



Experiencia en la implementación de la estrategia de Monitoreo de SARS-CoV-2 en aguas residuales **CENTINELA**

Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Macrozona Centro Sur

Hoy vivimos tiempos de cambio. La pandemia del COVID-19 adelantó el futuro, provocando una aceleración tecnológica que está transformando nuestra vida social y cultural de un modo que aún no comprendemos, y al mismo tiempo profundizó los conflictos sociales, ambientales y políticos.

Estos aspectos, y otros, nos han llevado a entender que, en este nuevo orden mundial, la investigación, la tecnología y la innovación son y serán herramientas claves para desarrollar estrategias de desarrollo que nos permitan comprender y navegar las tendencias globales.



Es en este contexto incierto que nace el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile, que empezó a funcionar el 01 de enero del 2020. Más aún, esta nueva institucionalidad lleva como marca de nacimiento la crisis social e institucional post 18-O y la pandemia del COVID-19. Estas circunstancias definieron la instalación de la nueva institucionalidad en sus procesos, prioridades y herramientas de cara al futuro.

Con la instalación de las Secretarías Regionales Ministeriales (seremi), se dan los primeros pasos en los que la institucionalidad científica promueve la construcción de una visión de la ciencia que se construye a partir de los mismos territorios. Esta misión tiene aún mucho camino que andar y cumbres que alcanzar. Sin embargo, en estos dos años, importantes aprendizajes y experiencias quedarán registradas y constituirán las bases del futuro.

La instalación de la Seremi de la Macrozona Centro Sur, correspondiente a las regiones de O'Higgins, Maule Ñuble y Biobío, fue simultáneo a la llegada del COVID-19 al país, momento en que fue necesario desplegar todas las capacidades de nuestros territorios, de la mano de una comunidad científica dispuesta a poner sus conocimientos al servicio de las personas.

Si bien, y en un principio, la instalación de las seremis se tradujo en una fuerte presión de articulación, gestión y acción para los diversos equipos, a los pocos meses estas pudieron sumarse a las diversas políticas que impulsaba el Ejecutivo y entregar herramientas concretas para colaborar de la mejor forma posible en la crisis sanitaria.

Un ejemplo concreto de lo anterior fue el monitoreo del SARS-CoV-2 en las aguas residuales, trabajo que nace por medio de una de las instancias de conversación y discusión de la Subsecretaría de Ciencia junto a las seremis, como una forma de aportar al manejo de la pandemia a través de la ciencia y la evidencia científica. Una iniciativa que en un principio fue solo una idea, pero que al corto plazo se convirtió en una realidad y con muy buenos resultados.

A esto se suma, la coordinación regional de la Red de Laboratorios Universitarios para el diagnóstico del Covid-19, además de las instancias de decisión producto de la pandemia, compuestas por mesas de reflexión integradas por diversos representantes de las ciencias sociales y humanidades, así como también espacios de divulgación científica para adultos, niñas y niños.

Pero no todo se centra en la crisis sanitaria, la Macrozona Centro Sur ha impulsado un trabajo fundamental en la divulgación de la primera Política Nacional de Igualdad de Género en Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, donde ha habido una importante preocupación en incorporar en esta iniciativa a la voz de las mujeres que son parte de las cuatro regiones que representa, generando diversos espacios de participación.

A esto se suma la labor con los emprendimientos de base científica-tecnológica ubicados en la macrozona, quienes han podido optar a los fondos que entrega Startup Ciencia, además de generar una comunidad en torno a esta área.

La instalación de esta seremía, además del impulso de diversas políticas públicas, no hubieran sido posibles si la Macrozona Centro Sur no contara con una gran comunidad científica con las capacidades de realizar investigación, desarrollo e innovación de gran nivel.

Sin embargo, estos aportes tampoco hubiesen sido posible sin el ineludible trabajo de articulación liderado por la Seremi de la Macrozona Centro Sur, Paulina Assmann, quien junto a su equipo supo liderar la construcción de una seremía regional que siempre tuvo como misión en el horizonte, impulsar y acercar la ciencia, tecnología, conocimiento e innovación a la ciudadanía.



Dra. Carolina Torrealba
Subsecretaria de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

La pandemia provocó en Chile cambios impensados. Muchos, lamentables, como las restricciones a la movilidad, el freno a la actividad económica y la inflación; o terribles, como el fallecimiento de 42 mil personas en dos años. Enfrentar esto obligó mostrar todo el músculo de nuestro sistema sanitario. Conseguimos vacunas de distinto tipo, multiplicamos el número de camas críticas y la capacidad de testeo, en un principio gracias a las capacidades científica tecnológicas instaladas en los laboratorios Universitarios. Por cierto, gracias a esto último, y esta es una antigua receta, recurrimos a nuestro sistema de alcantarillado para mejorar la salud de la población nuevamente.



Para enfrentar una pandemia no solo bastan los recursos y dinero, sino que también de ideas y estrategia, así lo ha demostrado la historia, en 1854, cuando aún la teoría de los gérmenes no era bien reconocida, el médico John Snow detuvo la epidemia de cólera rastreando su origen hasta un pozo infectado, después de persuadir a las autoridades de su comunidad para que quitaran la manija de la bomba del pozo, el brote terminó. Hoy, con el conocimiento en que las aguas servidas son un torrente de información de la salud de la población y con una red de aguas servidas con una cobertura casi completa en la región y las capacidades científicas existentes el monitoreo de aguas residuales resultó ser clave cuando llegó el SARS-CoV-2 al país. La gestión de Essbio y Biodiversa para mantener funcionando la red, y la disposición de la empresa para colaborar con el Ministerio de Ciencia, fueron esenciales para implementar el primer sistema de monitoreo de aguas servidas en el país.

Una persona contagiada presintomática, sintomática o asintomática tiene niveles detectables de coronavirus en sus deposiciones varios días antes de que un test PCR pueda arrojar positivo. Poder monitorear las aguas servidas era promisorio, pues se podría conocer el nivel de contagios en los cuadrantes definidos por la red sanitaria.

Fue así que nace el piloto en Chillán que se inicia en el peak de la primera ola de contagios. La primera experiencia nacional con una articulación público-privada y cabe destacar la participación inicial de la Universidad de Concepción para que luego la Universidad Católica de la Santísima Concepción junto con el Núcleo Milenio MIDAS tomaran la posta, que destinaron sus laboratorio y especialistas. El trabajo mancomunado permitió que la idea funcionara y que se replicara en San Pedro de la Paz, donde sirvió durante el 2020 como insumo para el “Semáforo Poop COVID-19”. Hoy se aplica a nivel regional, en 31 comunas de la Región del Biobío. Fue el primer sistema en detectar variantes de coronavirus en comunas lejos de la capital regional, como Arauco o Tucapel. La región hizo uso de este conocimiento: la experiencia fue señalada como ejemplo en publicaciones científicas internacionales y se desarrolló el primer seminario sobre el tema en el país con apoyo del Consorcio de Aguas Residuales Universitario. A año y medio de la primera toma de muestra, el análisis de aguas servidas ha demostrado su valor y conviene avanzar en ello como política pública establecida.

Dra. Paulina Assmann

Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, Macrozona Centro Sur

Resumen

La vigilancia de SARS-CoV-2 y en general la salud de la población en aguas residuales, es el horizonte de las ciudades del futuro. Es una herramienta importante para monitorear poblaciones específicas permitiendo una alerta temprana y el establecimiento de medidas de contención.

En esta iniciativa se desarrollaron dos tipos de pilotaje, la **estrategia micro**, que corresponde a un punto específico o subzonas dentro de una comuna, como la realizada inicialmente en la comuna de Chillán y luego en San Pedro de la Paz, y la **estrategia macro**, donde la medida se realiza a escala comunal en una planta de tratamiento o planta elevadora, que fue lo ejecutado en 31 comunas de la Región del Biobío.

Se reportan los resultados del monitoreo del SARS-CoV-2 utilizando ambas estrategias como la implementación de un sistema de alerta temprana en la población denominada "Semáforo Poop COVID-19" y el uso de esta evidencia por parte de las autoridades sanitarias en la toma de decisiones.

El objetivo de este documento es exponer la experiencia, sus aprendizajes y recomendaciones de la implementación de **Centinela**, una vigilancia del SARS-CoV-2 en las aguas residuales, por la Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de la

Macrozona Centro Sur. Además, se presentan los impactos en políticas públicas y sanitarias desarrolladas en respuesta a la vigilancia de aguas residuales a través del Simposio Internacional de Epidemiología basada en aguas residuales y producto de la propia experiencia en las regiones de Ñuble y Biobío.

La exitosa estrategia de monitoreo fue desarrollada gracias a la articulación de distintos actores de la sociedad. Un esfuerzo conjunto de diferentes entidades desde la academia, el gobierno y el sector privado, impactando en la forma en que las autoridades diseñaron sus estrategias de prevención y rastreo del virus en la población, así como también, dejando una capacidad instalada, gracias a la infraestructura científico-tecnológica del territorio.

CONTENIDO

	Introducción	1
	Actores participantes	3
	Metodología de trabajo	7
	Resultados	11
	Aprendizajes y recomendaciones	23
	Referencias	27
	Anexo 1: Orden cronológico de principales hitos	31
	Anexo 2: Equipo de trabajo	33
	Anexo 3: Simposio internacional	39

01

INTRODUCCIÓN



Durante diciembre de 2019, China reportó el brote de una enfermedad respiratoria causada por el virus SARS-CoV-2, que generó la primera pandemia del siglo XXI. Una de las estrategias que se estableció inicialmente, dada la evidencia científica fue el monitoreo de aguas residuales para así, evaluar la condición epidemiológica de una población acotada.

A nivel mundial se despliegan ejemplos en la región de Valencia en España, que permitió la detección de los primeros casos de virus, y posteriormente prever el aumento de casos en la ciudad (Randazzo et. al., 2020). Mientras que Farkas et. al. (2020), comparan entre las estrategias de monitoreo realizadas en Estados Unidos y Europa. Así también el monitoreo de SARS-CoV-2 en aguas residuales ha demostrado ser una herramienta efectiva para identificar, de manera temprana, ciudades con alta probabilidad de presentar brotes de COVID-19 (Hata et. al., 2021; Kumar et. al., 2020). En áreas más acotadas se da el caso registrado por Scott et. al. (2021), en la Universidad de Tulane en New Orleans, Louisiana-USA; así como en áreas confinadas, como cruceros y aviones, obteniendo una alta trazabilidad (Ahmed, et. al., 2020). Otro ejemplo interesante, es el de Emiratos Árabes, en donde se reporta una correlación en la baja de los casos positivos para SARS-CoV-2, luego de la implementación de sus medidas preventivas (Hasan. et. al., 2021).

Así también, se han propuesto lineamientos a través de un trabajo colaborativo a nivel global con el fin de compartir experiencias y resultados del uso del monitoreo de aguas servidas para el control de SARS-CoV-2 (Daughton, 2020). Además, se ha sugerido que la estrategia de monitoreo del virus desde aguas residuales permite la implementación de políticas públicas que permitan prevenir la propagación del virus (Nghiem et. al., 2020).

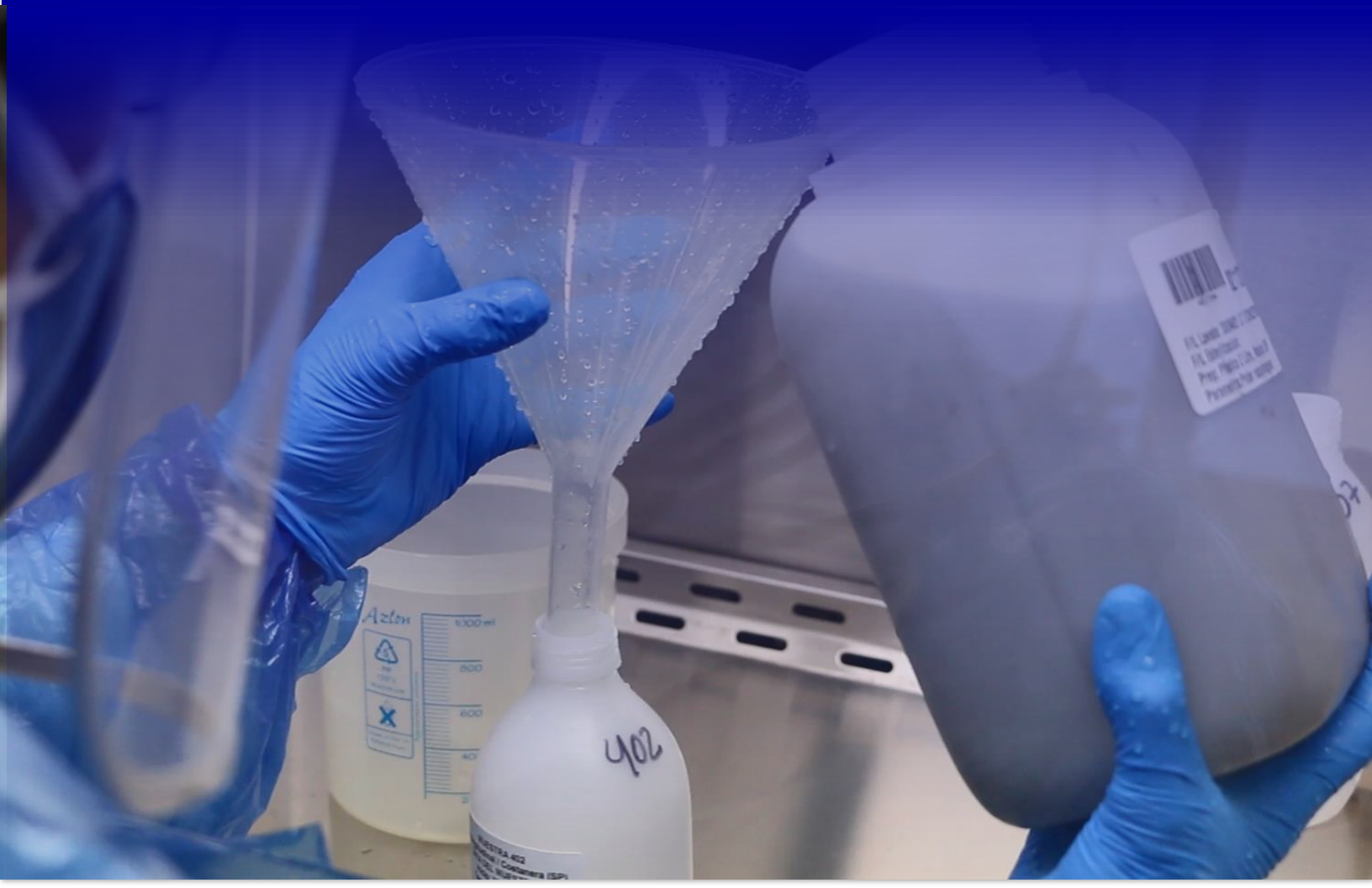
Las experiencias reportadas resaltan la utilidad de los monitoreos de aguas residuales para el rastreo de individuos sintomáticos, asintomáticos y contactos identificados. Además, de la capacidad de rastrear zonas con probabilidad de re-emergencia del virus y establecer acciones directas en dichos espacios. Es así como en marzo de 2021, la comisión Europea recomienda la vigilancia ambiental a todos los miembros de la Unión Europea y posteriormente la OMS agrega la vigilancia en aguas residuales en sus guías de acciones para la Pandemia¹.

Todo esto permite a los gobiernos implementar políticas sanitarias para el control de la enfermedad. Sin embargo, surge la interrogante de cómo integrar estas políticas públicas en los distintos sectores de la población.

¹ https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/recomendaciones-ue-espanol_tcm30-525161.pdf

02

ACTORES PARTICIPANTES



La pandemia por SARS-CoV-2 ha sido un desafío para el mundo científico, puesto que por una parte han debido trabajar en sus investigaciones contra el tiempo y en condiciones adversas, así como también dejarlas para poner a disposición sus conocimientos a las necesidades de la comunidad, siendo un apoyo al sector público y en muchos casos articulándose con el sector privado con este fin.

Las capacidades científico-tecnológicas existentes en las regiones alojadas en las universidades, centros de investigación y unidades tecnológicas fueron puestas a disposición de las autoridades desde el primer día. Esto sumado al ánimo de los investigadores e investigadoras dieron por resultado una exitosa colaboración tanto para la iniciativa de monitoreo de SARS-CoV-2 en aguas residuales como de otras para enfrentar la pandemia.

A continuación, se presentan los equipos de trabajo y su rol dentro de la estrategia de vigilancia en aguas residuales.

Academia

A través del *Consejo Asesor* de la Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de la Macrozona Centro Sur, compuesto por los vicerrectores de

investigación o similar de las universidades de la macrozona, fue posible identificar los profesionales con las capacidades técnicas para realizar monitoreo en aguas residuales. El principal rol de este grupo fue la disposición de sus laboratorios y equipamiento y el análisis de las muestras y resultados.

Los investigadores/as y académicos/as que participaron en la estrategia micro y macro fueron:

Piloto Chillán

- **Cristián Gallardo**, Universidad de Concepción.
- **Homero Urrutia**, Universidad de Concepción.
- **Valentina Valenzuela**, Universidad de Concepción.

Piloto San Pedro de la Paz y Región del Biobío

- **Matías Hepp**, Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- **Andressa Reis**, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

El avance de esta estrategia a través de diferentes proyectos en el país dio paso a la conformación del *Consortio de Laboratorios Universitarios de Aguas Residuales*, quienes fueron los encargados de relevar esta temática

en sus regiones, compartir experiencias y además organizar junto a la seremi de ciencias el Simposio Internacional de Epidemiología basada en aguas residuales.

Este consorcio trabajó en la unificación de protocolos de medición, permitiendo que el país esté preparado ante la posibilidad de un escalamiento de Centinela a las demás regiones de Chile.

Este consorcio está conformado por los siguientes investigadores e investigadoras:

- **Aldo Gaggero**, Universidad de Chile
- **Cesar Echeverría**, Universidad de Atacama
- **Aiko Adell**, Universidad Andrés Bello
- **Jorge Olivares**, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- **Claudia Ibacache**, Universidad de Valparaíso
- **Matias Hepp**, Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- **Andressa Reis**, Universidad Católica de la Santísima Concepción.

En el caso de la implementación de la estrategia micro de Centinela, estuvo a cargo del Centro para el Descubrimiento de Estructuras en Datos Complejos – MIDAS quienes aportaron con el análisis de las redes de alcantarillas de las ciudades para la

determinación de los lugares óptimos de muestreo. Los principales investigadores que participaron son:

- **Alejandro Jara**, Núcleo Milenio Midas
- **Mauricio Castro**, Núcleo Milenio Midas
- **José Verschae**, Núcleo Milenio Midas

Sector privado

La empresa **Essbio**, principal operador de servicios sanitarios de la macrozona centro sur y el país ha sido muy importante para llevar a cabo Centinela. Su rol fue el de proveer el acceso a la red de alcantarillado y limpieza de los mismos, además de coordinar la toma de muestras tanto en el alcantarillado como en las plantas de tratamiento, en conjunto con la empresa Biodiversa, filial de Essbio. Esta última es quien se encargó de la toma de muestras, de acuerdo con la estrategia planteada por las autoridades.

A este grupo se suma la empresa de base tecnológica Kurabiotech quienes aportaron con el análisis de muestras de saliva en un operativo de búsqueda activa realizado en conjunto con la Seremi de Salud de Ñuble.

Las personas involucradas del sector privado fueron:

Cristian Vergara, Gerente General Essbio.

Eduardo Araya, Sub-Gerente Comercial Biodiversa.

Eduardo Wallach, Kurabiotech.

Sector público

La estrategia chilena para enfrentar la Covid-19 se ha basado en la realización de testeo masivo, en la trazabilidad y aislamiento, agregando además la inmunización a través de la vacunación. Centinela nace ante la necesidad de obtener evidencia objetiva, y que permitiese 1) orientar la búsqueda activa de la SEREMI de Salud, 2) no perder el termostato de la pandemia durante una baja de casos, que se traduce en que la población no se realice test, 3) monitorear el proceso de inmunización de la población y 4) para saber las variantes que están circulando en un territorio.

Es así, como diversas instituciones públicas, representantes y sus equipos de trabajo adoptaron la estrategia de monitoreo en aguas residuales. A continuación, se mencionan los representantes de estas instituciones, quienes estuvieron en el cargo durante el periodo de ejecución de Centinela:

Héctor Muñoz, Seremi de Salud Biobío

Marta Bravo, Seremi de Salud Ñuble

Martín Arrau, Intendente de Ñuble

Patricio Kuhn, Intendente de Biobío

Audito Retamal, Alcalde de San Pedro de la Paz

Rodrigo Díaz, Gobernador de la Región del Biobío

03

METODOLOGÍA DE TRABAJO



En Chile, específicamente en la macrozona centro sur, se han piloteado dos estrategias de vigilancia tanto de SARS-CoV-2 como drogas lícitas e ilícitas, estas son:

1. **Estrategia Micro comunal**, que corresponde a la obtención de una muestra compuesta de 24 horas de agua residual desde las alcantarillas, 3 a 4 veces por semana, en sectores entre 8.000 y 10.000 habitantes aproximadamente, Obteniendo datos de alta resolución con información del territorio por ej. San Pedro de la Paz (14 subzonas) y Chillán (3 subzonas).

2. **Estrategia Macro comunal**, que corresponde a la toma de muestra de agua residual compuesta de 24 horas en una planta de tratamiento o planta elevadora que recibe el agua de toda la comuna, una vez por semana, obteniendo datos con resolución comunal, por ejemplo, en las 31 comunas de la región del Biobío.

La detección comenzó con una experiencia piloto en Chillán, región de Ñuble, con la **estrategia micro** durante los meses de junio a septiembre del 2020. Posteriormente, se implementó un monitoreo con la **estrategia micro** en 15 zonas de la comuna de San Pedro de La Paz desde marzo hasta agosto de 2021. Finalmente, a partir del mes de julio de 2021 y hasta febrero de 2022 se incorporó la

estrategia macro donde se monitorearon las aguas servidas de las distintas comunas de la región del Biobío, para determinar la carga viral, además de la presencia de las variantes de interés de SARS-CoV-2.

La toma de muestras de agua servidas se llevó a cabo por la empresa Biodiversa S.A, quienes tomaban 5 litros de agua durante 24 horas (formada por pequeñas muestras recolectadas cada 1 hora), lo que se denominó muestra compuesta.

Para la primera experiencia piloto en Chillán, se determinaron 3 puntos de interés:

- Residencia sanitaria, usada como control positivo.
- ELEAM, debido a la presencia de personas con alta probabilidad de contagio.
- Cárcel de Chillán, debido a la presencia de personas en estado de hacinamiento.

Con la estrategia micro en San Pedro de la Paz, los puntos de rastreo fueron los siguientes:

Santuario la Candelaria (Z1)	Pasaje 2 Azucenas (Z7)
Calle S. Pedro / Iñigo García (Z2)	P.E. Boca Sur (Z8)

Los Canelos / Pedro Lira (Z3)	2° Longitudinal / Costanera (Z9)
Los Acacios (Z4)	Acceso Emisario (Z10)
Las Golondrinas / Las Torres (Z5)	Av. Michaihue / Rosales (Z11)
Las Torres / Ejército (Z5)	Emisario (Z12)

Los muestreos fueron realizados con una periodicidad de 3 veces a la semana, día por medio por cada punto (lunes, miércoles y viernes o martes, jueves y sábado).

Posteriormente se extendió la estrategia macro a todas las comunas de la región del Biobío, con tomas de muestras en:

Talcahuano PEAS Hualpén	PTAS Mulchén
Talcahuano Afluyente	PTAS Lota
PTAS Yumbel	PTAS Los Ángeles
PTAS Santa Bárbara	PTAS Los Álamos
PTAS Santa Juana	PTAS Lebu
PTAS San Rosendo	PTAS Laja
PTAS Quilleco	PTAS Huepil
PTAS Quilaco	PTAS Hualqui
PTAS Punta Parra	PTAS Florida
PTAS Penco	PTAS Dichato

² Los valores de Ct son indicativos de copias de virus por litro. Muestras con Ct > 37 indican 0 to 1122 copias/L. Ct 36 a 36.9

PTAS Negrete	PTAS Curanilahue
PTAS Nacimiento	PTAS Coronel
PTAS Contulmo	PTAS Concepción
PTAS Coelemu	PTAS Cañete
PTAS Chillán	PTAS Cabrero
PTAS Arauco	Emisario San Pedro
PEAS Chiguayante	

Estas muestras fueron tomadas una vez por semana en los puntos mencionados y fueron concentradas por centrifugación, y posterior extracción de ARN. La detección del virus fue por PCR en tiempo real utilizando el kit TaqMan★ 2019nCoV Assay Kit v1 (Thermo Fisher Scientific, USA). Para la detección de variantes en las distintas comunas de la región del Biobío, se utilizó el kit TaqMan SARS-CoV-2 Mutation Panel (Thermo Fisher Scientific, USA).

Cuatro escalas de alerta fueron establecidas para implementar la herramienta denominada "*Semáforo Poop COVID-19*". A partir de los valores de Ct obtenidos de la detección del virus se definió: zona de color **verde** aquellas con valores de Ct > 37; la zona **amarilla** con valores de Ct entre 36 a 36.9; zona **naranja** con valores de Ct entre 34 a 35.9; y la zona **roja** con valores de Ct < a 34².

equivale a 1123 a 2201 copias/L. Ct de 34 a 35.9 equivale a 2202 a 8473 copias/L. Valores Ct < 34 equivale a >8474 copias/L.

Evaluación de impacto de la experiencia en San Pedro de la Paz

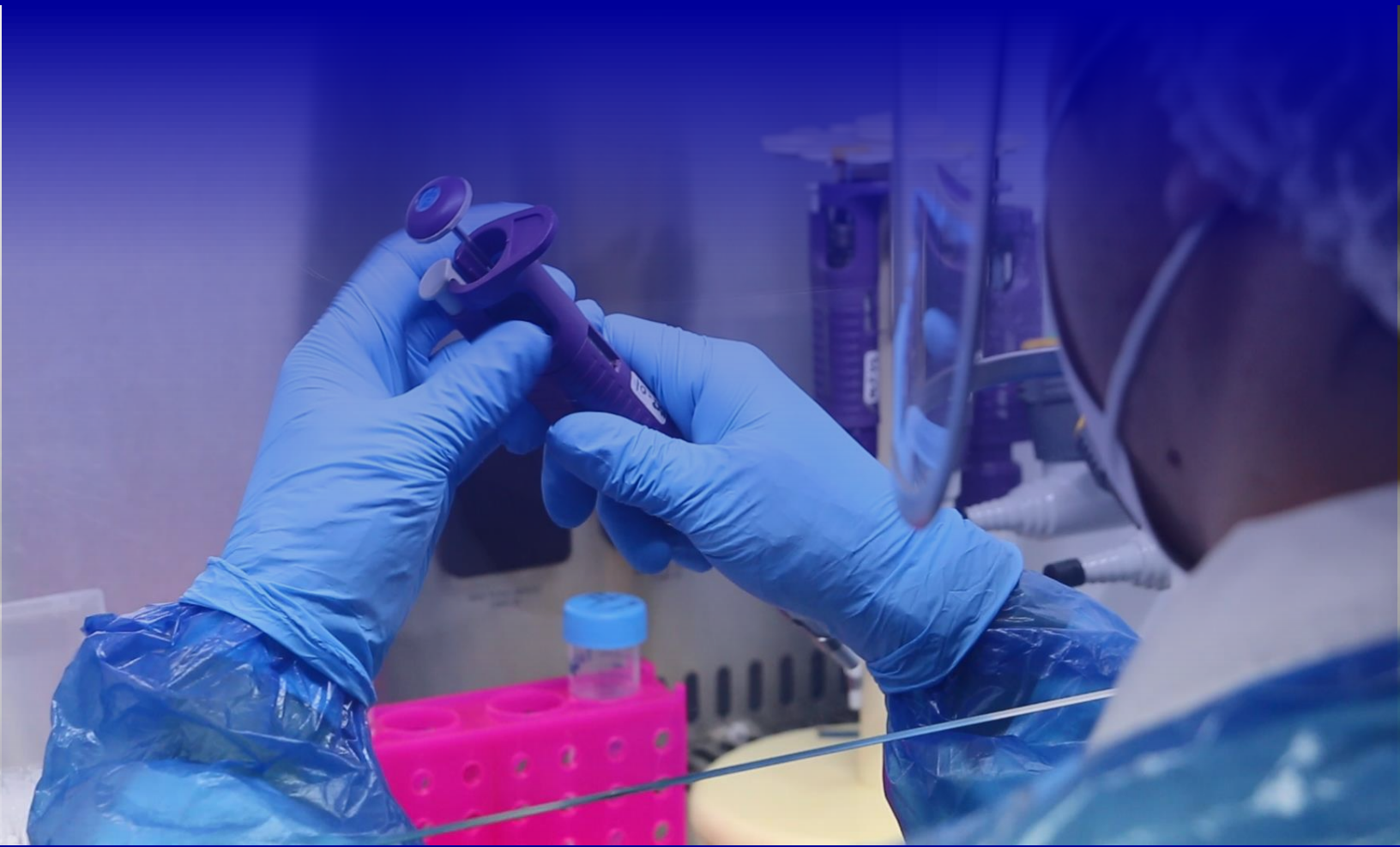
En cuanto a los métodos para evaluar los impactos a través de la percepción de las autoridades, se utilizó una encuesta con 4 preguntas en donde se les pidió evaluar en una escala de satisfacción de 1 a 7 la calidad (claridad, celeridad y datos proporcionados) y la utilidad del informe de alerta y del semáforo. Además, se agregó una pregunta abierta acerca de las medidas dispuestas a partir de la información proporcionada por los mecanismos antes mencionados. Dicho instrumento fue enviado a las autoridades:

- Audito Retamal, Alcalde de San Pedro de La Paz periodo 2021.
- Seremi de Salud, a través de Andrea Gutiérrez y Julia Manríquez del Equipo de Epidemiología de la Seremi de Salud.
- Roberto Aguayo, División de Administración de Salud de San Pedro de la Paz.
- Cristian Vergara, Gerente ESSBIO.

Finalmente, y con el apoyo del *Consortio de Laboratorios Universitarios de Aguas Residuales*, se realizó el "*Simposio Internacional de Epidemiología basada en aguas residuales*" con la participación de destacados expositores nacionales e internacionales. Este simposio se dividió en 2 jornadas, la primera abordando la estrategia de vigilancia de aguas residuales desde el punto de vista técnico con análisis de diferentes aplicaciones a nivel mundial y, la segunda jornada, a nivel de política pública, con un conversatorio que abordó los mecanismos y la importancia de implementar este tipo de estrategias en beneficio de la sociedad.

04

RESULTADOS



De la experiencia piloto generada durante los meses de junio a septiembre en la región de Ñuble, específicamente en la ciudad de Chillán, fue posible la estandarización del método de detección del virus SARS-CoV-2 desde aguas residuales y fue posible adelantar algunos brotes durante el año 2020 en la comuna.

Se destacan, entre otros, dos procesos de búsqueda activa puerta a puerta realizados por la Seremi de Salud de Ñuble en base a los resultados obtenidos, el primero realizado en la calle Vega de Saldías, entre Sargento Aldea y Argentina, donde se contó con el apoyo de la empresa Kura Biotech para el testeo de las personas a través de muestras de saliva, y el segundo, realizado en la calle Gamero, entre Isabel Riquelme y Argentina, lugar donde encontraron personas contagiadas no identificadas previamente por la autoridad sanitaria.

En la figura 1 se presentan los resultados de análisis de muestras de aguas residuales durante la experiencia en Chillán. El área roja corresponde a muestras positivas para SARS-CoV-2 y el área verde a muestras negativas. Como se observa, el Hotel Marina del Sol (línea roja), es el control positivo, aquí el muestreador solo recibió aguas del hotel, por lo tanto, es la parte del experimento controlado porque se conoce el número de infectados,

asintomáticos y contactos estrechos del lugar. Este lugar presenta positividad durante todo el periodo de análisis con diferentes valores de carga viral.

El 16 de julio se presentaron los primeros análisis positivos tanto en la cárcel (línea azul) como en el hogar de ancianos (línea verde), ya que están ubicados en una misma calle. Cuando se detectó el primer positivo, se iniciaron testeos masivos en los trabajadores de la cárcel, ya que la muestra venía del sector administrativo y se inició control preventivo del hogar de ancianos.

El 11 de agosto se obtuvo un segundo positivo en la cárcel y ELEAM. Esta vez, con la ayuda de la empresa de base científica tecnológica Kura Biotech se realizó un screening en 3 cuadras mediante el método de detección por saliva encontrando 1 persona positiva y 3 casos positivos del ELEAM una semana después del hito.

A fines de agosto se presentó un nuevo positivo en otro sector de la cárcel lo que llevó a una búsqueda activa en la calle Gamero (Línea naranja). Luego de un operativo de búsqueda activa realizado por la Seremi de Salud en la zona, se identificaron 6 personas positivas para SARS-CoV-2. Finalmente, a principios de

Septiembre de observa un cuarto positivo en las primeras muestras del mercado (línea café).

Los primeros 3 meses de estudio fueron de mucho aprendizaje y permitieron fijar las bases para el análisis de aguas residuales y su operatividad.

Estas experiencias permitieron generar protocolos de comunicación y acción ante alertas positivas y mejoras en la logística de este tipo de operativos.

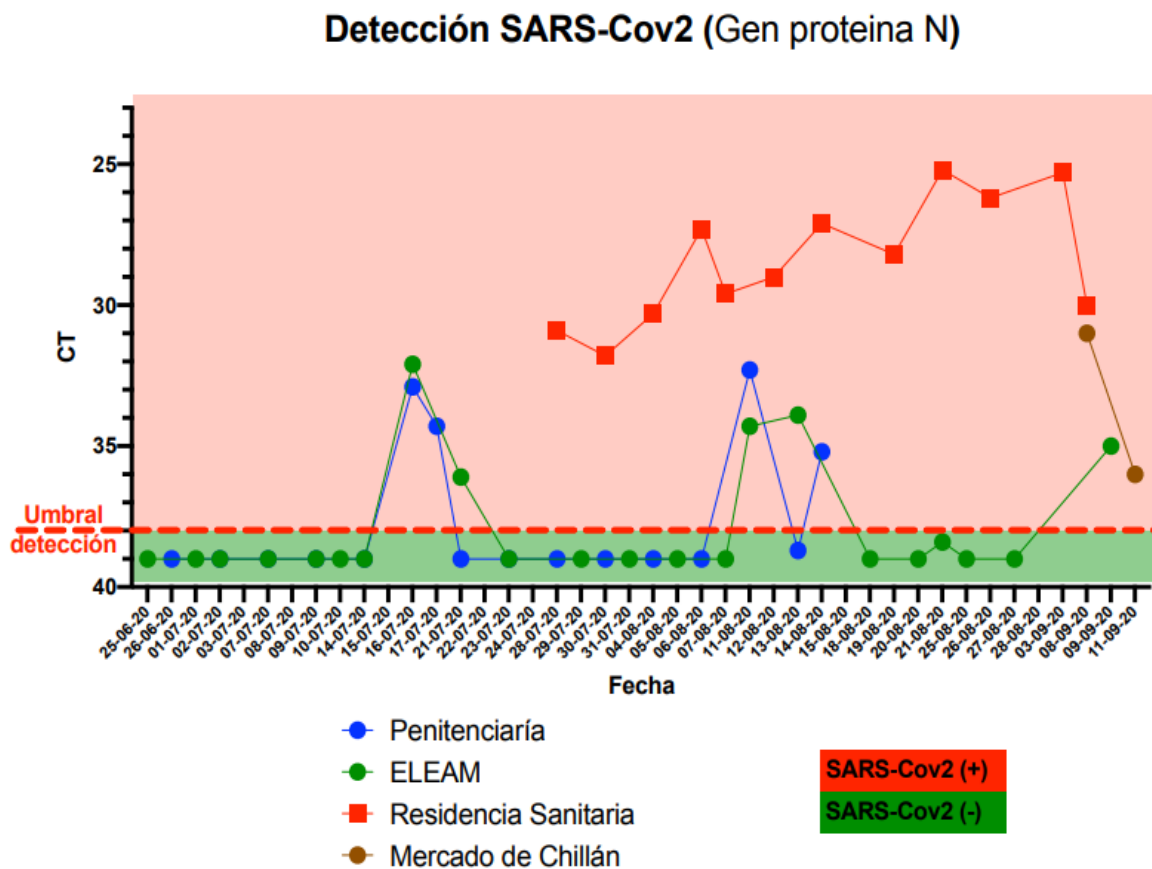


Figura 1. Gráfico de resultados de análisis de muestras de aguas residuales en Chillán.

En el caso de la experiencia en San Pedro de la Paz, los hallazgos se dieron a conocer a la comunidad a través de Informes de Alerta y "*Semáforo Poop COVID-19*"³. Los informes eran elaborados por la Universidad Católica de la Santísima Concepción a diario y el semáforo se completaba los lunes y jueves con la información proporcionada por estos informes. El Semáforo Poop COVID-19 incluía las estadísticas de variación del virus de las últimas 5 mediciones por cada punto. A nivel de autoridades, los informes de alerta eran enviados a la Intendencia y a la SEREMI de Salud, en donde esta última entidad agregaba sus recomendaciones a través del panel de epidemiólogos expertos. Posteriormente, el informe era enviado al municipio y a la Dirección de Salud de la comuna.

En cuanto al *Semáforo Poop COVID-19*, se daba a conocer a la comunidad 2 veces a la semana, los martes y viernes, y se elaboraba a partir de los informes de alerta de los lunes y jueves respectivamente. Este semáforo se enviaba a la municipalidad, para la publicación de la información en las redes sociales, así mismo, la Seremi de Ciencias también difundía esta información en sus plataformas digitales (Ver figura 2).

El informe de alerta de SARS-CoV-2 en la comuna de San Pedro de la Paz de este estudio se extendió desde marzo de 2021 a agosto de 2021 (Figura 3). Durante marzo a mayo se detectaron zonas con alta carga de SARS-CoV-2, en ellas se registraron zonas rojas y naranjas, que fue informado a la comunidad por las redes sociales de la Municipalidad y Secretaría Regional de Ciencia en la ciudad de San Pedro de la Paz. El impacto de la implementación del *Semáforo Poop COVID-19* en el ciudadano se reflejó durante junio de 2021, donde el registrador de carga SARS-CoV-2 en aguas residuales se redujo por debajo de 8000 copias/L. En particular, durante agosto de 2021, a pesar del bajo nivel de SARS-CoV-2, todas las zonas de monitoreo se establecieron bajo el color amarillo como muestra la figura 3.

Otra alternativa para visualizar el semáforo Poop COVID-19 fue a través de una aplicación web elaborada por el Núcleo Milenio Midas y que permitía, a través de un mapa interactivo de San Pedro de la Paz, identificar aquellas zonas con mayor o menor carga viral en cada fecha de muestreo. Para más detalles se puede acceder al enlace <https://midas-uc.shinyapps.io/semaforo-San-Pedro/>

³ La experiencia desarrollada en Chillán contó inicialmente sólo con el Informe de Alerta. Posteriormente, en la comuna de San

Pedro de La Paz, se integró el "*Semáforo Poop COVID-19*" como instrumento de información.

Semáforo Poop COVID-19

COMUNA: San Pedro de la Paz

FECHA SEMÁFORO: 25 de Mayo de 2021

¿Qué es el Semáforo Poop COVID-19?

Es una herramienta que permite conocer con anticipación el alza o baja de circulación viral del COVID-19 en las aguas servidas.



ZONA ROJA: EXTREMAR MEDIDAS DE SEGURIDAD ESTABLECIDAS POR EL MINISTERIO DE SALUD

SEMÁFORO COMUNAL



No registra zonas

GRAVE: Muy alta carga viral en los últimos 5 días.

Boca Sur 1, San Pedro de la Costa, Michaihue, Candelaria 2, Huertos Familiares

ALERTA: Alta carga viral en los últimos 5 días.

Candelaria 1, Candelaria 3, La Estrella, Lomas Coloradas, Boca Sur 2 y Boca Sur 3

PRECAUCIÓN: Mediana carga viral en los últimos 5 días.

El Venado, Andahué, Los Caneles, Villa San Pedro/Bayona, El Recodo/Camino Santa Juana

PREVENCIÓN: Sin variación o baja carga viral en los últimos 5 días.

CUÍDATE Y CUIDA TU FAMILIA. SUPEREMOS JUNTOS ESTA PANDEMIA DE COVID -19



Figura 2. Semáforo Poop COVID-19, ejemplo de la información entregada a la población de la comuna de San Pedro de La Paz para alertar a la comunidad.

Luego de una consulta a distintas autoridades estos evaluaron tanto el Informe de Alerta como el *Semáforo Poop COVID-19* con puntajes entre 6 y 7. Los resultados obtenidos a través de la encuesta muestran un alto nivel de satisfacción general por la implementación de esta herramienta.

Las autoridades destacan que la información proporcionada fue clara, oportuna, entregada a tiempo y comprensible, lo que permitió una rápida toma de decisiones. En cuanto a las medidas tomadas, destacan el despliegue de equipos médicos con muestreo por PCR en las zonas de mayor carga viral y estrategia de búsqueda activa. También se menciona el uso de las redes sociales como mecanismo de difusión e información a la comunidad. Además, las autoridades destacan la posibilidad de enfocar los esfuerzos monetarios en áreas de alta carga viral.

Por parte del sector privado, la empresa ESSBIO reconoce haber tenido reticencia inicial por miedo a que las personas se confundieran y temieran que el virus se encontraba en las aguas servidas y redes de alcantarillado, creando desinformación. Sin embargo, al ver los resultados en Chillán y San Pedro de La Paz; junto a los resultados de monitoreos de aguas residuales a nivel mundial en Europa y EE.UU., su visión cambió. Es por ello,

que ESSBIO declara tener la intención en colaborar en más iniciativas como monitoreo de análisis de condición de agua, agentes contaminantes, sustancias ilícitas o elementos de materia orgánica e identificación de otros elementos.

Como última experiencia, desde las muestras de aguas residuales, se ha implementado como **estrategia macro** la medición de la carga viral y la identificación de variantes de SARS-CoV-2 dentro de las comunas de la región del Biobío. El último informe de alerta emitido el 12 de febrero de 2022 evidenció la alta carga viral existente en la región del Biobío en ese momento, en donde 22 comunas estaban con semáforo en rojo debido a la alta variación en la concentración del virus y 6 comunas con semáforo en naranja (Ver figura 4). Lo que evidencia esta última figura va en línea con las cifras oficiales de la pandemia en Chile⁴, donde también se observa el virus en control desde julio de 2021, fecha donde inició el monitoreo regional hasta diciembre del mismo año y luego un aumento de contagios desde enero de 2022 al igual que las cifras oficiales, en donde aumentaron exponencialmente las cifras de nuevos casos confirmados diarios.

⁴ <https://www.gob.cl/coronavirus/cifrasoficiales/>

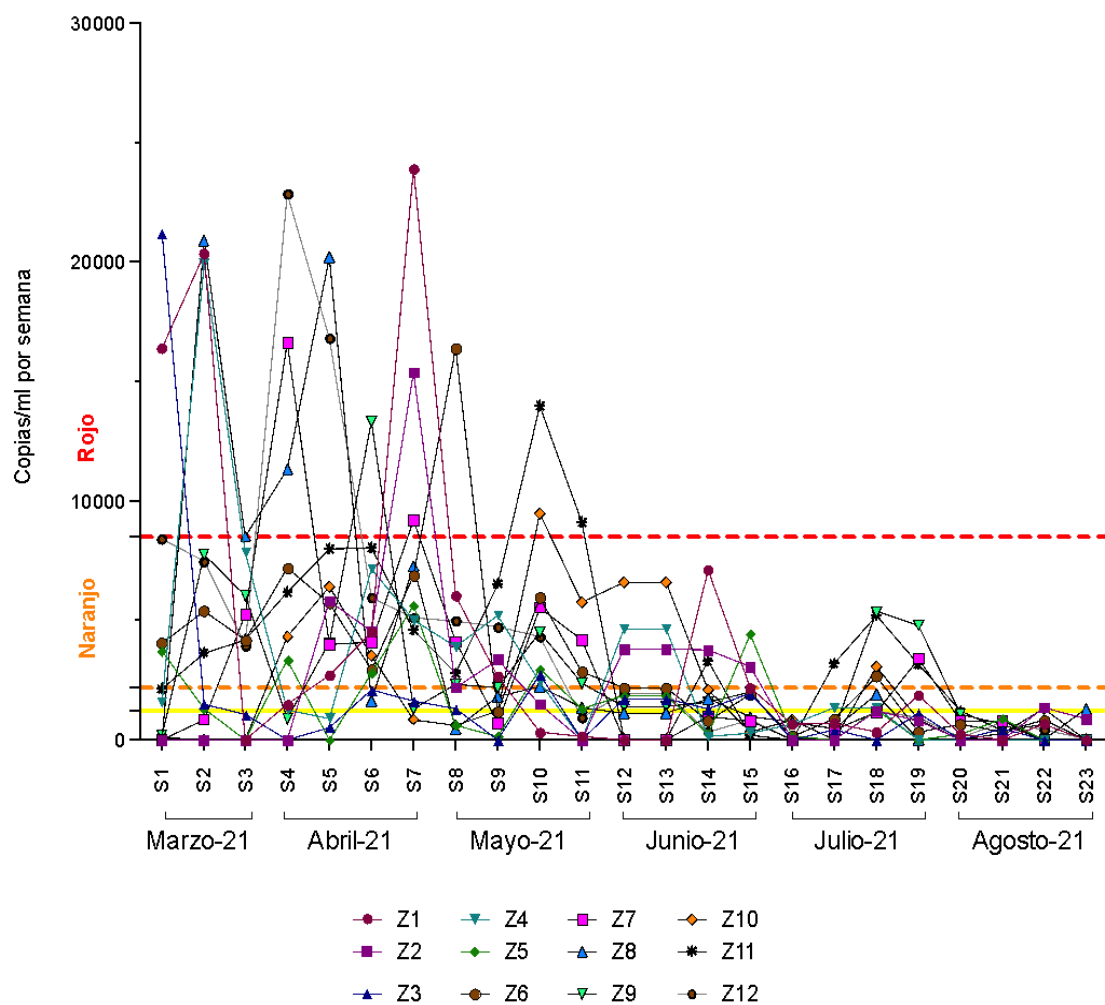


Figura 3. Evaluación de carga viral en aguas residuales de la comuna de San Pedro de la Paz entre marzo a agosto 2021. Las líneas de colores indican el umbral establecido para la definición de la alerta para el *Semáforo Poop COVID-19*.

[illegible]

Figura 4. Semáforo PoopCovid19 histórico por comuna de la región de Biobío. El color rojo significa una alta carga viral, la que va disminuyendo hasta el color verde.

En cuanto a las variantes de interés circulantes, en todas las muestras analizadas en el último informe se encontró la variante ómicron, absorbiendo por completo las variantes alfa, beta y mu. En solo 5 muestras se encontró variante gamma y en 4 muestras las variantes delta, lo que demuestra que son variantes que van en retirada y confirman la repercusión de la variante de interés ómicron en la región.

Un resultado importante del monitoreo en aguas residuales en la región del Biobío, es que se logró identificar la fecha de ingreso de cada una de las variantes en cada ciudad analizada, por mencionar algunos ejemplos, en la planta de tratamiento en donde confluyen las aguas de las ciudades de Concepción, Chiguayante, Hualpén y Talcahuano, se observó la presencia de la variante gamma el 13 de julio de 2021, luego se observó la variante delta desde el 23 de octubre, la variante lambda desde el 30 de octubre, la variante mu desde el 25 de diciembre y, finalmente, la variante ómicron desde el 04 de enero de 2022 (Ver figura 5).

Un segundo ejemplo es en la ciudad de Arauco, donde fue identificada la variante gamma el 17 de julio de 2021 y la variante delta desde el 11 de septiembre. En el caso de esta última variante, se logró identificar antes que las autoridades sanitarias conocieran el primer

caso infectado en la ciudad. Esta información proporcionada a las autoridades sanitarias comunales permitió desplegar una búsqueda del caso entre los últimos contagios, logrando identificar la persona contagiada con variante delta y desde ahí realizar la trazabilidad correspondiente y aislamiento de contactos estrechos. Luego, se identificó la variante lambda desde el 13 de noviembre, la variante mu desde el 08 de enero de 2022 y finalmente la variante ómicron desde el 22 de enero de 2022 (Ver figura 6). En ambas figuras presentadas de ejemplo se observa que la carga viral obtenida en las muestras de aguas residuales (línea azul) sigue un patrón semejante al de la tasa de casos nuevos, información obtenida desde las autoridades sanitarias.

Si bien las fechas mencionadas corresponden a la primera aparición de cada variante, el análisis de cada informe semanal permitiría conocer la fecha de inicio y término de cada variante, además de identificar la dinámica de propagación de cada una. Los informes de alerta de todo el monitoreo y el resultado de la carga viral e identificación de variantes histórica para las otras comunas de la Región del Biobío están disponibles en el enlace <https://linktr.ee/seremicienciacs>.

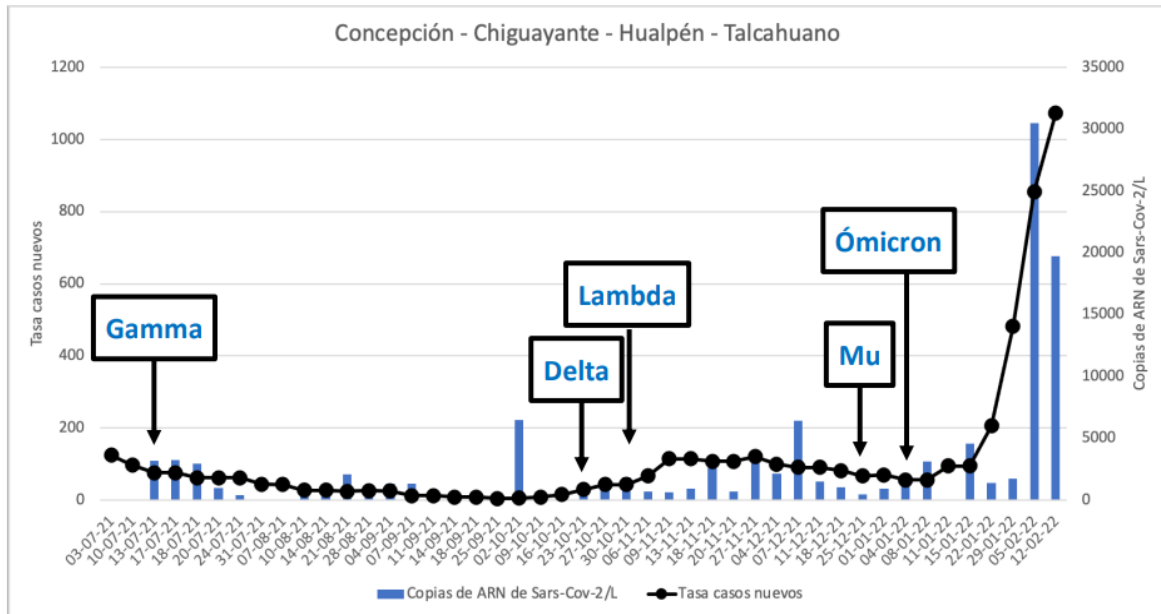


Figura 5. Gráfico histórico de carga viral y presencia de variantes de la planta de tratamiento de aguas servidas de las ciudades de Concepción, Chiguayante, Hualpén y Talcahuano.

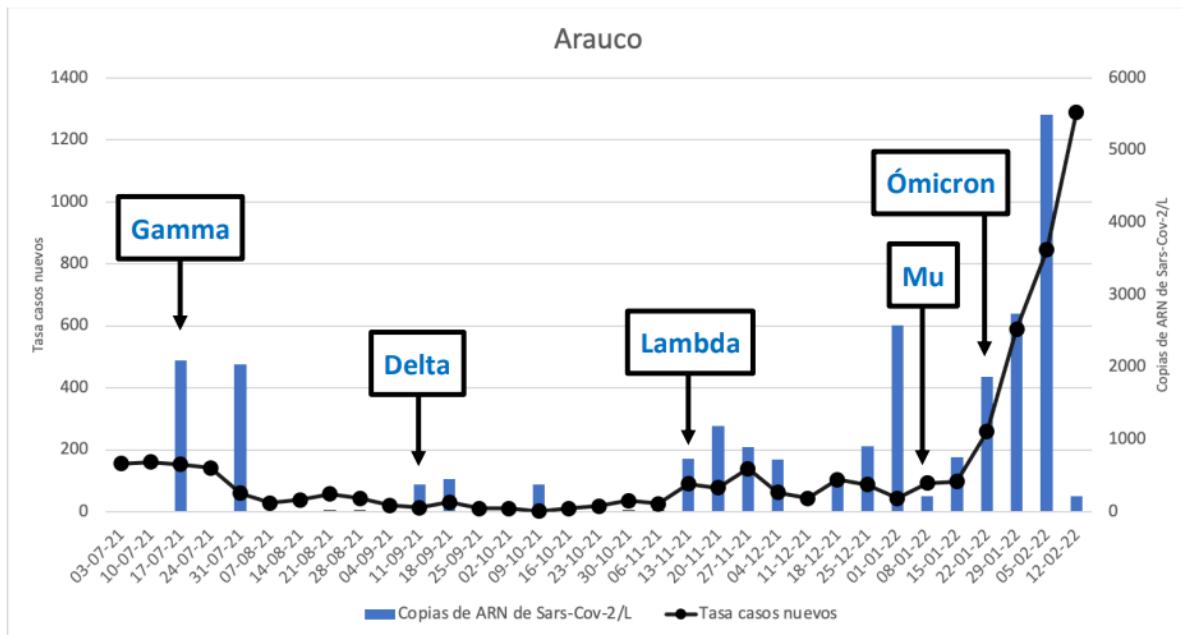


Figura 6. Gráfico histórico de carga viral y presencia de variantes de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Arauco.

El Simposio Internacional de Epidemiología basada en Aguas Residuales organizada en conjunto con el consorcio de aguas residuales Universitarias se realizó los días 20 y 21 de enero de 2022. En este espacio los reconocidos especialistas expusieron las distintas iniciativas que se están llevando a cabo en sus países.

La actividad se dividió en dos jornadas, la primera de carácter técnico donde los especialistas invitados fueron:

- Marize Miagostovich, Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz. Rio de Janeiro Brasil
- Marcos Quintela-Baluja, U. de Newcastle, Reino Unido, U. Santiago de Compostela, España
- José Benito Quintana, U de Santiago de Compostela, España
- Matías Hepp, U. Católica de la Santísima Concepción, Consorcio de Aguas Residuales Universitarias, Chile
- Dr. Vicente Catalán, laboratorios de Suez en España

Ellos expusieron las investigaciones que están realizando, protocolos de medición y los avances en temas de importancia para la salud de la población como resistencia a los antibióticos, SARS-CoV-2, detección de drogas lícitas e ilícitas y el rol de los laboratorios en la aplicación de vigilancia en aguas residuales.

La segunda jornada fue enfocada en el desarrollo de políticas públicas, conociendo experiencias de Estados Unidos y Reino Unido. Además, se realizó un conversatorio sobre lo que fue la experiencia de instalación de Centinela y su proyección desde la mirada del Gobierno Regional del Biobío, el Senado, el municipio, ministerio de salud, así como también desde la empresa sanitaria.

Los expositores invitados fueron:

- Matthew Wade, Health Security Agency, Reino Unido
- Iván Valenzuela, GORE Biobio.
- Bikram Subedi, Murray State University, Estados Unidos
- Audito Retamal, Ex Alcalde de San Pedro de la Paz, Chile
- Ximena Rincón, Presidenta del Senado de la República de Chile
- Rafael Araos, Minsal Chile
- Cristian Vergara, Gerente General de Essbio

El simposio internacional de Epidemiología basada en Aguas Residuales está disponible en la plataforma de youtube en los siguientes links:

- Primera Jornada

https://www.youtube.com/watch?v=OasV0aNI_II

- Segunda Jornada

<https://www.youtube.com/watch?v=tfWIKhGHn34>

Las alcantarillas son los intestinos de la ciudad ya que ellos reciben continuamente excrementos humanos que contienen las partículas virales diseminadas por humanos infectados.

La evidencia científica nos muestra que se pueden detectar restos de ARN del virus en las aguas servidas, por lo que se propone el test PCR de muestras de estas aguas como un indicador temprano y certero de la presencia de SARS-COV-2.

Usando las capacidades científico-tecnológicas de nuestra región, podremos monitorear la dinámica de propagación del virus, salvando vidas al evitar brotes en la comunidad.

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Gobierno de Chile
Seremi CTCI - Macrozona Centro Sur

¿POR QUÉ MEDIR EL VIRUS DEL COVID-19 EN AGUAS SERVIDAS?

Diseño: giro.cl

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Gobierno de Chile

MEDIR CORONAVIRUS EN AGUAS SERVIDAS USANDO NUESTRAS CAPACIDADES CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS

Una alerta temprana de infección por SARS-COV-2

Alcantarillado y plantas de tratamiento

- 1 Las partículas del virus ingresan a las aguas servidas a través de las heces.
- 2 Se toma una muestra compuesta de 24 hrs. de aguas servidas en las alcantarillas proveniente de la población.
- 3 La muestra se lleva a un laboratorio para que la analice.
- 4 Para determinar si el virus está presente, las partículas del virus se concentran en el laboratorio. Esto ocurre en una serie de etapas de centrifugado.
- 5 El ARN (material genético) se aísla de las partículas del virus y se purifica con un robot.
- 6 Debido a que el ARN de COVID-19 está presente en concentraciones muy bajas, primero debe multiplicarse para medirlo. Esta técnica se conoce como RT-PCR.
- 7 Los resultados obtenidos se entregan en un reporte de alerta, que permiten elaborar el Semáforo Comunal Poop COVID-19.
- 8 El semáforo informa el estado de cada sector, de acuerdo al comportamiento de la carga viral en los últimos 5 días.
- 9 Con este se pueden tomar decisiones para búsqueda activa, evitar brotes de COVID-19 y cuidar de ti y tu familia.

A diferencia de la prueba qPCR (con un hisopo de algodón en la nariz), las pruebas de las aguas servidas pueden determinar los niveles de la enfermedad en toda una población.

Semáforo Poop COVID-19
COMUNA: San Pedro de la Paz | FECHA SEMÁFORO: 18 de Mayo de 2021

SEMAFORO COMUNAL	SEMAFORO SECTORIAL
VERDE	VERDE: No hay riesgo de brote de COVID-19 en la comuna.
AMARILLO	AMARILLO: Hay riesgo de brote de COVID-19 en la comuna.
ROJO	ROJO: Hay riesgo de brote de COVID-19 en la comuna.

Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación - Macrozona Centro Sur

Material informativo de la vigilancia en aguas residuales

05

APRENDIZAJES Y RECOMENDACIONES



La experiencia de implementación de Centinela ha sido un reto para el ecosistema CTCl, el sector público y privado. Ha recorrido un camino útil para nuevas experiencias de este tipo, tanto para escalar esta estrategia de vigilancia en aguas residuales en otros lugares de Chile como también para levantar otras iniciativas público-privadas que permitan generar políticas públicas para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Es muy probable que el SARS-CoV-2 se transforme en virus endémico en los próximos años o bien aparezcan otros virus, otras pandemias, es por ello, que la instalación permanente de Centinela permitirá al país estar preparado para enfrentarla desde su inicio.

A continuación, hemos enumerado aprendizajes y recomendaciones que deja esta experiencia para futuras intervenciones o iniciativas.

Aprendizajes:

- Centinela es una herramienta de detección de virus, que permite determinar sectores de alta incidencia de contagios, es por ello, que puede ser considerado como una herramienta inteligente para enfrentar la emergencia de una pandemia.
- Centinela permite correlacionar los brotes de SARS-CoV-2 con cambios en la microbiota del agua servida, por lo tanto, la microbiota podría ser considerada como un indicador de la salud de la población. Este trabajo fue publicado en Science of the total Environment por Gallardo-Escárate et al., 2021 durante el piloto realizado en Chillán.
- Semáforo Poop COVID-19 fue la forma de difusión gráfica de información a la comunidad para facilitar la comprensión de los indicadores de carga viral. El semáforo fue beneficioso para las decisiones de las autoridades, ahorrando recursos en las estrategias de búsqueda activa, así como en la disposición del personal de salud y la prevención de brotes en zonas con alta carga de SARS-CoV-2.
- Se requería un ente articulador entre el sector público y la academia. Por un lado, el sector público no está acostumbrado a que las universidades, centros de investigación puedan dar soluciones a las necesidades del territorio en tiempo real, así como también los científicos tampoco están acostumbrados a lidiar con el ritmo del sector público. Es por ello, que el rol del

ministerio de ciencias fue fundamental para el éxito de instalación de Centinela.

- Centinela permitió generar protocolos de comunicación y acción ante alertas positivas entregadas por la vigilancia y mejoras en la logística de este tipo de operativos entre la seremi de ciencias y la seremi de salud.
- Se requiere fomentar la cultura de ciencia, tecnología e innovación en los Consejos Regionales, Concejos Municipales, pues su temor era financiar algo que no se había realizado antes en Chile.
- Involucrar al órgano legislativo para la generación de leyes que faciliten la innovación con infraestructura científica existente en tiempos de emergencia.
- Centinela no solo sirve para detección de virus en la población, sino que también detectar lo que se consume en medicamentos, drogas licitas e ilícitas. Es por ello, que junto con la brigada nacional de antinarcóticos de la Policía de Investigaciones se realizó un piloto en San Pedro de la Paz para determinar qué drogas licitas e ilícitas se

consumían durante la semana y fines de semana en territorios específicos. Los resultados fueron entregados a las entidades correspondientes: Senda, Subsecretaría de Prevención del delito y Gobernador Regional. Por lo tanto, también Chile adquirió experiencia y nuevo conocimiento en esa línea.

- La estrategia micro, es decir monitorear distintos puntos de la red de alcantarillado de un sector o de una comuna, permite obtener información territorial en alta resolución. Esto se traduce en que permite planificar búsquedas activas de manera eficiente, saber qué enfermedades aquejan a esa población en particular. En el caso de medicamentos o drogas licitas o ilícitas el tipo y cantidad de consumo en anonimato, así como también determinar si corresponde a un laboratorio de producción.
- La estrategia macro, es decir, monitorear una planta de tratamiento a nivel comunal o de una ciudad, tiene menos resolución, sin embargo, permite saber qué virus (en el caso de SARS-CoV-2 con anticipación a síntomas y el estado de inmunización de la población), drogas licitas e ilícitas están circulando.

Recomendaciones:

- Instalación de Centinela de manera permanente en una primera etapa en las regiones de Atacama, Antofagasta, Valparaíso, Región Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío y Los Lagos.
- Centinela debe ser una política pública donde las empresas sanitarias sean las encargadas de proveer la información. Imitando el modelo ya existente para el monitoreo de metales pesados, cloro, flúor, etc., en el agua potable que actualmente fiscaliza la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y promoviendo la colaboración con Universidades y centros de investigación regionales.
- Generar un Bio-banco de aguas residuales.
- Generar un banco de datos abierto con los resultados medidos.
- Crear un visualizador de datos obtenidos por Centinela para uso en la toma decisiones, convirtiéndose en una herramienta de ciudad inteligente.
- Los resultados obtenidos por Centinela sean parte del Epivigila, software utilizado por el Ministerio de Salud, como dato complementario de un sector o territorio, permitiendo así la organización de búsquedas activas.
- Adoptar la estrategia micro para una mayor eficiencia en el combate a la delincuencia y narcotráfico.
- Promover desarrollos tecnológicos para la mejora en la obtención de datos.
- Involucrar a la sociedad civil en el diseño, construcción e implementación de estudios de este tipo, generando mayor impacto en los usuarios, además del sector público, privado y la academia.
- Generar un mecanismo de vinculación entre una investigación financiada por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo y el sector público de interés ante una emergencia.



REFERENCIAS



2. Kumar et. al. (2020) First proof of the capability of wastewater surveillance for COVID-19 in India through detection of genetic material of SARS-CoV-2
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348555>
3. Hata et. al. (2021) Detection of SARS-CoV-2 in wastewater in Japan during a COVID-19 outbreak
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720371096>
4. Scott et. al. (2021) Targeted wastewater surveillance of SARS-CoV-2 on a university campus for COVID-19 outbreak detection and mitigation
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001393512100668X>
5. Ahmed, et. al. (2020). Detection of SARS-CoV-2 RNA in commercial passenger aircraft and cruise ship wastewater: a surveillance tool for assessing the presence of COVID-19 infected travelers
<https://academic.oup.com/jtm/article/27/5/taaa116/5871228?login=true>
6. Hasan, S. et. al. (2021). Detection and quantification of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and treated effluents: Surveillance of COVID-19 epidemic in the United Arab Emirates
7. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720364597>
8. Baldovin, T., et. al. (2021). SARS-CoV-2 RNA detection and persistence in wastewater samples: An experimental network for COVID-19 environmental surveillance in Padua, Veneto Region (NE Italy)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720368601>
9. Ahmed, W., et. al. (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.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720322816>
10. Westhaus, S. et. al. (2021). Detection of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in Germany – Suitability for COVID-19 surveillance and potential transmission risks.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720352797>
11. Kirby, A. et. al. (2021). Using Wastewater Surveillance Data to Support the COVID-19 Response – United States, 2020–2021
12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8437053/>
13. Daughton, C. (2020). Wastewater surveillance for population-wide Covid-19: The present and future

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972033151X>
14. Naughton et. al. (2021). Show us the Data: Global COVID-19 Wastewater Monitoring Efforts, Equity, and Gaps <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.03.14.21253564v1>
 15. Nghiem, L., et. al. (2020). The COVID-19 pandemic: Considerations for the waste and wastewater services sector [sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016420300049](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016420300049)
 16. Farkas, K., et. al. (2020) Wastewater and public health: the potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584420300404>
 17. Powell, W.W. 2007 " The New Institutionalism". In The International Encyclopedia of Organization Studies The International Encyclopedia of Organization Studies. Thousand Oaks, Ca.: Sage Publishers
 18. DiMaggio, Paul J. and Walter W. Powell. 1983. "The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields." American Sociological Review 48:147-160.
 19. Easton, D. (1953). The Political System, Alfred A. Knopf, Inc., Nueva York.
 20. Gallardo-Escárate, C., Valenzuela-Muñoz, V., Núñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D., Benavente, B.P., Sáez-Vera, C., Urrutia, H., Novoa, B., Figueras, A., Roberts, S., 2021. The wastewater microbiome: a novel insight for COVID-19 surveillance. Science of The Total Environment 764, 142867.



ANEXO 1

ORDEN CRONOLÓGICO DE PRINCIPALES HITOS





ANEXO 2

EQUIPO DE TRABAJO



Sector Academia



Aldo Gaggero Médico Veterinario, Director del Programa Virología del ICBM. Facultad de Medicina, Universidad de Chile y representante del Consorcio de Aguas Residuales Universitarias.

Claudia Ibacache, Químico Farmacéutico de la Universidad de Valparaíso, Doctora en Microbiología por la Universidad Autónoma de Madrid y actualmente directora del Centro de Micro-Bioinnovación de la Universidad de Valparaíso.

Cesar Echeverria Bioquímico, Doctor en Biociencias Moleculares. Director de investigación y Director técnico del Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad de Atacama.

Aiko Adel, Médico Veterinario de la Universidad Mayor, Magister en Medicina Veterinaria Preventiva (MPVM), PhD en Patología Comparada, ambos posgrados de la Universidad de California, Davis, EE. UU. Actualmente es Profesor Asociado de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Andrés Bello. La Dra. Adell es la directora alterna del proyecto de la ANID, en el concurso de Asignación Rápida de Recursos para Proyectos de Investigación sobre el Coronavirus (COVID-19) (# de proyecto: COVID0460.

Matías Hepp es Bioquímico y Doctor en Ciencias Biológicas. Docente del departamento de Ciencias Básicas de la Facultad de Medicina e Investigador Principal de la unidad de epigenética e inmunoterapia del Laboratorio de Investigación en Ciencias Biomédicas de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Se ha especializado en regulación transcripcional, así como en diferentes áreas de la Biología Molecular y Celular. A partir de enero del 2021 fue Director de la detección de SARS-CoV-2 en aguas residuales.

Andressa Reis, Bióloga, Magister en Ecología (UFScar/Brasil). PhD en Ecología (UFJF/Brasil) con intercambio en Griffith University (Australia). Fue investigadora en los proyectos de Semáforo-Poop en San Pedro de la Paz y en la Región del Biobío. Actualmente es directora alterna del Centro de Vigilancia de Aguas Residuales, Centinela Biobío en la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Jorge Olivares se desempeña como Profesor Asociado de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. Es Biólogo de la misma casa de estudios y cuenta con una maestría y un doctorado en Biología Molecular y Celular por la Universidad Autónoma de Madrid, España. Es investigador Asociado del núcleo milenio Microb-R y su principal línea de investigación es el rol que tienen los ambientes acuáticos en la diseminación y emergencia de Bacterias Resistentes a los Antibióticos

Cristian Gallardo, Biólogo Marino de la Universidad Católica del Norte. Doctorado en Acuicultura de CICESE, Baja California, México. En 2006 se integró a la Universidad de Concepción, lidera el laboratorio de Biotecnología y Genómica Acuícola, se especializa en estudios genómicos de organismos marinos. Desde el año 2012 el Dr. Gallardo-Escárte es el subdirector del centro de excelencia INCAR financiado por ANID (ex CONICYT) a través del programa del Fondo de Áreas Prioritarias (FONDAP).

Homero Urrutia, Biólogo Universidad de Chile, Microbiólogo Ambiental UdeC, Profesor Titular. Se especializa en Interacciones biológicas y la ecología molecular de comunidades microbianas (Arqueas Bacterias), adheridas a superficies (biopelículas) como herramientas conceptuales para desarrollar aplicaciones tecnológicas en el medio ambiente y la industria.

Valentina Valenzuela, Ingeniero civil en Biotecnología de la Universidad San Sebastián, y posee un Magister en Bioquímica y Bioinformática Universidad de Concepción y un Doctorado en Ciencias con mención en Manejo de recursos acuáticos renovables. Actualmente tiene proyecto Fondecyt Postdoctoral bajo el patrocinio de la UNAB-RP2 y además es Investigadora adjunta de la RP1 del INCAR.

Alejandro Jara, Profesor de Estadística en el Departamento de Estadística de la Universidad Católica de Chile. M.Sc. en Estadística de la Universidad Católica de Chile y Ph.D. en Ciencias (Matemáticas) de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica). Actual Director del Centro para el Descubrimiento de Estructuras en Datos Complejos MIDAS, Iniciativa Científica Milenio.

Mauricio Castro, Profesor Asociado del Departamento de Estadística de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctorado en Estadística en el Departamento de Estadística de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Lic. en Estadística e Informática en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Miembro del Centro para el Descubrimiento de Estructuras en Datos Complejos MIDAS, Iniciativa Científica Milenio.

José Verschae, Ingeniero Matemático de la Universidad de Chile, Doctorado en TU Berlín, y actual profesor asociado del Instituto de Ingeniería Matemática y Computacional de la UC (IMC) y Director Curricular en el IMC. Su principal área de investigación es la aproximación y los algoritmos en línea, principalmente para problemas de programación y diseño de redes.

Sector privado



Cristian Vergara, Ingeniero Comercial, Licenciado en Innovación de la Universidad Federico Santa María y Magíster en Administración de Empresas de la Universidad Católica de Valparaíso. Ha desarrollado su carrera profesional en la industria sanitaria chilena con más de 23 años de experiencia en el sector. Actualmente se desempeña como CEO de Essbio S.A. Ha sido expositor en la semana del agua de Rio en Rio de Janeiro, el 2018, Latinosan en San José, Costa Rica en 2019 y Co-Chair in Water congress Chile de 2020.



Eduardo Wallach, Ingeniero Comercial de la Universidad de los Andes, MBA del ESE Business School y Master of Science in Management de Stanford. Actualmente es CEO y socio de Kura Biotech, empresa chilena de biotecnología, líder mundial en el desarrollo y producción de reactivos enzimáticos para la detección de drogas, con clientes como Clínica Mayo, el FBI y los Juegos Olímpicos.



Eduardo Araya, Ingeniero civil Industrial, Universidad del Bío-bío. Actualmente Subgerente comercial Biodiversa.

Sector Público



Paulina Assmann, Física con especialización en Astrofísica, Doctorada en Física de la Universidad de Concepción y en cotutela con la Universidad de Leceister, Inglaterra. Cuenta además con postdoctorado en Astrofísica teórica en la Universidad de Concepción, Universidad de Chile y Observatorio Nacional de China. Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de la macrozona centro sur.

Marta Bravo, Seremi de Salud de Ñuble 2018-2021 y diputada electa de la región de Ñuble.

Martin Arrau, intendente de la región de Ñuble entre 2018 y 2020. Actual constituyente por la región de Ñuble.

Héctor Muñoz, Químico Farmacéutico, Seremi de Salud región del Biobío 2018-2021.

Patricio Kuhn, Delegado Presidencial de la Región del Biobío.

Rodrigo Diaz, Gobernador de la Región del Biobío 2021.

Audito Retamal, Ex alcalde de San Pedro de la Paz, Profesor normalista, Concejal de la comuna de San Pedro de la Paz durante dos periodos, los años 2000 y 2004. El año 2008 fue electo como Alcalde de dicha comuna, cargo en el cual se desempeñó desde el 6 de diciembre del año 2008 hasta el 28 de junio de 2021.

ANEXO 3

SIMPOSIO INTERNACIONAL



Primera Jornada 20 de Enero 2022

1. Aplicación de la Epidemiología basada en Aguas Residuales (WBE) en virus con énfasis en SARS CoV-2.

Marize Miagostovich

Jefa del Laboratorio de Virología Comparada y Ambiental del Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz, Rio de Janeiro, Brasil.

En la primera parte de su presentación expuso una visión general de los virus que se han estudiado en aguas residuales (fundamentalmente virus entéricos) y para luego mostrar los datos obtenidos por el estudio de detección de genoma de SARS-CoV-2 que realizaron en la ciudad de Niteroi durante el año 2020 y parte del 2021. Los resultados que obtuvieron demostraron el impacto que tiene la aplicación de WBE, y como estos datos pueden ser usados por la autoridad sanitaria para el manejo de la pandemia.

2. Aplicaciones de la WBE, cual es la vigilancia en aguas residuales de la Resistencia Antimicrobiana.

Dr. Marcos Quintela-Baluja

Investigador senior de la U. de Newcastle y U. Santiago de Compostela.

Este es un tema de enorme impacto en la Salud Pública mundial y bastante complejo de implementar. En este caso, no detectaron un solo patógeno, sino que detectaron muchos genes de resistencia microbiana cuya diversidad es muy alta y que están en diferentes hospedadores. Estos genes se mueven y diseminan en el medio ambiente alrededor del mundo. Lo que se observa actualmente es que están aumentado los mecanismos de resistencia antimicrobiana, los que se traspasan entre bacterias diferentes, pero a su vez, no somos capaces de generar nuevos antibióticos, o bien los nuevos que aparecen, en poco tiempo se genera resistencia contra ellos.

3. Detección de sustancias de abuso lícitas e ilícitas.

José Benito Quintana, Profesor titular de la U de Santiago de Compostela, España.

Presentó otras aplicaciones que tiene la vigilancia de las aguas residuales, en este caso, la detección de sustancias de abuso, tanto lícitas como ilícitas.

Mostró interesantes resultados de la detección de alcohol, nicotina, anfetaminas, cocaína, en diferentes ciudades de España. Lo interesante de esta técnica, es que permite conocer

indirectamente (sin tener que tomar muestras individuales a la población), cómo es el consumo de diferentes compuestos en la población (drogas, alcohol, etc.), lo que entrega datos para generar estrategias o acciones que permitan mejorar estos temas en la población.

4. Aplicación de la vigilancia en aguas residuales en la región del Biobío y experiencias del consorcio a nivel nacional

Dr. Matías Hepp. Profesor Asistente de la U. Católica de la Santísima Concepción, integrante del Consorcio de Laboratorios Universitarios de Aguas Residuales.

La aplicación de la vigilancia en aguas residuales en la región del Biobío, orientado a la detección de genoma de SARS-CoV-2 se enfocó en una estrategia macro (muestreo en plantas de tratamiento) y micro (muestreo en red alcantarillado) que implementaron en la región del Biobío y presentó los resultados de la detección del virus durante el año 2021, además identificando las variantes circulantes. Los resultados reafirmaron que esta metodología es una herramienta

predictiva en cuanto a la aparición de brotes y nuevas variantes, ya que la presencia de genoma viral se correlaciona con los casos activos y la antecede. Implementar esto fue un enorme esfuerzo y la idea es replicarlo a través del país.

5. Importancia de los laboratorios en la aplicación de vigilancia en aguas residuales.

Dr. Vicente Catalán, Director de innovación en los laboratorios de Suez en España.

El Dr. Catalán habló de un tema de gran importancia, que es el papel que tienen los laboratorios en la aplicación de vigilancia en aguas residuales.

Comentó los retos para los laboratorios, analizando el método analítico (desde el proceso de muestreo a la comunicación de la información).

Planteó el desafío que significa implementar y sustentar en el tiempo estos análisis y no solamente en momentos de crisis, como es el caso de la actual.

Segunda Jornada 21 de Enero 2022

1. Estrategia de Detección de Aguas Residuales en Reino Unido.

Matthew Wade, UK Health Security Agency.

Se referencia a un estudio realizado en distintos lugares de Reino Unido, entre ellos, hogares de ancianos, universidades y fábricas de alimentos.

El análisis comprendió 470 sitios por todo Inglaterra donde se hacen test entre 4 a 7 veces a la semana, los cuales abarcan el 70% de la población. Este seguimiento, según señaló Matthew Wade permitió obtener parámetros de comparación de las aguas residuales entre una región y el país completo. Se refirió a la importancia del estudio de las aguas residuales en Reino Unido debido a la alta y rápida mutación del SARS-CoV-2 y sus variantes. Sin embargo, Wade fue enfático en señalar que es vital entender cuándo las aguas residuales son confiables o no, proceso que es de alta complejidad, pero que debe ser exhaustivo debido a la fidelidad que arrojan los datos en las muestras y la inferencia que estos resultados tienen en la toma de decisiones de las autoridades.

2. Centinela en la Región del Biobío

Iván Valenzuela, jefe de División de Fomento e Industrias, en representación del Gobernador de la Región del Biobío, Rodrigo Díaz.

Se refirió a la importancia de que las políticas públicas apoyen este tipo de investigación y desarrollo, según las experiencias de otros países y lo que se ha realizado en la Región del Biobío, se evidencia que es importante tomar medidas para gestionar las aguas residuales de una manera más inteligente, ya que traen beneficios directos para la gente. planteó la necesidad de crear planes de trabajo para abordar esta temática y otras en el área de la ciencia y la tecnología, que permitan de esta manera fortalecer productos y servicios que se generan a través de la innovación y al servicio de la comunidad.

3. Estudios en Drogas licitas e Ilícitas como política pública

Dr. Bikram Subedi, Associate Professor of Analytical Chemistry, Murray State University.

Se refirió a un Estudio de consumo de drogas en Australia, tomando como muestras el consumo en distintas regiones de país (rural, urbana, etc.), para

ello se utilizó el protocolo analítico de SCORE para ver el consumo de drogas a través de las aguas residuales, mediante el cual se evidenció poca cantidad de drogas encontradas.

Durante el estudio se observó un aumento de muertes por sobredosis, las cuales comenzaron a ascender a principios de la pandemia que se vive a nivel mundial. Además, se detectó que las principales drogas consumidas por los australianos son los opioides, opioides sintéticos, psicoestimulantes, cocaína y metanfetaminas.

- Avanzar en el impacto clínico que pueda tener la vigilancia de aguas servidas.
- Creer y apoyar a la ciencia y los actores científicos que posee el país.
- Proteger a la población mediante la creación de políticas públicas basadas en los aportes de la ciencia, lo que además aporta a crear confianza por parte de la sociedad ante distintos actores.

Conversatorio

Los invitados abordaron las siguientes temáticas durante la conversación:

- El estudio de las aguas residuales posee un gran potencial para la obtención de información relevante respecto a la salud pública.
- Aprovechar que Chile tiene sobre el 95% en cobertura en recolección y 99% en tratamiento de aguas servidas, lo que facilita el estudio en esta materia.
- La creación de un Repositorio de agua es fundamental para la toma de decisiones, para la salud pública y el análisis de la resistencia antimicrobiana, entre otros.



COORDINACIÓN GENERAL Y REDACCIÓN

Paulina Assmann

José Vallejos

Andressa Reis

Natacha Romero

Valentina Valenzuela

Aldo Gaggero

Jorge Olivares

Marzo 2022



Seremi de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Macrozona Centro Sur