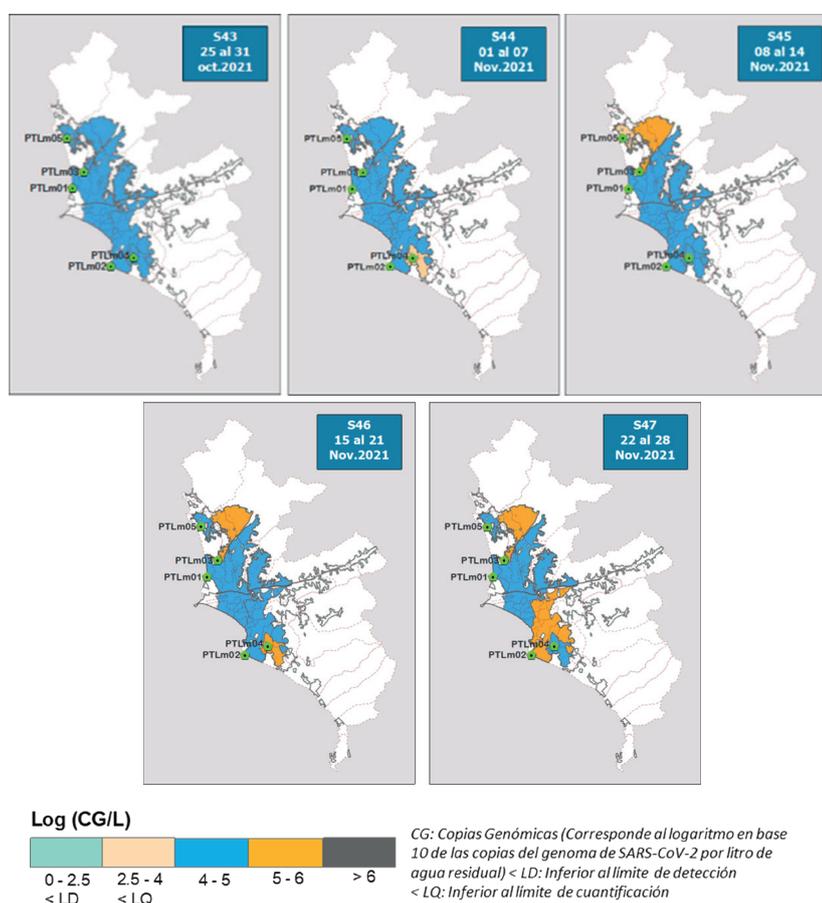
CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

Es importante resaltar que se logró un financiamiento adicional de SECOSAN sobre la iniciativa, esto permitió extender el monitoreo hasta enero 2022. Para ello se comenzaron a recoger muestras en PTAR una vez por semana, mientras que se retomaron los trabajos en 2 colectores puntuales en Lima Metropolitana y Callao, los cuales complementan las áreas de drenaje abarcadas por las cinco (05) PTAR monitoreada.

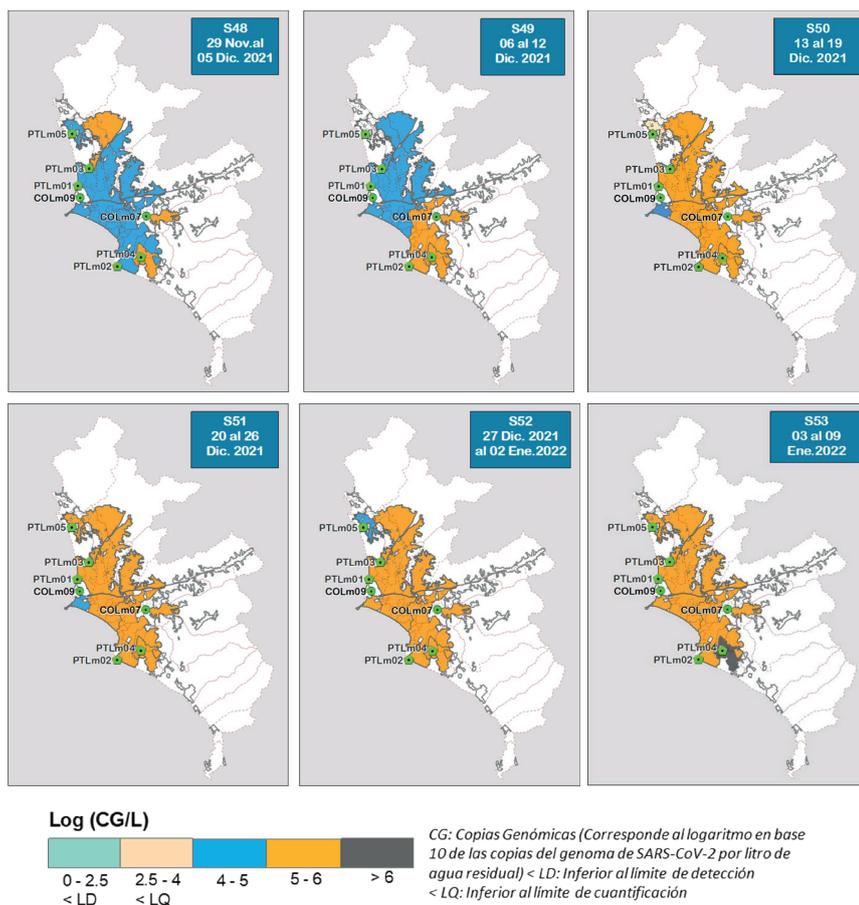
Figura 20. Semana 43 (S43) a semana 47 (S47), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR de Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

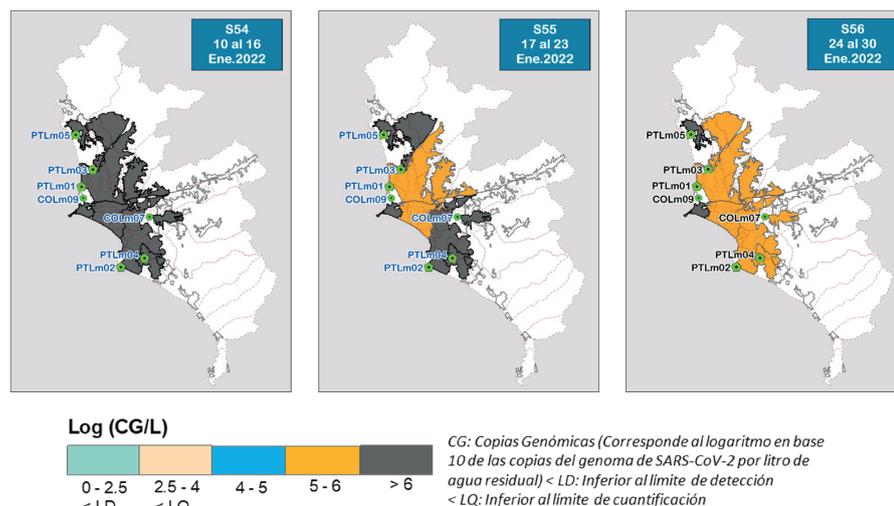
Figura 21. Semana 48 (S48) a semana 53 (S53), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR y dos (02) Colectores de Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 22. Semana 54 (S54) a semana 56 (S56), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en cinco (05) PTAR y dos (02) Colectores de Lima Metropolitana y Callao

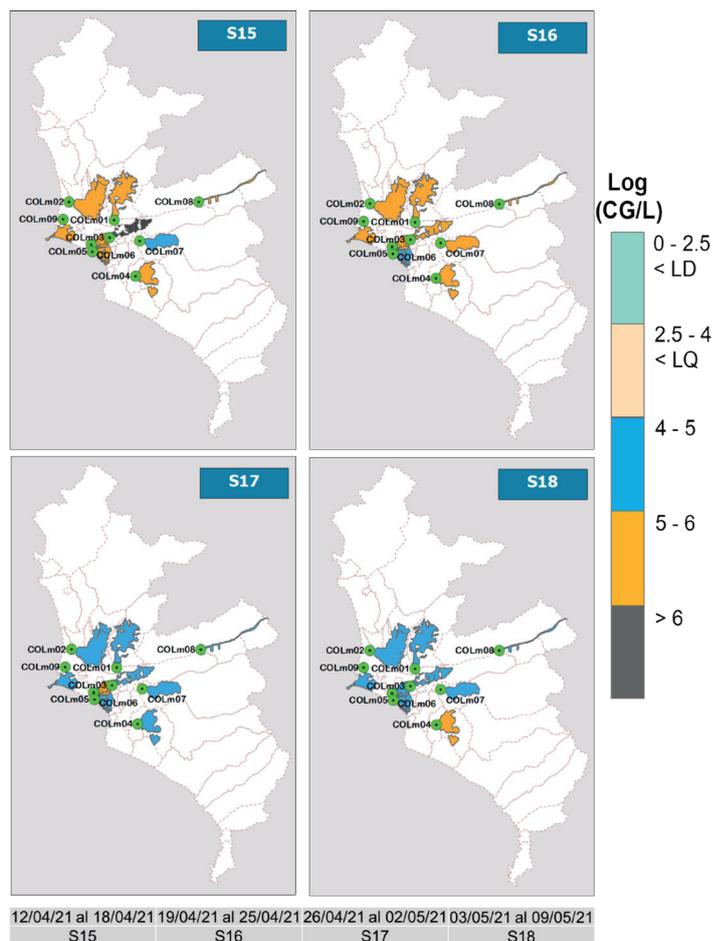


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEQ)

Respecto a los resultados de laboratorio obtenidos para los puntos de muestreo en colectores de la red de alcantarillado de Lima Metropolitana y Callao, en las figuras siguientes se efectúa la representación espacial en mapas temáticos de cada semana, empleando cifras en logaritmo en base 10 de la concentración estimada del virus (copias de genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual), para los puntos siguientes: Colector Canto Grande (COLm01), Colector Comas (COLm02), Colector Isabel La Católica (COLm03), Colector Villa María (COLm04), Colector Costanero (COLm05), Colector La Marina (COLm06), Colector La Molina (COLm07), Colector Chosica (COLm08) y Colector Nuevo Centenario (COLm09). Cabe precisar que, en el caso de los Colectores, los muestreos se realizaron una vez por semana. Asimismo, es importante precisar que el recojo de muestras se realizó hasta la semana 43 en los nueve (09) colectores, luego de lo cual se mantuvo solo el recojo de muestra en PTAR, retomándose el recojo de muestras en dos colectores [Colector La Molina (COLm07) y Colector Nuevo Centenario (COLm09)] desde la semana 48 hasta la semana 56 (véase las Figuras 21 y 22).

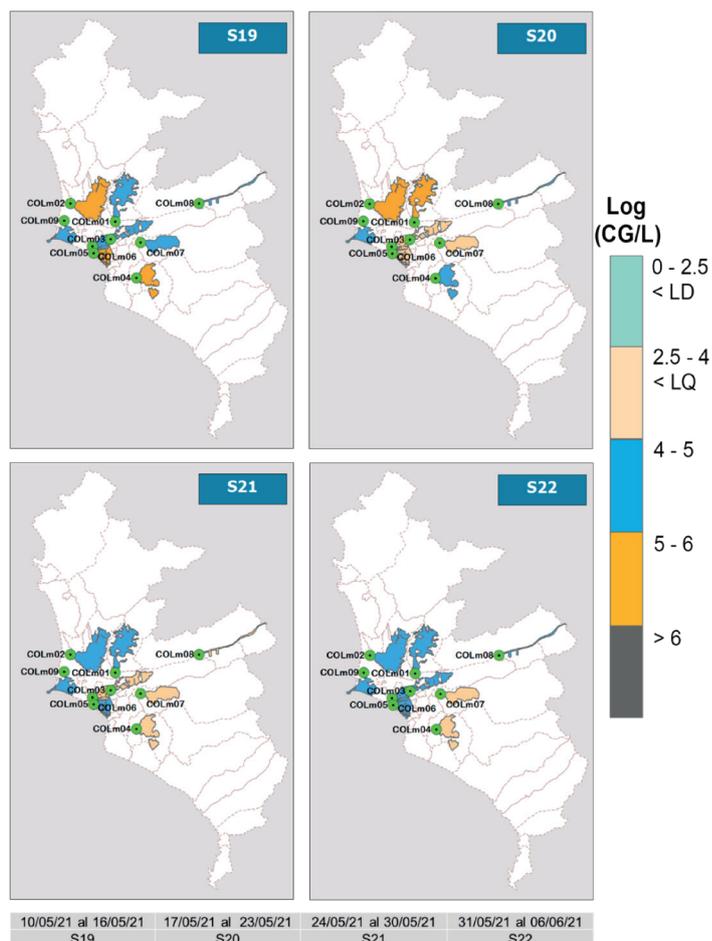
Figura 23. Semana 15 (S15) a semana 18 (S18), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEQ)

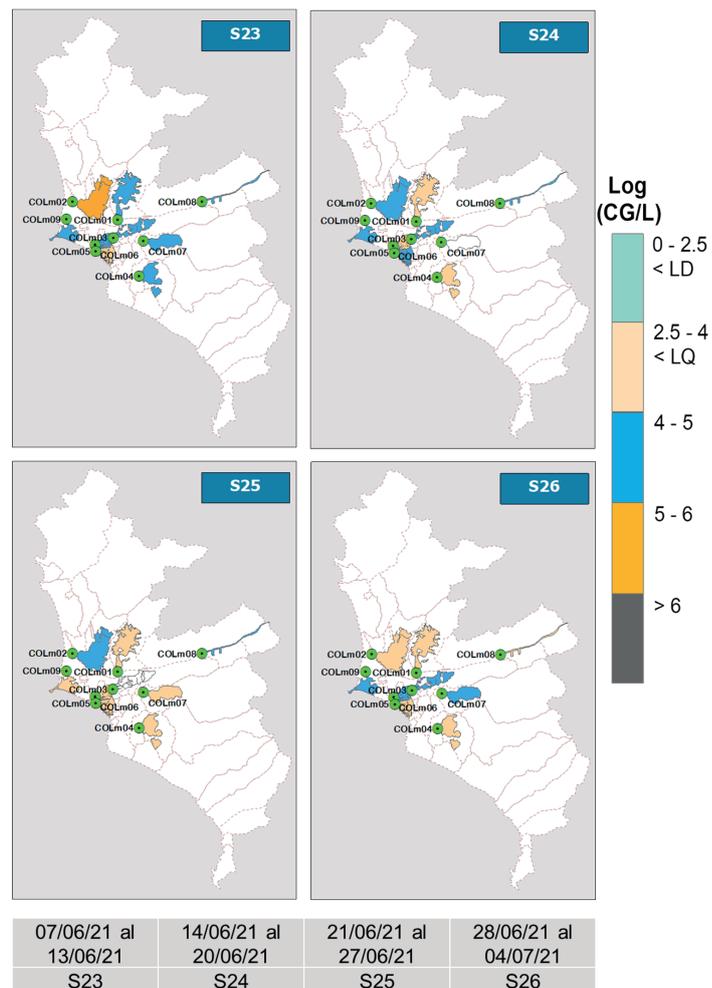
Figura 24. Semana 19 (S19) a semana 22 (S22), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

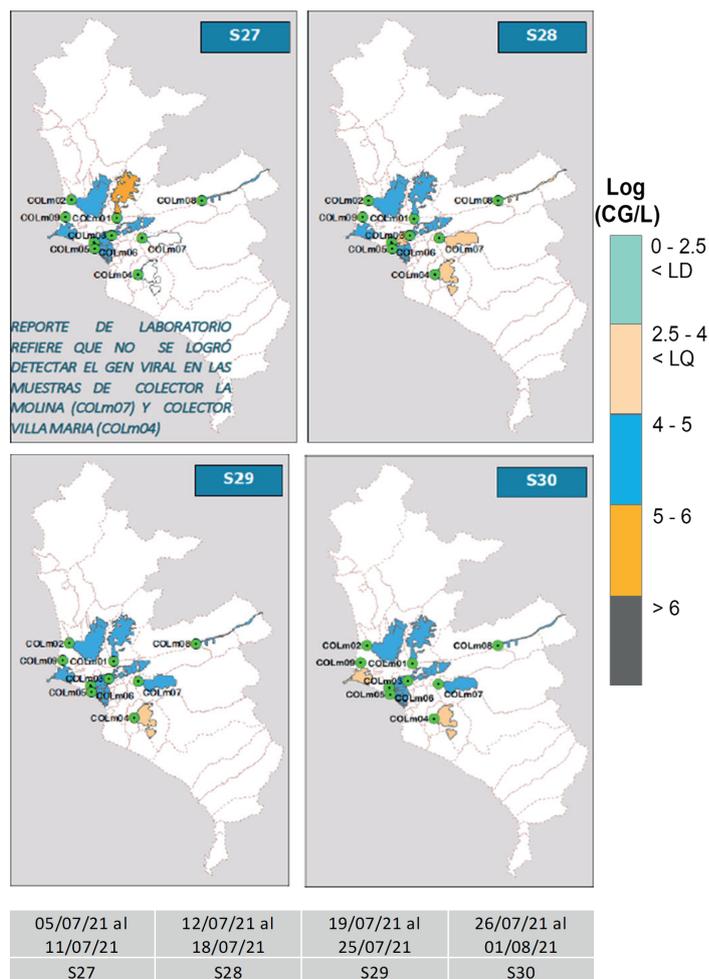
Figura 25. Semana 23 (S23) a semana 26 (S26), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEQ)

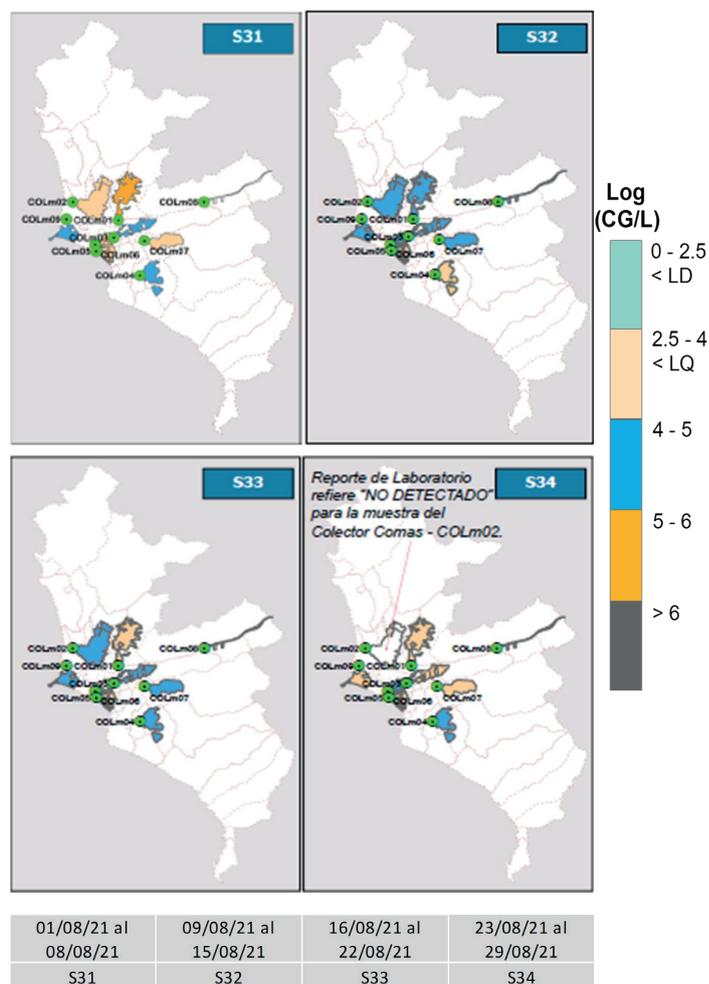
Figura 26. Semana 27 (S27) a semana 30 (S30), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

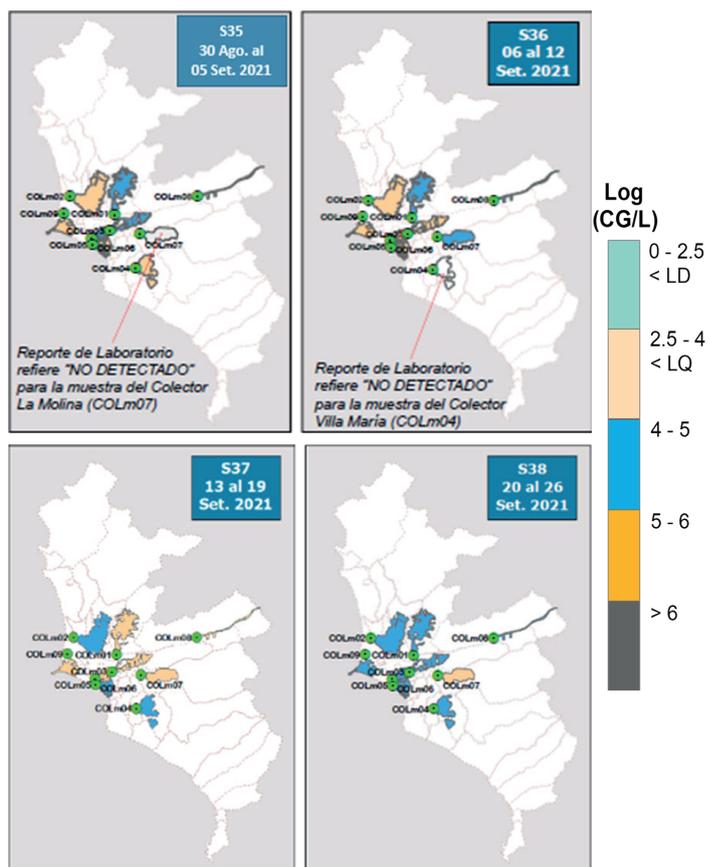
Figura 27. Semana 31 (S31) a semana 34 (S34), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

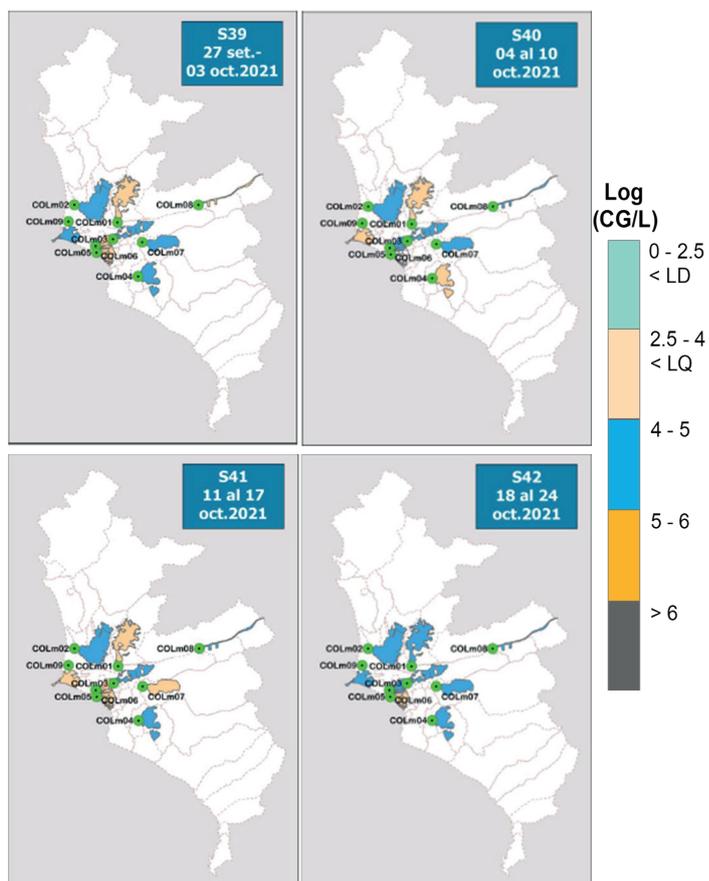
Figura 28. Semana 35 (S35) a semana 38 (S38), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

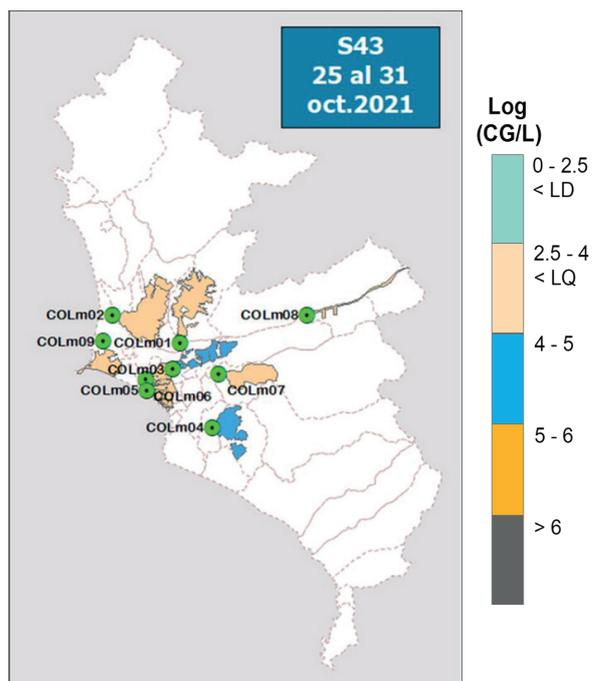
Figura 29. Semana 39 (S39) a semana 42 (S42), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 30. Semana 43 (S43), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual (en escala logarítmica), región N1, obtenido en nueve (09) puntos de monitoreo de la red de colectores, Lima Metropolitana y Callao



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEK)

En cuanto a la evolución de los resultados de carga viral, para los cinco (05) puntos de monitoreo en PTAR, estos se encuentran representados en la siguiente figura, la misma que representa las concentraciones máximas obtenidas en cada semana. Al respecto, se puede apreciar que la concentración de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales ha sido, por lo general, moderada, ya que se encuentra en el periodo entre la segunda y tercera ola de contagios. Sin embargo, durante las semanas 15 y 16 principalmente, a la salida de la segunda ola, se registraron concentraciones altas del virus para todos los puntos de monitoreo. Asimismo, durante las últimas 4 semanas aproximadamente, se pudo apreciar un incremento muy significativo en la concentración del virus en aguas residuales, llegándose a concentraciones de nivel extremo, esto se debe al efecto de la tercera ola de contagios.

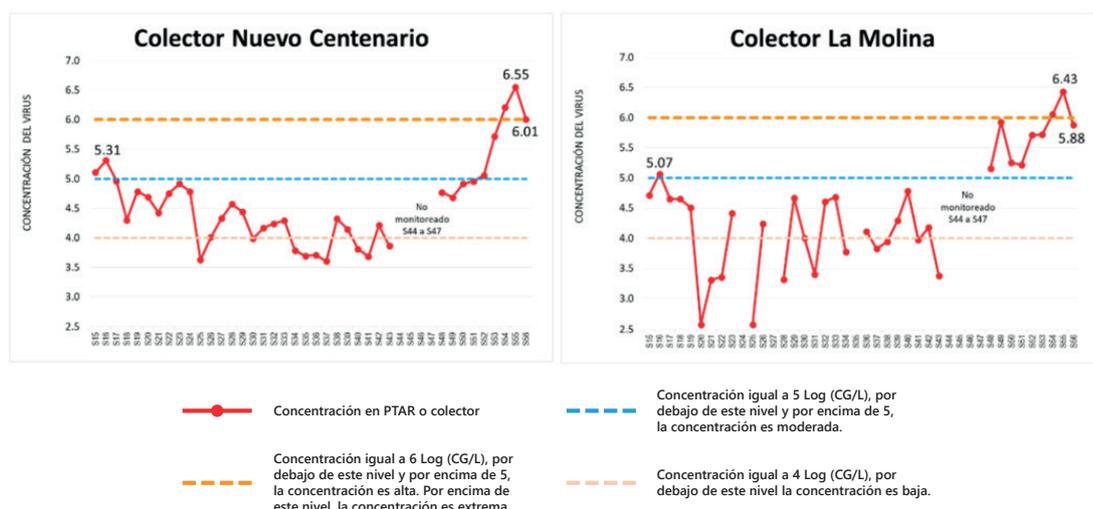
Cabe precisar que, en el caso de la PTAR Puente Piedra, durante varias semanas (especialmente entre las semanas 25 y 35) se reportaron concentraciones altas del SARS-CoV-2, a diferencia de los demás puntos de monitoreo.

Figura 32. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 15 a Semana 43, puntos de monitoreo en siete (07) colectores de la red de alcantarillado de Lima Metropolitana y Callao



Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

Figura 33. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 15 a Semana 56, puntos de monitoreo en dos (02) colectores de la red de alcantarillado de Lima Metropolitana y Callao



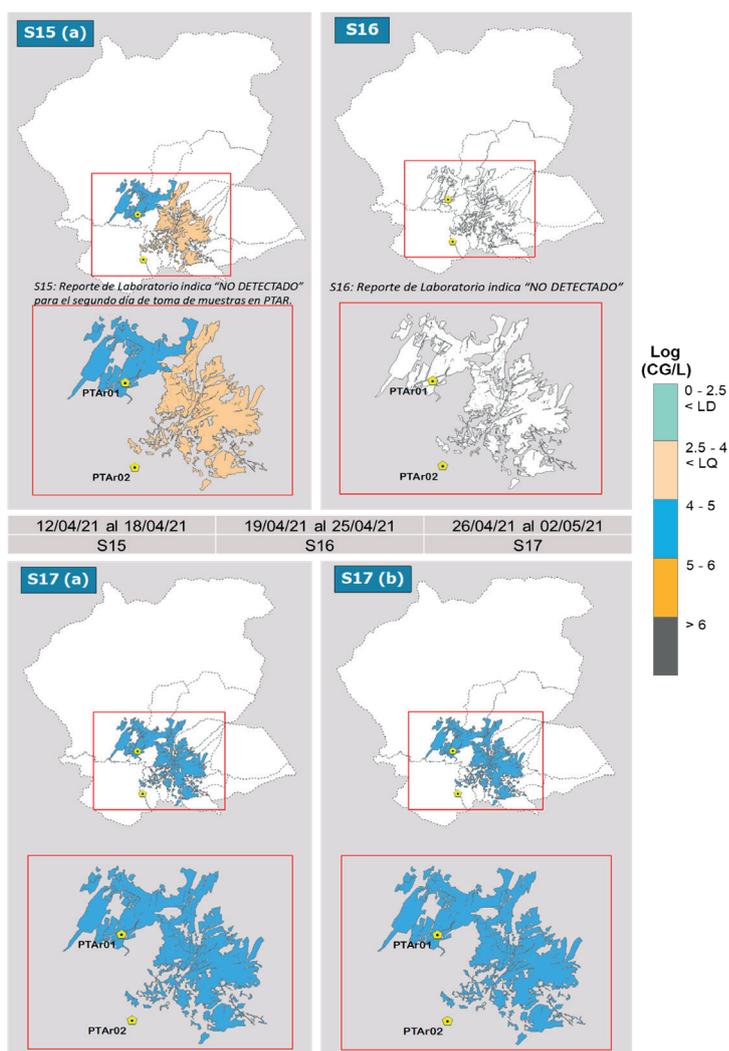
Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

6.2.2 Resultados Arequipa Metropolitana

A partir de los resultados de laboratorio, en cifras equivalentes aplicando logaritmo en base 10 de la concentración estimada del virus (copias de genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual), se efectúa la representación espacial en mapas temáticos de la concentración del virus en cada semana para las PTAR del ámbito de Arequipa Metropolitana: PTAR La Escalerilla (PTAr01) y PTAR La Enlozada (PTAr02).

Los valores reportados por los especialistas de laboratorio para las semanas 15, 16 y 17, refieren que se obtuvieron con métodos de ensayo sub-óptimos, dado que aún estaban en desarrollo, por ser las primeras tomas de muestras en Arequipa Metropolitana.

Figura 34. Semana 15 (S15) a semana 17 (S17), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de PTAR de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR

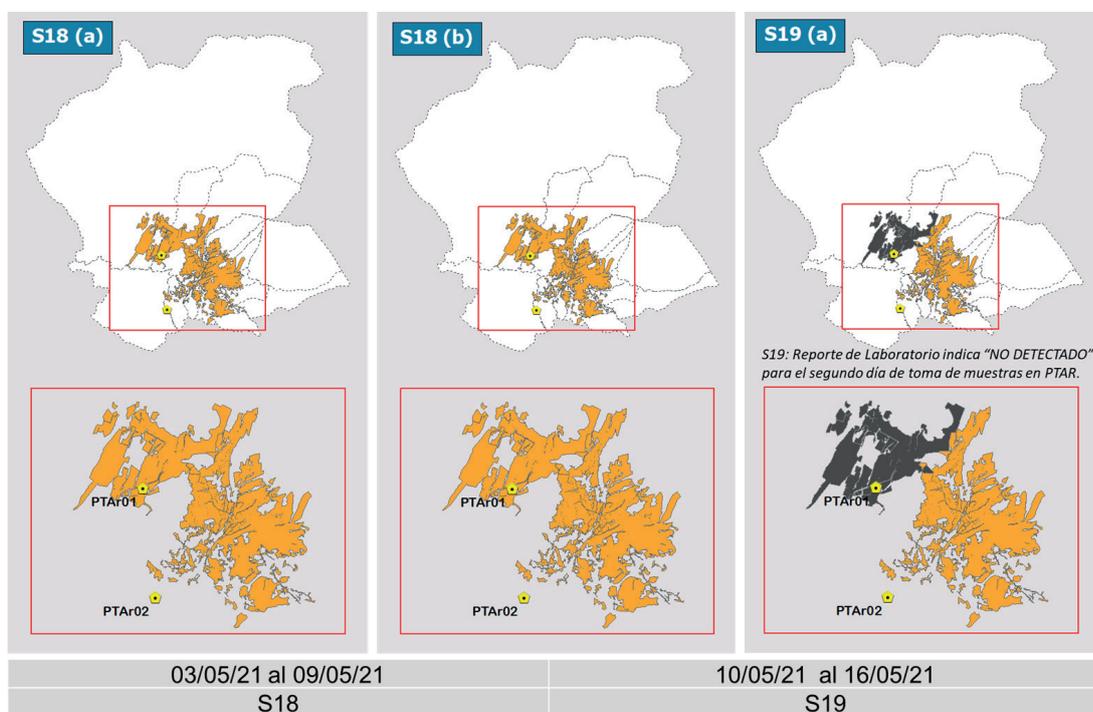


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

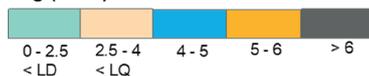
Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

En cuanto a las semanas siguientes, semana 18 a semana 53, a continuación, se muestran los valores obtenidos de la concentración viral en las PTAR de Arequipa Metropolitana, expresadas en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (Litro) de agua residual (región N1), a escala Logarítmica.

Figura 35. Semana 18 (S18) a semana 19 (S19), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

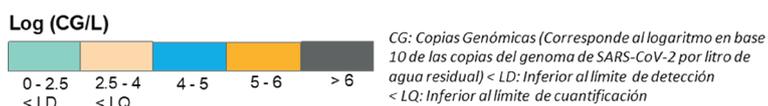
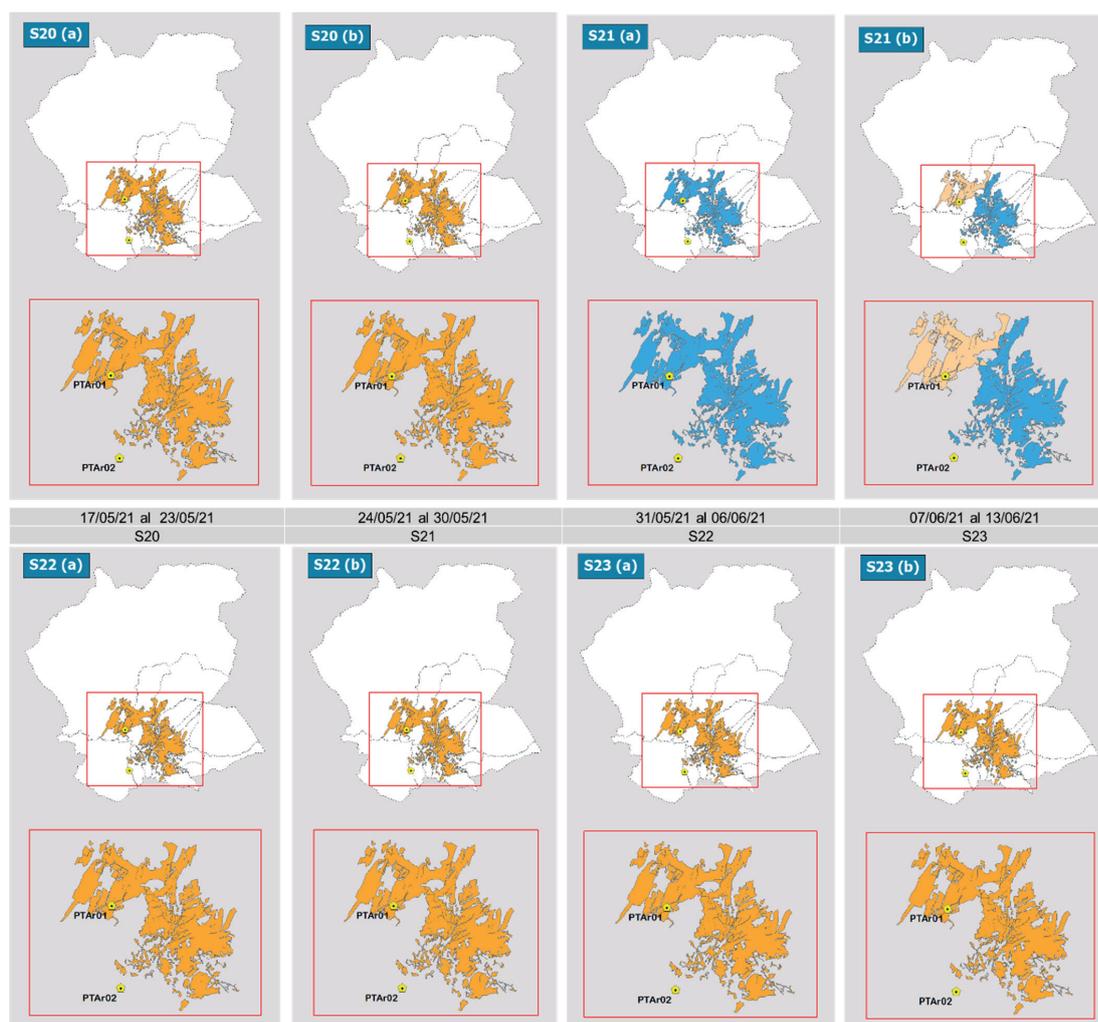


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 36. Semana 20 (S20) a semana 23 (S23), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR

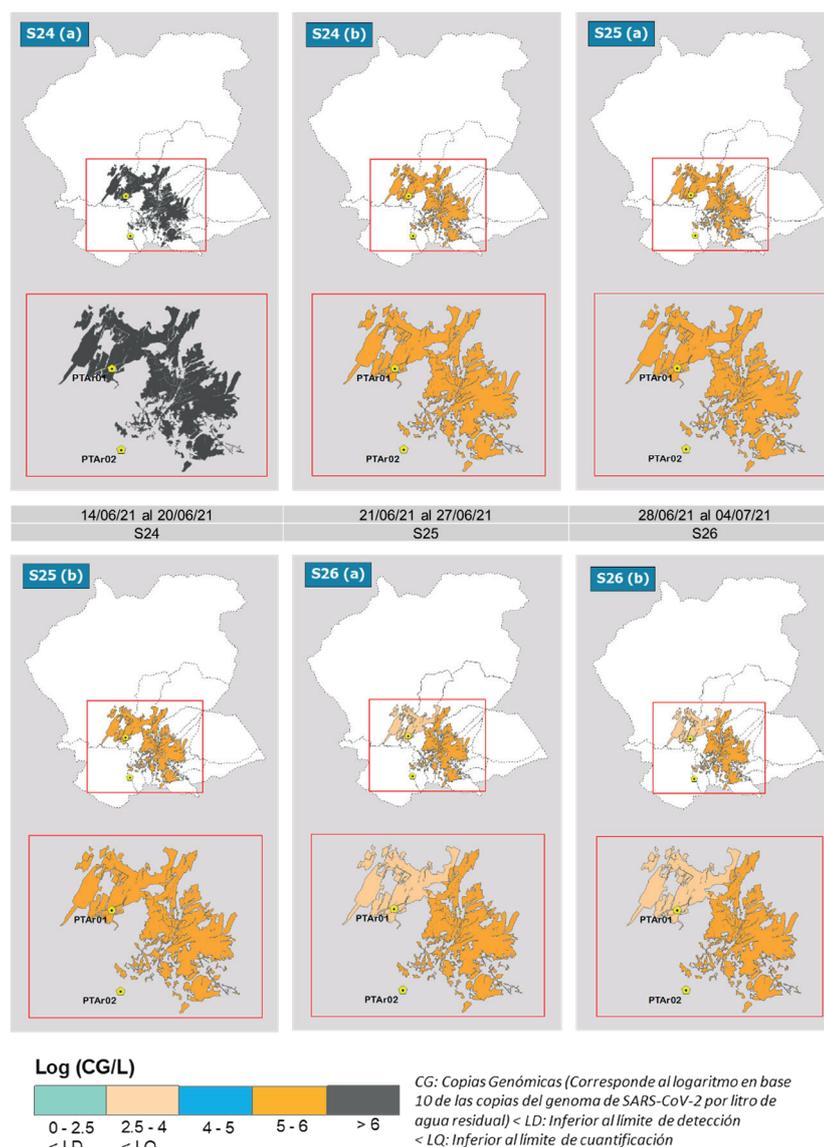


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

Es pertinente mencionar que para la Semana 21 (S21), los valores reportados por los especialistas de laboratorio no resultarían representativos y estarían sujetos a una re-evaluación.

Figura 37. Semana 24 (S24) a semana 26 (S26), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR

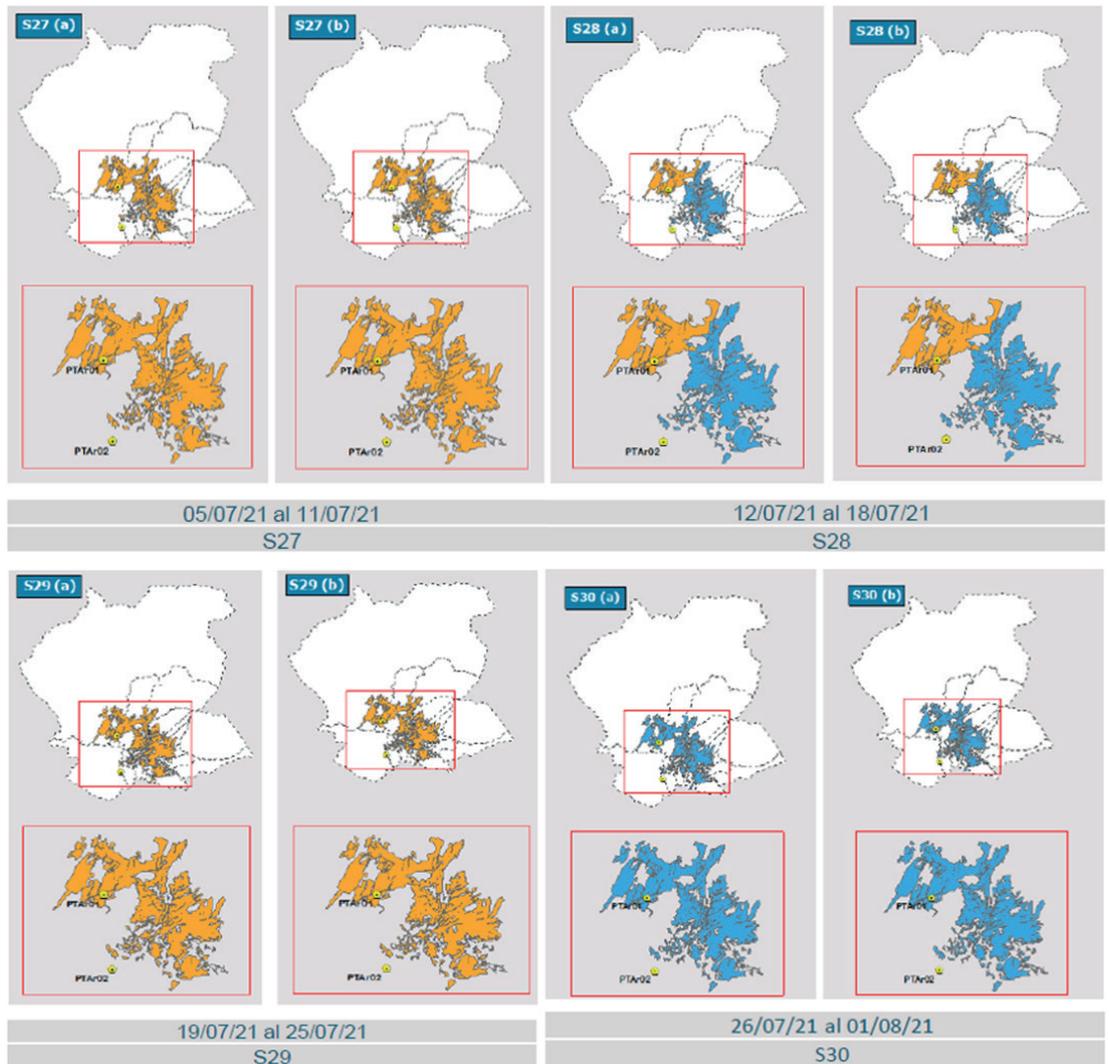


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

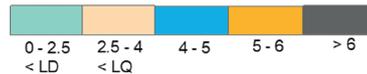
Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Respecto a los valores de la Semana 26, el reporte de laboratorio (RSM12) refiere para la PTAR Escalerilla lo siguiente "En el caso de Arequipa las muestras provenientes de la PTAR La Escalerilla, no se amplificaron correctamente (...)".

Figura 38. Semana 27 (S27) a semana 30 (S30), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

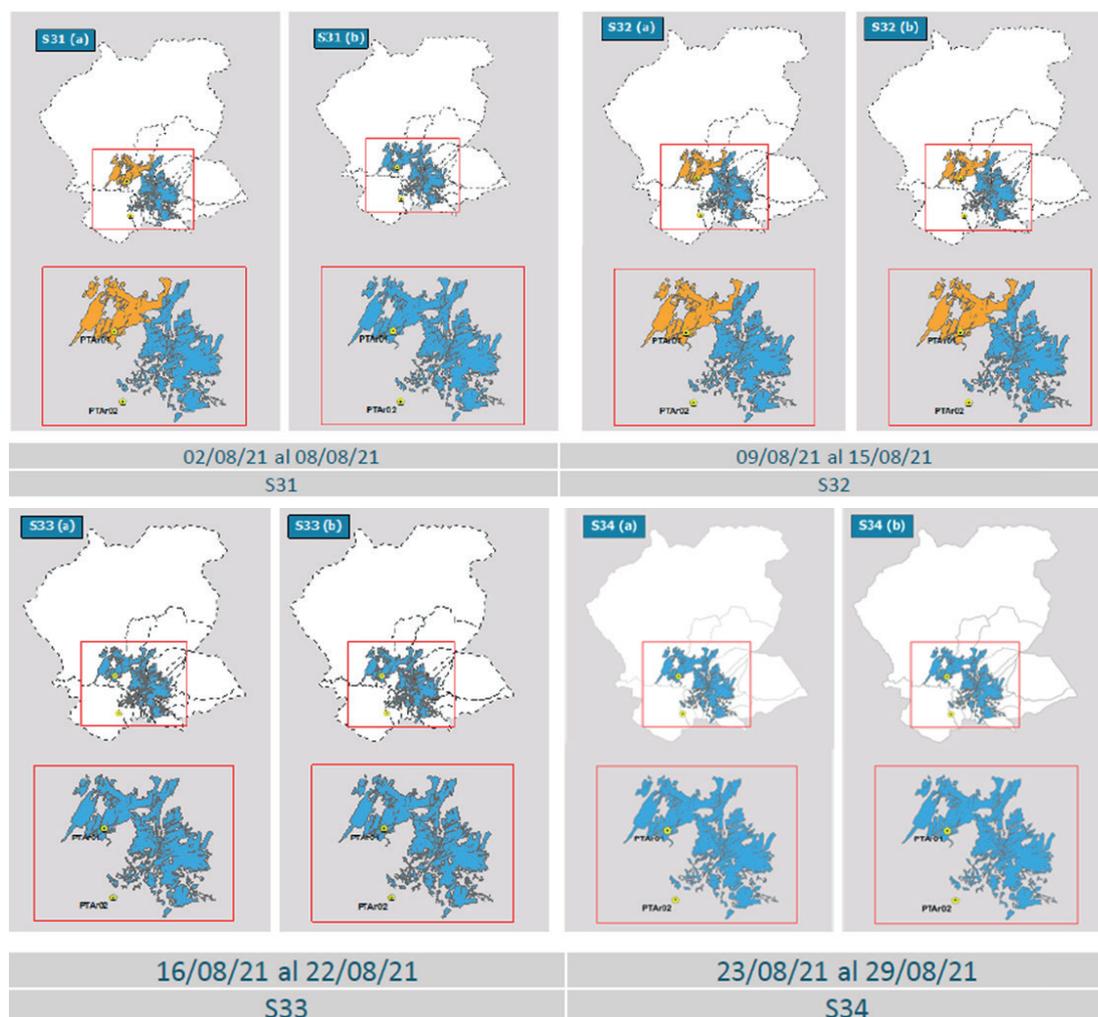


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

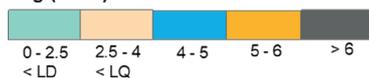
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 39. Semana 31 (S31) a semana 34 (S34), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

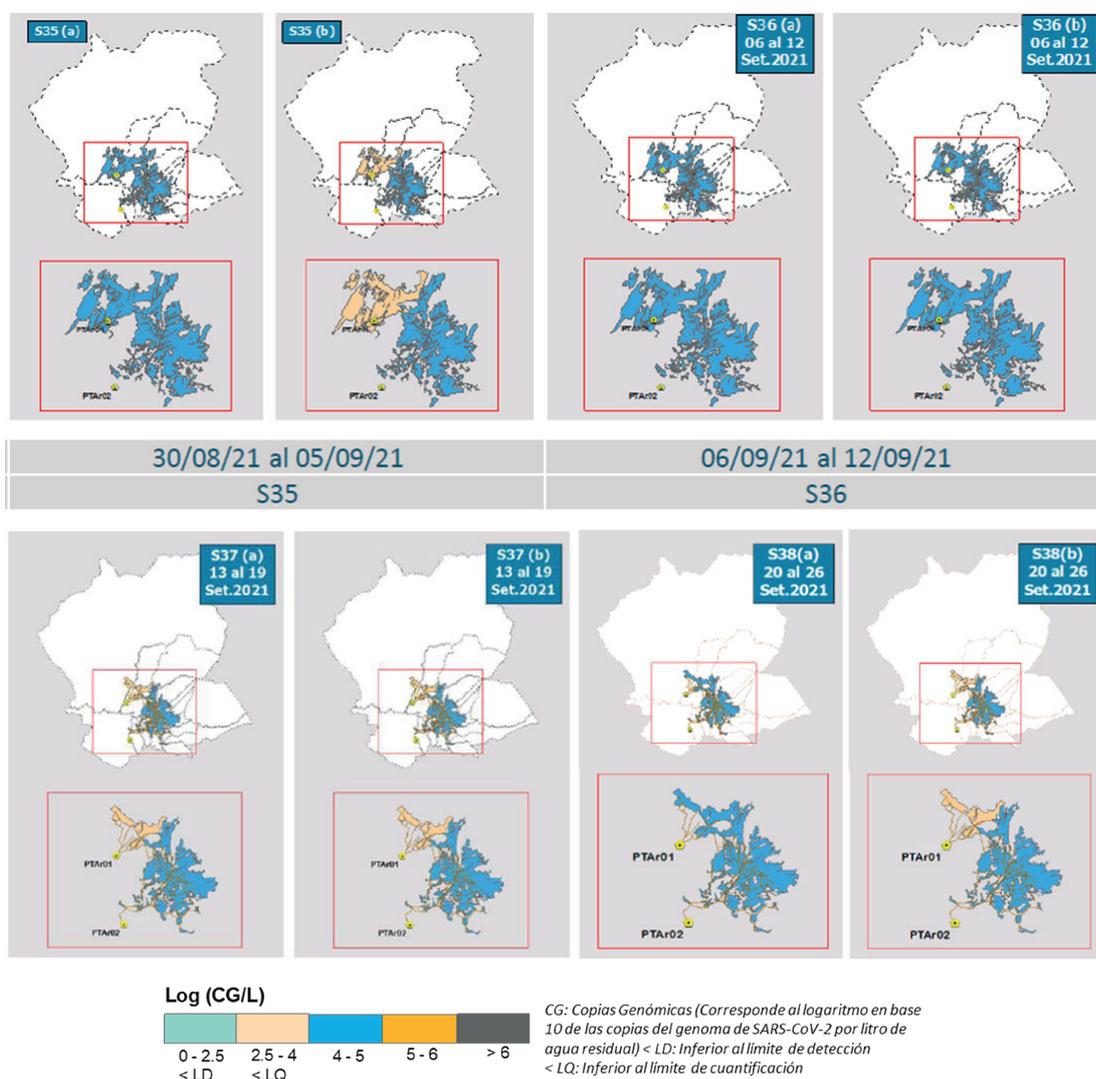


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

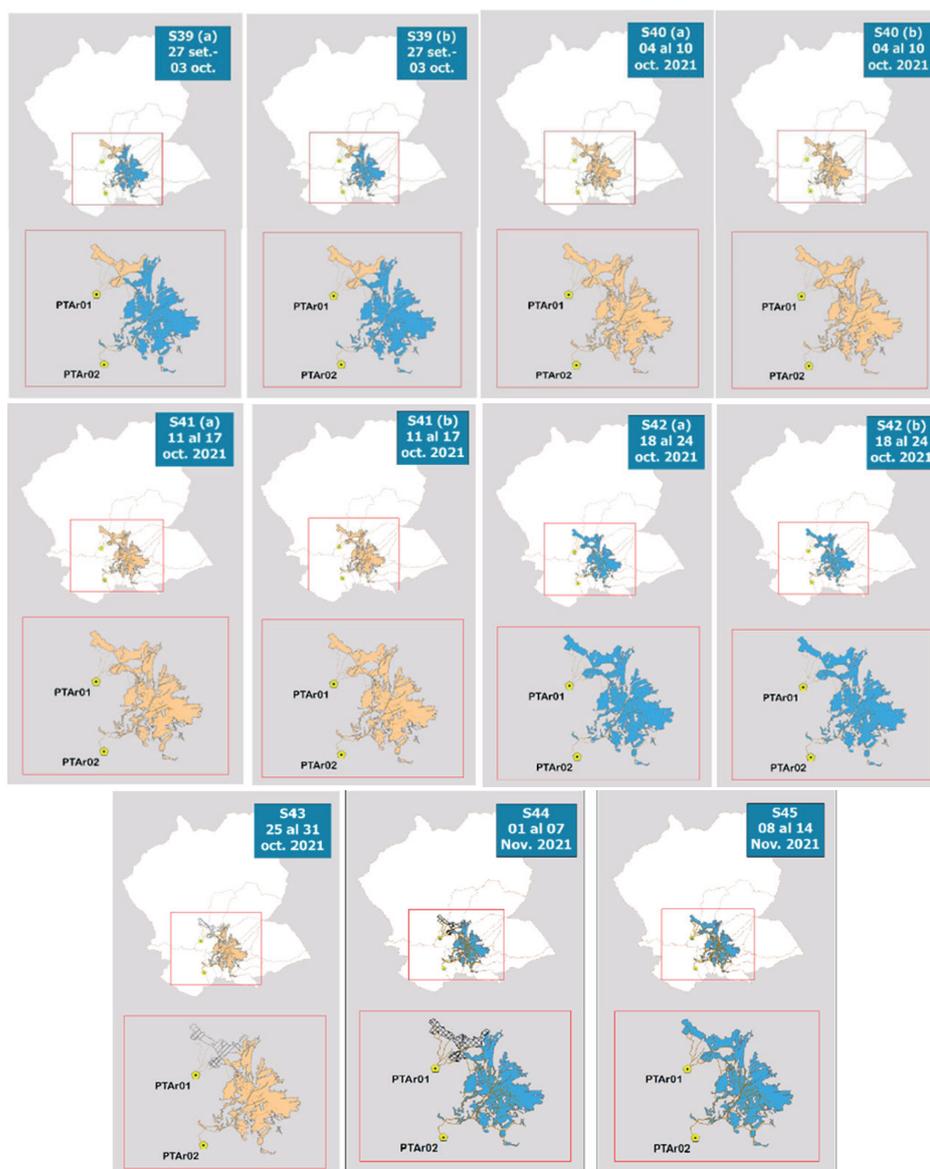
Figura 40. Semana 35 (S35) a semana 38 (S38), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



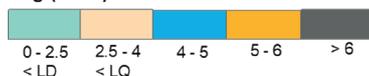
Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 41. Semana 39 (S39) a semana 45 (S45), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02). (a) Refiere a los valores máximos obtenidos en la semana, (b) refiere el valor promedio de las dos (02) mediciones de la semana para PTAR



Log (CG/L)

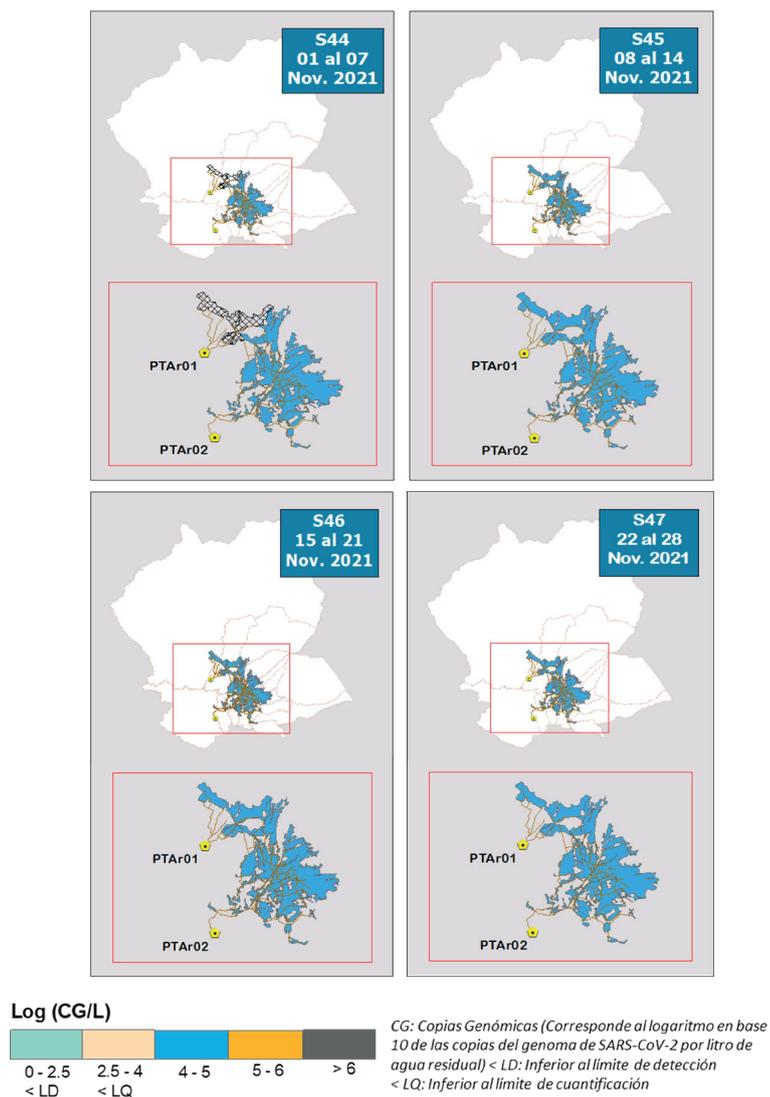


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

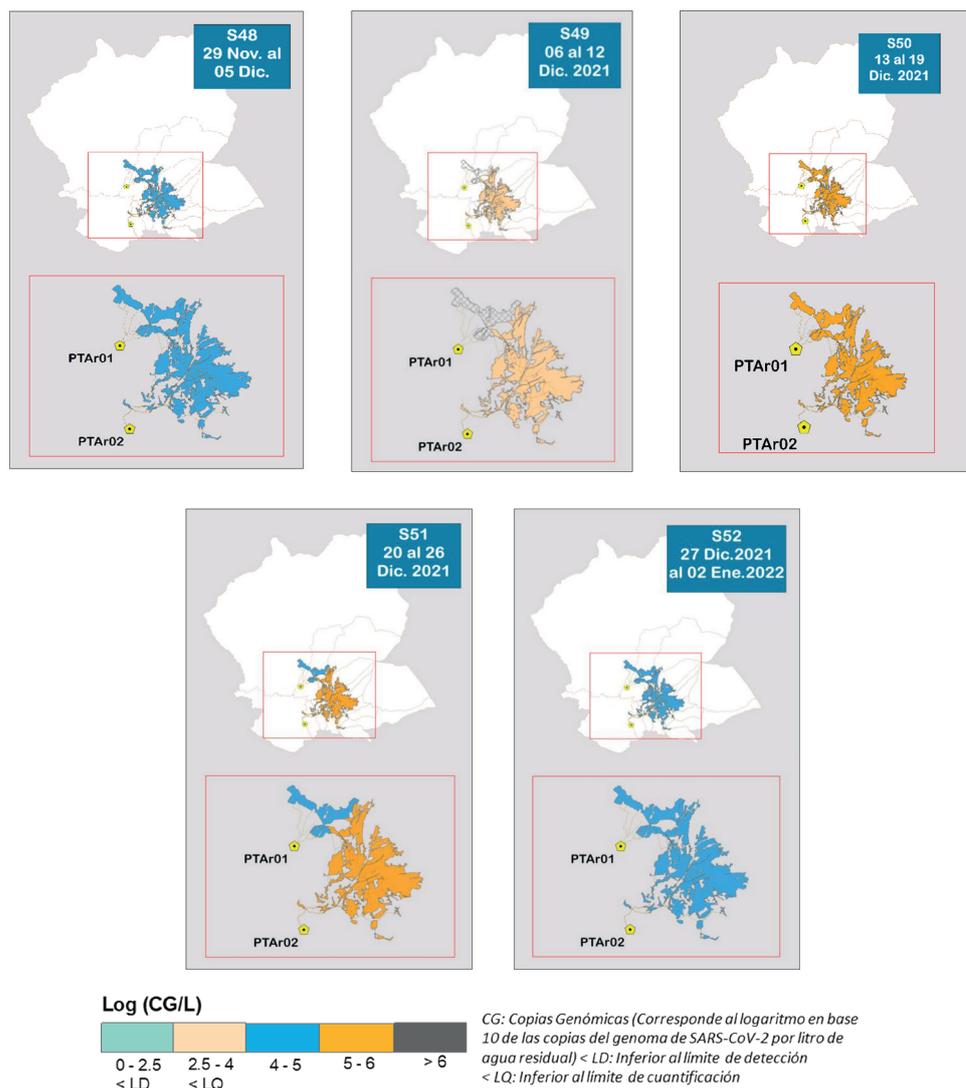
Figura 42. Semana 44 (S44) a semana 47 (S47), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02)



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

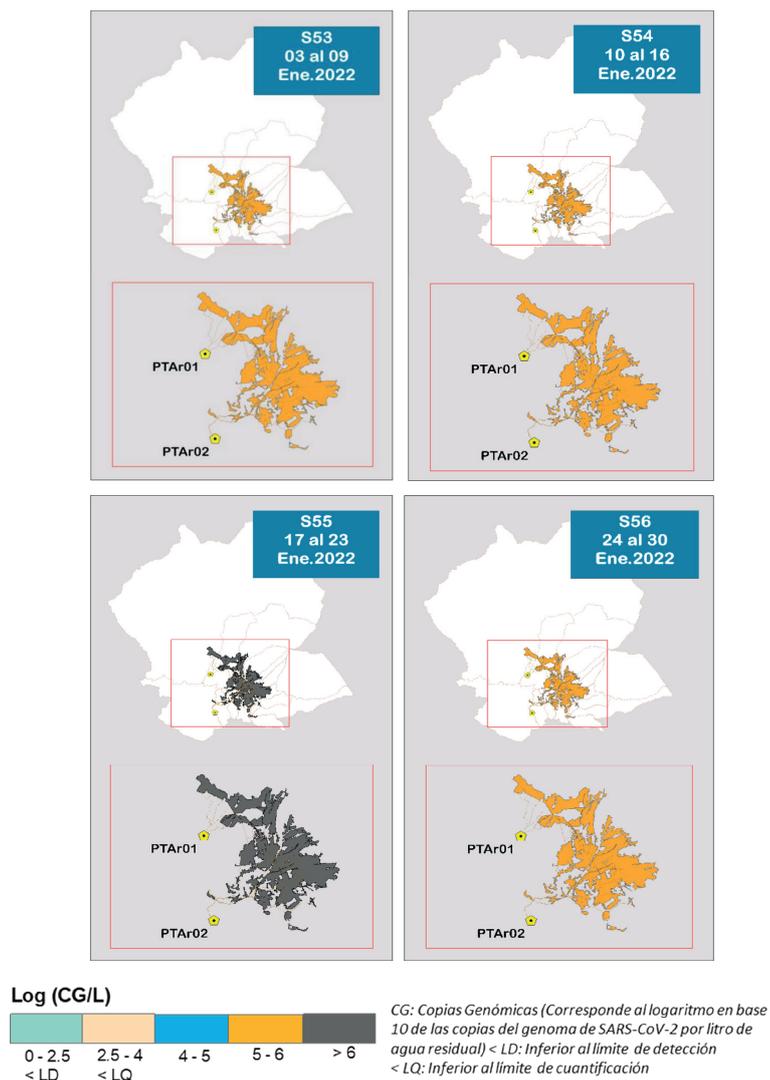
Figura 43. Semana 48 (S48) a semana 52 (S52), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02)



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 44. Semana 53 (S53) a semana 56 (S56), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. PTAR Escalerilla (PTAr01), PTAR Enlozada (PTAr02)

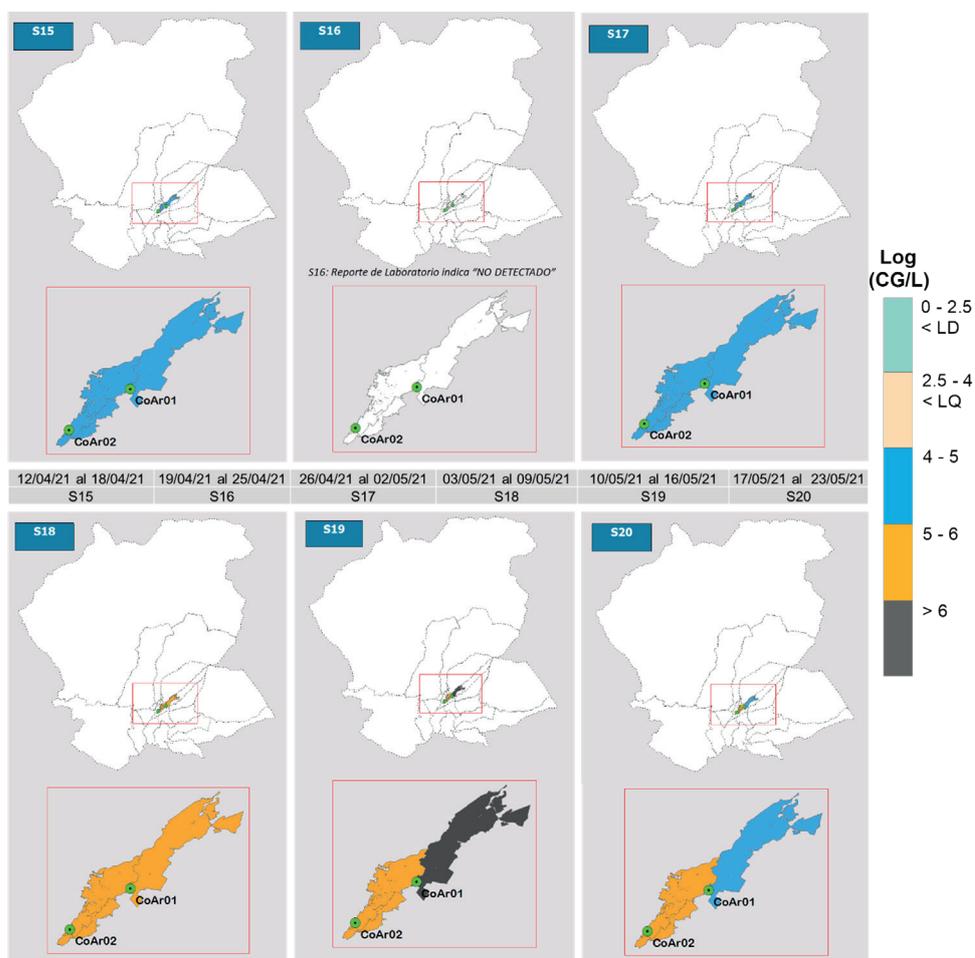


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

En cuanto a los resultados de laboratorio obtenidos para los puntos de muestreo en colectores de la red de alcantarillado de Arequipa Metropolitana, en las figuras siguientes se efectúa la representación espacial en mapas temáticos de cada semana, empleando cifras en logaritmo en base 10 de la concentración estimada del virus (copias de genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual), para los puntos siguientes: Colector 83 (COAr01), Colector 56 (COAr02), Colector Arrayanes (COAr03) y Colector 73 (COAr04).

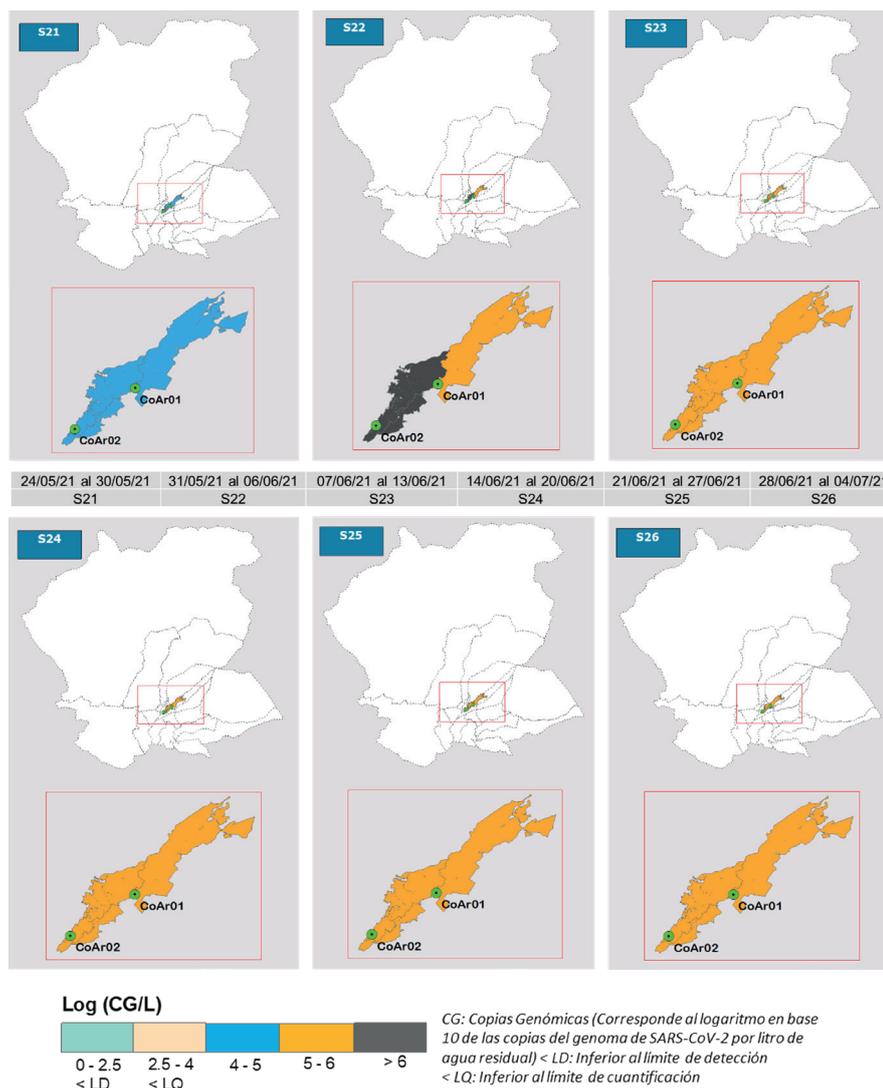
Figura 45. Semana 15 (S15) a semana 20 (S20), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. Colector 83 Miraflores (CoAr01), Colector 56 Arequipa Cercado (CoAr02)



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

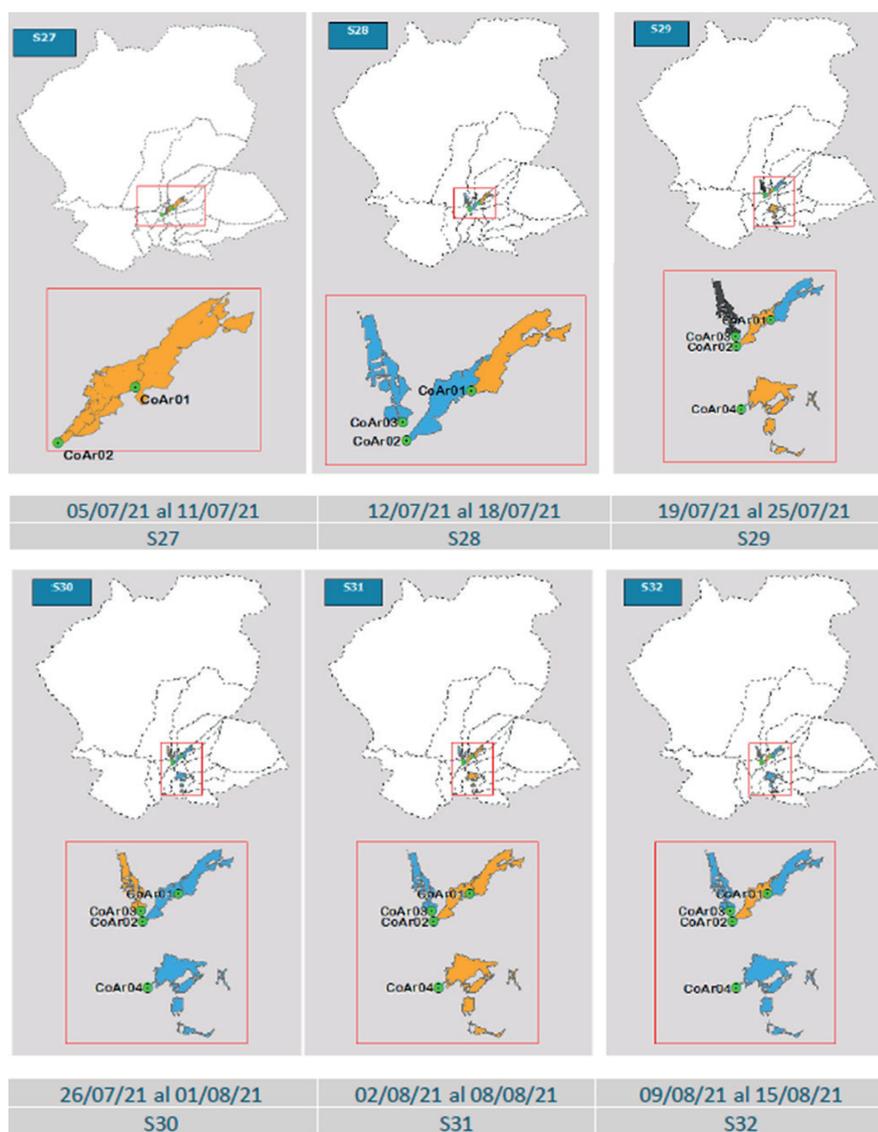
Figura 46. Semana 21 (S21) a semana 26 (S26), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en dos (02) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. Colector 83 Miraflores (CoAr01), Colector 56 Arequipa Cercado (CoAr02)



Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

Figura 47. Semana 27 (S27) a semana 32 (S32), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en cuatro (04) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. Colector 83 Miraflores (CoAr01), Colector 56 Arequipa Cercado (CoAr02), Colector Arrayanes (COAr03) y Colector 73 (COAr04)



Log (CG/L)

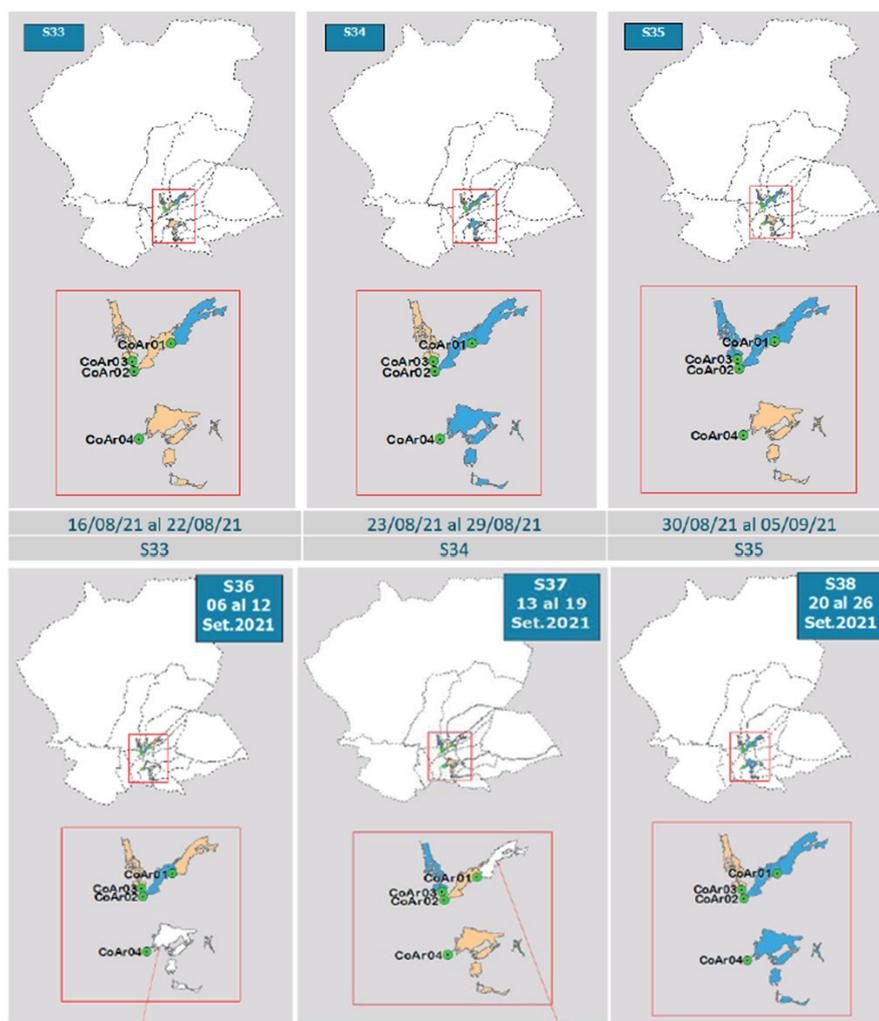


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

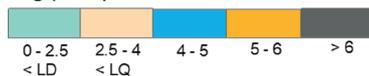
Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

Figura 48. Semana 33 (S33) a semana 38 (S38), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en cuatro (04) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. Colector 83 Miraflores (CoAr01), Colector 56 Arequipa Cercado (CoAr02), Colector Arrayanes (COAr03) y Colector 73 (COAr04)



Reporte de Laboratorio refiere "NO DETECTADO" para la muestra del Colector 73 (COAr04) Reporte de Laboratorio refiere "NO DETECTADO" para la muestra del Colector 83 (COAr01)

Log (CG/L)

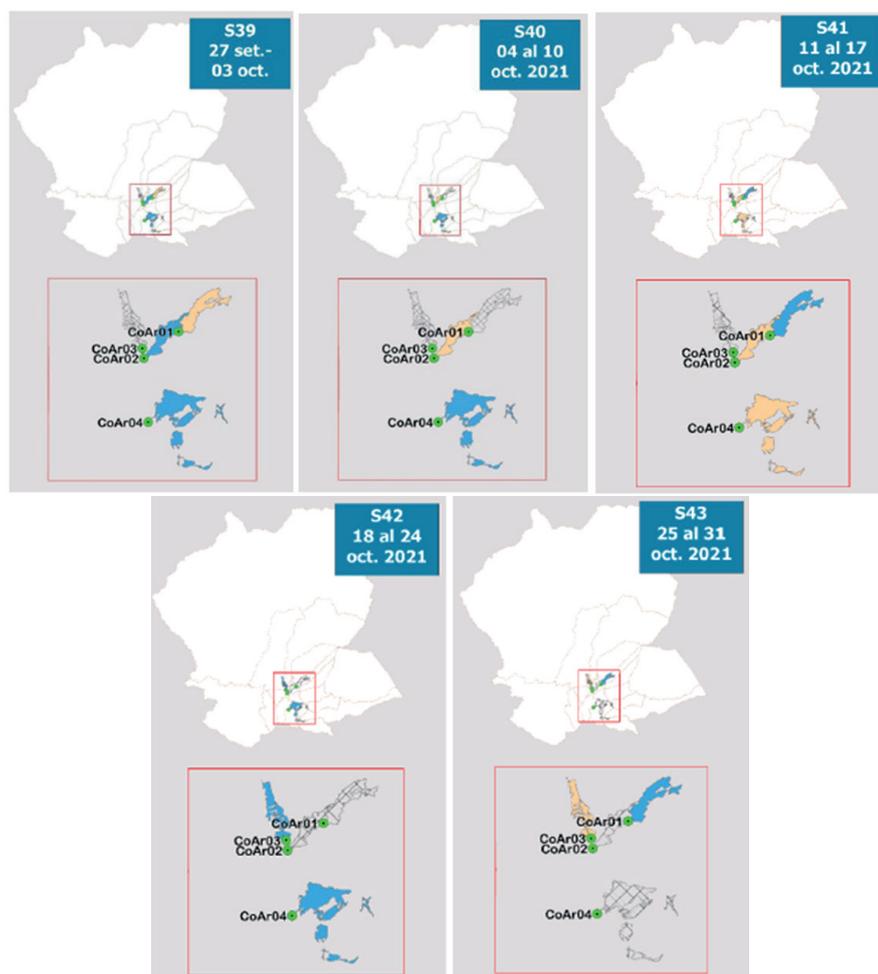


CG: Copias Genómicas (Corresponde al logaritmo en base 10 de las copias del genoma de SARS-CoV-2 por litro de agua residual) < LD: Inferior al límite de detección < LQ: Inferior al límite de cuantificación

Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

Figura 49. Semana 39 (S39) a semana 43 (S43), concentración del virus, medido en número de copias del genoma (CG) de SARS-CoV-2 por litro (L) de agua residual, (región N1), obtenido en cuatro (04) puntos de monitoreo de Arequipa Metropolitana. Colector 83 Miraflores (CoAr01), Colector 56 Arequipa Cercado (CoAr02), Colector Arrayanes (COAr03) y Colector 73 (COAr04)

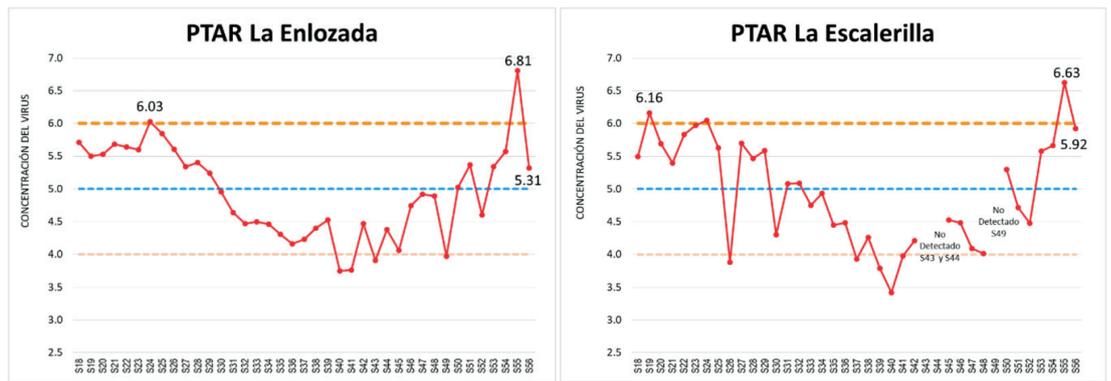


Donde: > 6: concentración extrema, 5-6: concentración alta, 4-5: concentración moderada y 2.5-4: concentración baja

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

En cuanto a la evolución de los resultados de la concentración del virus, para los dos (02) puntos de monitoreo en PTAR y cuatro (04) puntos de monitoreo en Colectores de Arequipa Metropolitana²⁴, estos se encuentran representados en las siguientes figuras, las mismas que representan las concentraciones obtenidas en cada semana. Al respecto, se puede apreciar que la concentración de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales ha sido alta en entre las semanas 18 y 29, y moderada en las semanas subsiguientes, reflejando la salida de la segunda ola de contagios en Arequipa, tanto para el caso de las PTAR como de los colectores muestreados. Asimismo, para el caso de las PTAR, que tienen un periodo de monitoreo mayor, se puede apreciar en las últimas semanas un incremento sostenido de la concentración del virus, reflejando el inicio de la tercera ola de contagios.

Figura 50. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 18 a Semana 56, puntos de monitoreo en dos (02) PTAR de Arequipa Metropolitana

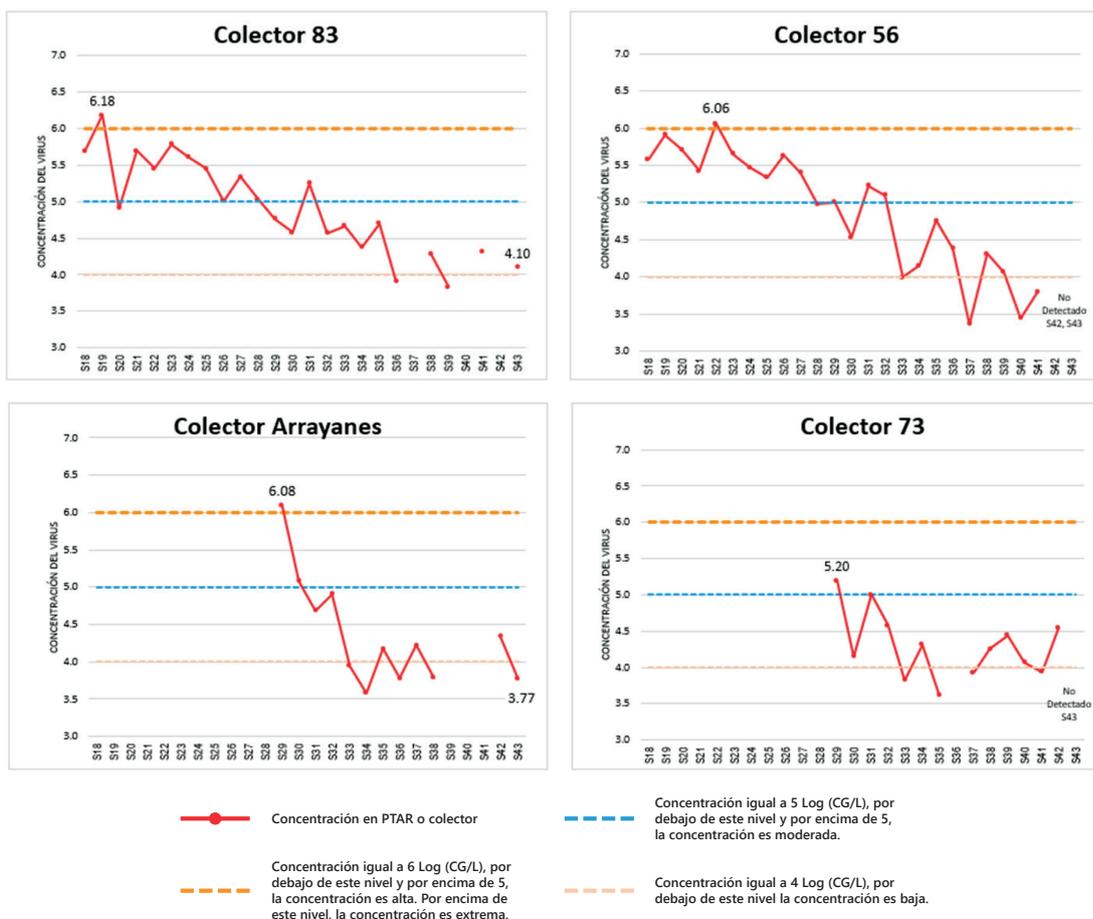


- Concentración en PTAR o colector
- - - Concentración igual a 5 Log (CG/L), por debajo de este nivel y por encima de 5, la concentración es moderada.
- - - Concentración igual a 6 Log (CG/L), por debajo de este nivel y por encima de 5, la concentración es alta. Por encima de este nivel, la concentración es extrema.
- - - Concentración igual a 4 Log (CG/L), por debajo de este nivel la concentración es baja.

Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTEC)

²⁴ Por recomendación de los especialistas de laboratorio, no se representa los resultados de las semanas 15, 16 y 17, pues informan que se obtuvieron con métodos de ensayo sub-óptimos, que aún estaban en desarrollo. Asimismo, los resultados de la semana 21, para colectores y PTAR serían re-evaluados por el laboratorio de UTEC, de igual forma, como se aprecia en el reporte de laboratorio de la Semana 26 (RSM12), respecto a la cifra de la PTAR Escalerilla refieren "En el caso de Arequipa las muestras provenientes de la PTAR La Escalerilla, no se amplificaron correctamente. En estas muestras se observó presencia de sedimentos de tierra en el momento de la filtración, lo cual podría afectar la detección".

Figura 51. Evolución de la carga viral del SARS-CoV-2 en las muestras de aguas residuales (en escala logarítmica), Semana 18 a Semana 43, puntos de monitoreo en cuatro (04) colectores de Arequipa Metropolitana



Elaboración: Dirección de Saneamiento /
Fuente: Reportes de laboratorio semanal (UTECS)

7. Conclusiones

Conforme a los avances implementados a la fecha se concluye lo siguiente:

- A partir de la semana 06 se identifica, cualitativa y cuantitativamente, el genoma del virus SARS-CoV-2 en los cuatro (04) puntos de monitoreo de la fase piloto. Con ello se valida el protocolo para la toma, preservación, transporte, recepción y análisis de las muestras mediante métodos y/o procedimientos que permitan identificar la concentración de material genético del SARS-CoV2 en aguas residuales.
- La experiencia en una fase de piloto extendido genera insumos para el desarrollo y correcta implementación del Plan de Monitoreo a aplicar en Lima Metropolitana y Callao, y en Arequipa Metropolitana. Esto permite abordar aspectos logísticos y de laboratorio que son fundamentales para una correcta implementación de la herramienta de alerta temprana.
- Aplicado el monitoreo en catorce (14) puntos en Lima Metropolitana y Callao, y en seis (06) puntos en Arequipa Metropolitana (originalmente se inició con 2 colectores, que fueron ampliados a 4 colectores posteriormente), se obtuvieron resultados semana a semana, lo cual muestra la evolución de la carga viral de SARS-CoV-2 estimada para las áreas de drenaje correspondiente a los puntos de monitoreo en colectores y PTAR de Lima Metropolitana y Callao, y Arequipa Metropolitana.
- Respecto a los resultados mostrados en el presente documento, se puede inferir que la infraestructura de aguas residuales, que involucra la presente aplicación, puede brindar información útil al sector salud, pues permite identificar zonas con presencia de incrementos o con tendencia decreciente en la concentración del SARS-CoV-2 en aguas residuales. Lo que resulta importante para definir una mejor estrategia de lucha contra la pandemia aprovechando la información brindada del monitoreo epidemiológico de aguas residuales, la que no solo responde al número de casos de infectados por COVID-19, sino que muestra resultados con una anticipación de una o dos semanas a los reportes del sistema de salud, lo que constituye su característica de alerta temprana.
- La aplicación de la vigilancia epidemiológica a través del monitoreo de aguas residuales aplicada a la detección del nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) prevé consolidarse en una estrategia de alerta temprana que permita determinar la presencia o carga del virus en zonas localizadas de la ciudad, de manera anticipada. Ello, con miras a constituirse en una herramienta de gran utilidad para aportar al sector salud en las medidas sanitarias de prevención con anticipación, a fin de mitigar la propagación del virus.
- Es importante resaltar que esta herramienta es posible de escalar a nivel nacional, ya que los resultados han demostrado que es factible la aplicación y la interacción entre los diferentes actores involucrados del sector saneamiento. Así también se ha realizado una interrelación intersectorial con los actores del Sector Salud (MINSa, CDC e INS), con quienes se sostenían reuniones semanales para intercambiar los resultados del estudio.

8. Próximos Pasos y Recomendaciones

- Como próximos pasos de la iniciativa denominada “Desarrollo de una herramienta de alerta temprana a partir del monitoreo de aguas residuales desde el sector saneamiento”, se debe continuar difundiendo, los resultados del estudio. Considerando el alcance que pueden presentar, a nivel de ciudades enteras a costos relativamente bajos en comparación con otras alternativas tradicionales, las mismas que pueden complementarse con este tipo de iniciativas.
- Los resultados descritos en el presente documento revelan que es posible conocer la incidencia del COVID-19 a partir del monitoreo del SARS-CoV-2 en aguas residuales. Al respecto, se dispone de un protocolo para la detección del SARS-CoV-2 en las aguas residuales que puede ser replicado en otras ciudades del Perú. En esta línea es importante destacar que el monitoreo epidemiológico de aguas residuales brinda la oportunidad de tener una herramienta de alerta temprana no solo para el caso del COVID-19, sino también para el caso de otras enfermedades como el dengue o el zika, así como también para otras aplicaciones, como por ejemplo en el caso de resistencia antimicrobiana.
- Un aspecto a resaltar es que esta aplicación no solo beneficia al Sector Salud, sino que trae importantes beneficios para el Sector Saneamiento, esto se debe a que la población no conoce muchos de los servicios que brinda una EPS, por ejemplo, el tratamiento de aguas residuales, en este caso la labor que se realiza desde Saneamiento pone en vitrina al Sector, mejorándose debido a ello la valoración de los servicios de saneamiento (Eje N° 6 de la Política Nacional de Saneamiento). Esta mejora en la valoración de los servicios de saneamiento no solo se presenta de cara a los usuarios del servicio, sino que también frente a diversos actores involucrados con el financiamiento de inversiones y el cierre de brechas en agua potable y saneamiento.
- Esta aplicación, empleando ciencia y tecnología, demuestra que es posible trabajar articuladamente con la cooperación nacional e internacional y la academia en busca de soluciones innovadoras frente a los enormes retos que se presentan en el país. Por lo que experiencias de este tipo deben buscar replicarse.
- Por último, es importante señalar que los resultados presentados son de utilidad para la toma de decisiones de las autoridades del sector salud en el marco de la emergencia sanitaria; por lo que resulta fundamental fortalecer y/o mantener los canales de comunicación y trabajo conjunto en busca de maximizar el bienestar de la sociedad.

9. Conclusiones

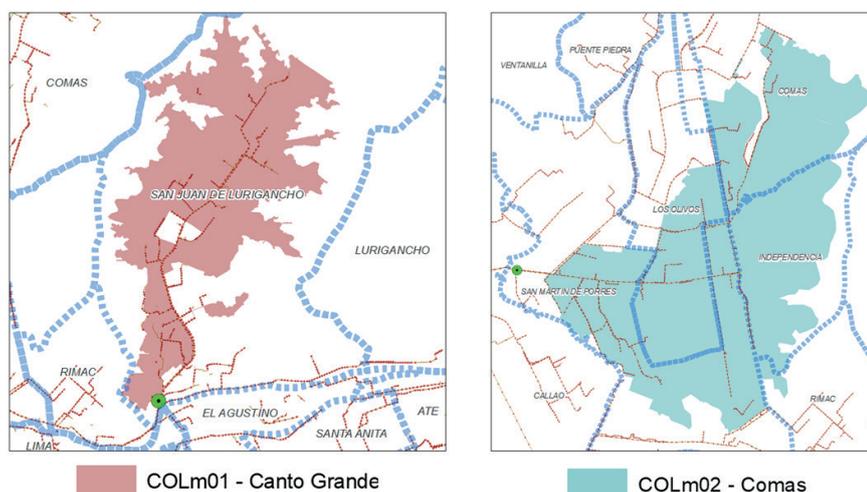
1. Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., Choi, P. M., Kitajima, M., Simpson, S. L., & Li, J. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of The Total Environment*, 138764.
2. Barril, P. A., Pianciola, L. A., Mazzeo, M., Ousset, M. J., Jaureguiberry, M. V., Alessandrello, M., Sánchez, G., & Oteiza, J. M. (2020). Evaluation of viral concentration methods for SARS-CoV-2 recovery from wastewaters. *Science of The Total Environment*, 756, 144105.
3. Chernicharo, C. A. L., Araújo, J. C., Mota Filho, C. R., Bressani-Ribeiro, T., Chamhum-Silva, L. A., Leal, C. D., Leroy, D., Machado, E., Cordero, M. F. E., Azevedo, L. S., Fernandes, L., Leão, T., Laguardia, F., Reis, M. T. P., Melo, M. C., & Ayrimoraes, S. R. (2020). Sewage Monitoring As An Epidemiological Surveillance Tool To Control Covid-19: A Case Study In The City Of Belo Horizonte. *Revista ESA especial Covid-19, Artigo 1*.
4. Comité de Alto Nivel sobre el COVID-19 (2021). Informe sobre las causas del elevado número de muertes por la pandemia del COVID-19 en el Perú. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación – CONCYTEC. Julio, 2021.
5. Farkas, K., Hillary, L. S., Malham, S. K., McDonald, J. E., & Jones, D. L. (2020). Wastewater and public health: the potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19. *Current Opinion in Environmental Science & Health*.
6. Guerrero-Latorre, L., Ballesteros, I., Villacrés-Granda, I., Granda, M. G., Freire-Paspuel, B., & Ríos-Touma, B. (2020). SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. *Science of the Total environment*, 743, 140832.
7. Haramoto, E., Malla, B., Thakali, O., & Kitajima, M. (2020). First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. *medRxiv*.
8. Kocamemi, B. A., Kurt, H., Hacioglu, S., Yarali, C., Saatci, A. M., & Pakdemirli, B. (2020). First Data-Set on SARS-CoV-2 Detection for Istanbul Wastewaters in Turkey. *medRxiv*.
9. Kocamemi, B. A., Kurt, H., Sait, A., Sarac, F., Saatci, A. M., & Pakdemirli, B. (2020). SARS-CoV-2 Detection in Istanbul Wastewater Treatment Plant Sludges. *medRxiv*.
10. La Rosa, G., Iaconelli, M., Mancini, P., Ferraro, G. B., Veneri, C., Bonadonna, L., Lucentini, L., & Suffredini, E. (2020). First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Science of The Total Environment*, 139652.
11. Mallapaty, S. (2020). How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. *Nature*, 580(7802), 176-177.

12. Mao, K., Zhang, K., Du, W., Ali, W., Feng, X., & Zhang, H. (2020). The potential of wastewater-based epidemiology as surveillance and early warning of infectious disease outbreaks. *Current Opinion in Environmental Science & Health*.
13. Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., & Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-Coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in the Netherlands. *Environmental Science & Technology Letters*.
14. Nemudryi, A., Nemudraia, A., Wiegand, T., Surya, K., Buyukyoruk, M., Cicha, C., Vanderwood, K. K., Wilkinson, R., & Wiedenheft, B. (2020). Temporal detection and phylogenetic assessment of SARS-CoV-2 in municipal wastewater. *Cell Reports Medicine*, 1(6), 100098.
15. Nemudryi, A., Nemudraia, A., Wiegand, T., Surya, K., Buyukyoruk, M., Cicha, C., Vanderwood, K. K., Wilkinson, R., & Wiedenheft, B. (2020). Temporal detection and phylogenetic assessment of SARSCoV-2 in municipal wastewater. *Cell Reports Medicine*, 1(6), 100098.
16. Nishi, A., Dewey, G., Endo, A., Neman, S., Iwamoto, S. K., Ni, M. Y., Tsugawa, Y., Iosifidis, G., Smith, J. D., & Young, S. D. (2020). Network interventions for managing the COVID-19 pandemic and sustaining economy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(48), 30285-30294.
17. Or, I. B., Yaniv, K., Shagan, M., Ozer, E., Erster, O., Mendelson, E., Mannasse, B., Shirazi, R., Kramarsky-Winter, E., & Nir, O. (2020). Regressing SARS-CoV-2 sewage measurements onto COVID-19 burden in the population: a proof-of-concept for quantitative environmental surveillance. *medRxiv*.
18. Peccia, J., Zulli, A., Brackney, D. E., Grubaugh, N. D., Kaplan, E. H., Casanovas-Massana, A., Ko, A. I., Malik, A. A., Wang, D., & Wang, M. (2020). Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nature Biotechnology*, 38(10), 1164-1167.
19. Randazzo, W., Cuevas-Ferrando, E., Sanjuan, R., Domingo-Calap, P., & Sanchez, G. (2020). Metropolitan Wastewater Analysis for COVID-19 Epidemiological Surveillance. Available at SSRN 3586696.
20. Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., & Sánchez, G. (2020). SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Research*, 115942.
21. Reyes-Vega MF, Soto-Cabezas MG, Cardenas F, Martel KS, Valle A, Valverde J, et al. SARS-CoV-2 prevalence associated to low socioeconomic status and overcrowding in an LMIC megacity: A population-based seroepidemiological survey in Lima, Peru. *E Clinical Medicine* 2021;34.

22. Rimoldi, S. G., Stefani, F., Gigantiello, A., Polesello, S., Comandatore, F., Mileto, D., Maresca, M., Longobardi, C., Mancon, A., & Romeri, F. (2020). Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. *Science of the Total Environment*, 744, 140911.
23. Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J.-M., Maday, Y., Teyssou, R., Richard, E., Almayrac, J. L., & Moulin, L. (2020). Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. *MedRxiv*.
24. Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J.-M., & Moulin, L. (2020). Time course quantitative detection of SARSCoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. *MedRxiv*.
25. Wu, F., Xiao, A., Zhang, J., Gu, X., Lee, W. L., Kauffman, K., Hanage, W., Matus, M., Ghaeli, N., & Endo, N. (2020). SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *medRxiv*.

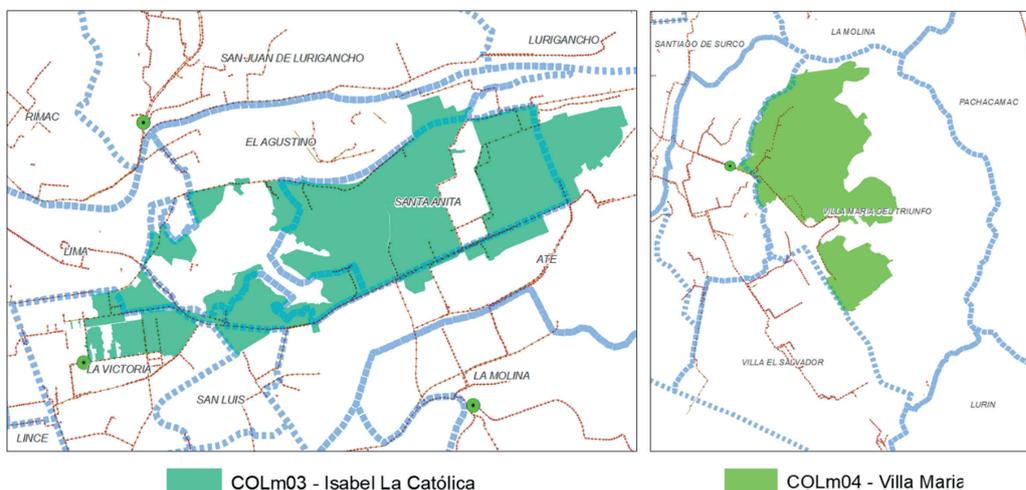
10. Anexo: Detalle de Áreas de Drenaje

Figura 52. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para los puntos de monitoreo en colector Canto Grande y colector Comas, ámbito de Lima Metropolitana y Callao



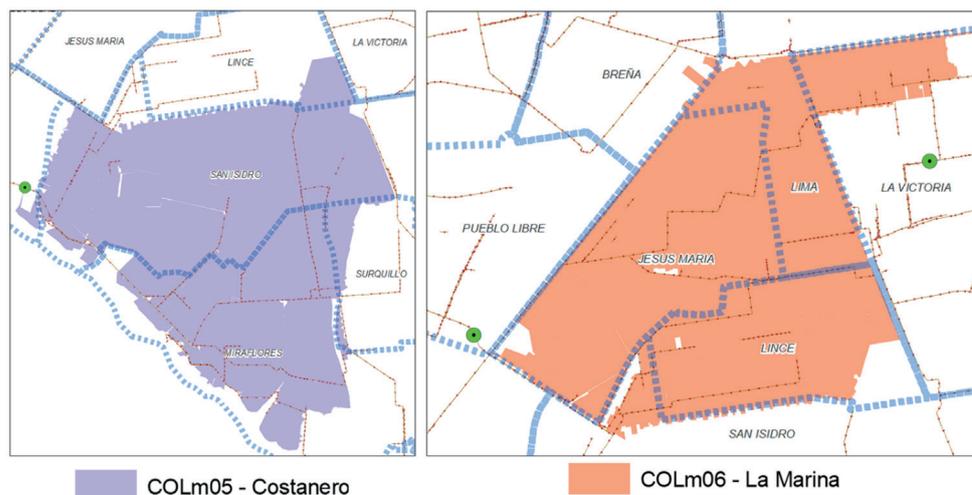
Elaboración: Dirección de Saneamiento – MVCS

Figura 53. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para los puntos de monitoreo en colector Isabel La Católica y colector Villa María, ámbito de Lima Metropolitana y Callao



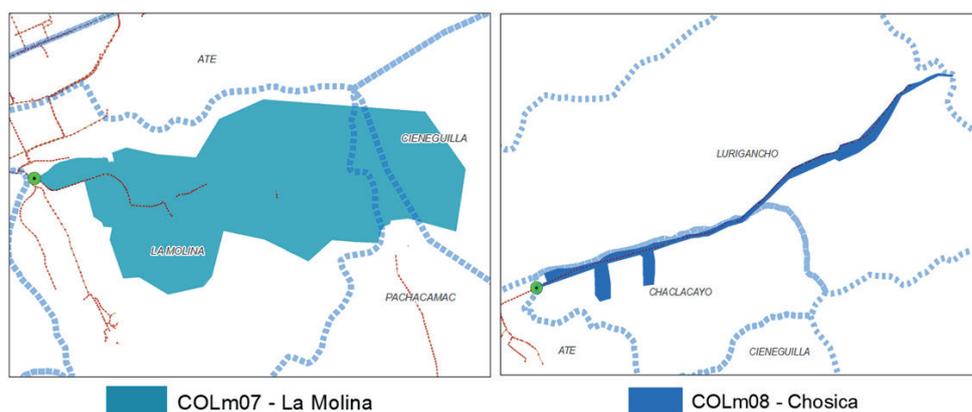
Elaboración: Dirección de Saneamiento - MVCS

Figura 54. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para los puntos de monitoreo en colector Costanero y colector La Marina, ámbito de Lima Metropolitana y Callao



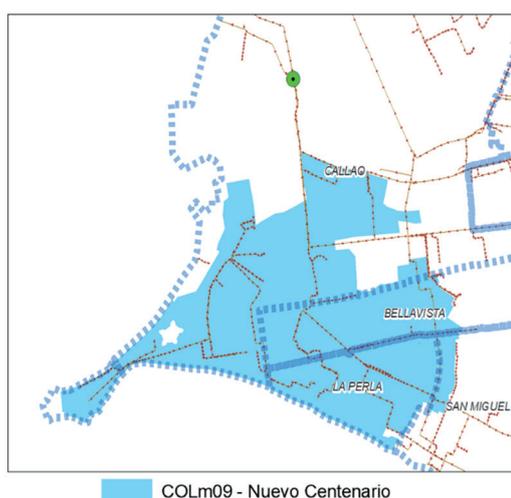
Elaboración: Dirección de Saneamiento - MVCS

Figura 55. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para los puntos de monitoreo en colector La Molina y colector Chosica, ámbito de Lima Metropolitana y Callao



Elaboración: Dirección de Saneamiento - MVCS

Figura 56. Áreas de drenaje y distritos de abarcan, para los puntos de monitoreo en colector Nuevo Centenario, ámbito de Lima Metropolitana y Callao



Elaboración: Dirección de Saneamiento - MVCS

Tabla 2. Puntos de monitoreo en PTAR y colectores de la red de alcantarillado ubicados en Lima Metropolitana

Punto de monitoreo	Nombre	Ubicación (distrito/provincia)	Distritos involucrados en el área de drenaje
PTLm01	PTAR Taboada	Callao, Callao	Bellavista (28%), Brena (100%), Callao (54%), Carabaylo (69%), Carmen de la Legua Reynoso (100%), Comas (99%), El Agustino (69%), Independencia (100%), Jesús María (100%), La Victoria (5%), Lima (96%), Lince (100%), Los Olivos (100%), Lurigancho (11%), Magdalena del Mar (100%), Miraflores (69%), Pueblo Libre (100%), Rimac (99%), San Isidro (84%), San Juan de Lurigancho (92%), San Martín de Porres (95%), San Miguel (92%), Surquillo (14%), Ventanilla (2%)
PTLm02	PTAR La Chira	Chorrillos, Lima	Ate (23%), Barranco (100%), Chorrillos (88%), El Agustino (38%), La Molina (0,38%), La Victoria (96%), Lima (5%), Miraflores (34%), San Borja (100%), San Isidro (16%), San Juan de Miraflores (44%), San Luis (100%), Santa Anita (87%), Santiago de Surco (97%), Surquillo (93%), Villa María del Triunfo (66%)
PTLm03	PTAR Puente Piedra	San Martín de Porres, Lima	Carabaylo (26%), Los Olivos (0,06%), Mi Perú (8%), San Martín de Porres (3%), Puente Piedra (88%), Ventanilla (2%)
PTLm04	PTAR San Juan	San Juan de Miraflores, Lima	Villa el Salvador (68%), Villa María del Triunfo (19%)
PTLm05	PTAR Ventanilla	Ventanilla, Callao	Ventanilla (75%), Mi Perú (92%), Santa Rosa (4%)
COLm01	Colector Canto Grande	San Juan de Lurigancho, Lima	San Juan de Lurigancho (69%), Rimac (0,06%)
COLm02	Colector Comas	San Martín de Porres, Lima	San Martín de Porres (40%), Independencia (100%), Comas (41%), Los Olivos (52%), Rimac (0,29%), Callao (0,33%)
COLm03	Colector Isabel la Católica	La Victoria, Lima	Ate (10%), El Agustino (33%), La Victoria (29%), Lima (5%), San Luis (10%), Santa Anita (87%)
COLm04	Colector Villa María	San Juan de Miraflores, Lima	Villa María del Triunfo (65%), San Juan de Miraflores (1%)
COLm05	Colector Costanero	Magdalena del Mar, Lima	Miraflores (70%), San Isidro (76%), Lince (9%), Magdalena del Mar (5%), Surquillo (8%)
COLm06	Colector La Marina	Pueblo Libre, Lima	Lince (93%), Jesús María (100%), La Victoria (12%), Lima (8%), San Isidro (15%), Brena (0,41%)
COLm07	Colector La Molina	La Molina, Lima	La Molina (25%), Cieneguilla (19%), Pachacamac (6%)
COLm08	Colector Chosica	Chaclacayo, Lima	Chaclacayo (63%), Lurigancho (9%)
COLm09	Colector Nuevo Centenario	Callao, Callao	Callao (31%), La punta (100%), San Miguel (5%), La Perla (99%), Bellavista (74%)

Fuente: Boletín Semanal N° 4. Monitoreo epidemiológico del SARS-CoV-2 en aguas residuales Una Herramienta de Alerta Temprana del COVID-19. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Tabla 3. Puntos de monitoreo en PTAR y colectores de la red de alcantarillado ubicados en Arequipa Metropolitana

Punto de monitoreo	Nombre	Ubicación (distrito/provincia)	Distritos involucrados en el área de drenaje
PTAr01	PTAR La Escalerilla	Cerro Colorado, Arequipa	Cerro Colorado (32%), Yura (62%)
PTAr02	PTAR La Enlozada	Uchumayo, Arequipa	Alto Selva Alegre (93%), Arequipa (100%), Cayma (92%), Cerro Colorado (46%), Chiguata (86%), Jacobo Hunter (98%), Jose Luis Bustamante y Rivero (100%), Mariano Melgar (82%), Miraflores (97%), Paucarpata (98%), Sabandía (22%), Sachaca (65%), Socabaya (84%), Tiabaya (71%), Yanahuara (99%).
COAr01	Colector 83	Arequipa, Arequipa	Arequipa (0,5%), Miraflores (74,3%)
COAr02	Colector 56	Arequipa, Arequipa	Arequipa (24,9%), Miraflores (14,8%), Alto (0,5%)
COAr03	Colector Arrayanes	Arequipa, Arequipa	Arequipa (5,3%), Cayma (0,4%), Cerro Colorado
COAr04	Colector 73	Socabaya, Arequipa	José Luis Bustamante y Rivero (17,1%), Jacobo Hunter (0,1%), Sabandía (21,7%), Socabaya (70,6%)

Fuente: Boletín Semanal N° 4. Monitoreo epidemiológico del SARS-CoV-2 en aguas residuales Una Herramienta de Alerta Temprana del COVID-19. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

