



Informe de resultados del monitoreo de compuestos orgánicos volátiles en aire

Periodo Enero - Junio de 2024



1. Contenido

1.	Contenido	2
2.	Resumen ejecutivo	3
3.	Antecedentes.....	5
4.	Resultados	8
4.1.	Muestreo con canister	9
4.1.1.	BTEX	9
4.1.2.	Otros COVs (cuantificables)	11
4.1.3.	Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)	12
4.2.	Muestreo pasivo urbano.....	14
4.2.1.	BTEX	15
4.2.2.	Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)	20
4.3.	Muestreo pasivo industrial	23
4.3.1.	BTEX	23
4.3.2.	Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)	25
4.4.	Mediciones BTEX con equipos PyxisGC	28
4.4.1.	Determinación de Benceno	28
4.4.2.	BTEX	32
5.	Conclusiones.....	35
6.	Definiciones	37
7.	Abreviaturas	37



2. Resumen ejecutivo

Este informe presenta los resultados del “Programa de muestreo, medición y análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en Concón, Quintero y Puchuncaví (Región de Valparaíso)” entre el 01 de enero de 2024 y el 30 de junio de 2024, por parte del Laboratorio de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante “LSMA”) y de la Delegación Quintero-Puchuncaví de la Oficina Regional de Valparaíso de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante “SMA”). Dicho programa considera los siguientes planes de monitoreo, los que durante todo el período informado suman un total de 30 puntos de muestreo y medición:

- Muestreo con Canister: muestreo puntual con canister.
- Campaña de muestreo pasivo urbano: muestreo pasivo con tubos adsorbentes.
- Campaña de muestreo pasivo industrial: muestreo pasivo con tubo adsorbentes.
- Mediciones continuas de BTEX: mediciones con equipos PyxisGC.

Los resultados de los **muestreos con canister**, presentaron una concentración promedio de benceno de $2,17[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ y un máximo de $2,71[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, para los 6 muestreos en los 3 puntos de muestreo del primer semestre 2024. A la fecha se han encontrado 11 COVs cuantificables y 13 COVs no cuantificables (expresados en concentraciones equivalentes de tolueno).

Los resultados de la **campaña de muestreo pasivo urbano**, realizada en la Quintero-Puchuncaví, muestran que la concentración promedio global de benceno¹ es de $0,84[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El punto que registra menor promedio de concentración de benceno se encuentra en Calle Norte 17 - 59 (PU-2), con un valor de $0,55[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; por su parte, el mayor promedio de concentración de benceno, correspondiente al punto ubicado en Av. Los Álamos 2237 (PU-10), es de $1,06[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. En cuanto al total de compuestos BTEX, se observa que Av. Los Álamos 2237 (PU-10) presenta el mayor promedio de concentración BTEX: $18,52[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, mientras que el punto ubicado en Calle Norte 17 - 59 (PU-2) presenta el menor promedio de concentración, con $2,71[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Durante el desarrollo de la campaña, se han identificado 14 compuestos orgánicos volátiles (COVs) distintos a los BTEX, en 9 puntos de muestreo.

Por su parte, los resultados de la **campaña de muestreo pasivo urbano**, realizada en la zona urbana de Concón, muestran que la concentración promedio global de benceno² es de $1,29[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El punto que registra el menor promedio de concentración de benceno se encuentra en Los Totorales 197 (CC-5), con un valor de $0,81[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; por su parte, el mayor promedio de concentración de benceno es de $2,26[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, correspondiente al punto ubicado en San Agustín 1318. En cuanto al total de compuestos BTEX, se observa que San Agustín 1318 (CC-1) presenta la concentración promedio total más alta: $20,56[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, mientras que el punto ubicado en Los Totorales 197 (CC-5) presenta la concentración

¹ Calculada como la media de las concentraciones promedio por punto de muestreo para el período informado.

² Calculada como la media de las concentraciones promedio por punto de muestreo para el período informado.



promedio total más baja, con $5,22[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Durante el desarrollo de la campaña, se han identificado 10 compuestos orgánicos volátiles (COVs) distintos a los BTEX, en 5 puntos de muestreo.

Los resultados de la **campaña de muestreo pasivo industrial** presentan un promedio global de concentración de benceno³, para el período reportado de $1,24[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El mayor promedio de concentración de benceno se ubica en FL-C1 y corresponde a $2,51[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Este punto destaca por la gran cantidad de COVs identificados y altas concentraciones de otros COVs en comparación con los otros puntos de muestreo. La menor concentración promedio se registró en FL-E5 con un valor de $0,72[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. En cuanto a las concentraciones totales de BTEX, el punto FL-C1 destaca por su alta concentración y gran variabilidad de los registros.

Los resultados de las actividades de **medición de BTEX con equipos PyxisGC**, presentan un promedio global de concentración horaria de benceno, en Quintero y Puchuncaví, de $0,32[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Para el caso de Concón, promedio global de concentración horaria de benceno es de $0,73[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El punto con el mayor promedio de concentración horaria de benceno corresponde al ubicado en Jardín Infantil Conconcito (con un promedio de $0,76[\mu\text{g}/\text{m}^3]$). La máxima concentración horaria de benceno se registró en el equipo ubicado en Complejo Educacional Sargento Aldea y corresponde a un valor de $16,04[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, seguido por el punto ubicado en Jardín Infantil Conconcito (CC-3). No se registraron concentraciones horarias de benceno superiores a $30[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, valor asociado al nivel de alerta de la norma primaria de calidad del aire para benceno (D.S: N°5/2023 del Ministerio del Medio Ambiente).

³ Calculado como la media de las concentraciones promedio por punto de muestreo para el período informado.



3. Antecedentes

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), se emiten a la atmósfera en forma de gas, ya sea a partir de fuentes de origen antrópico (debido a actividades industriales y domiciliarias) como natural (biogénicas). Dentro de las principales fuentes de origen antrópico se encuentra la combustión de combustibles fósiles o de biomasa y el uso de productos químicos como refrigerantes, solventes, pinturas, cosméticos, barnices, entre otros. Las emisiones de COVs de origen biogénico están asociadas a la vegetación, suelo y océano.

El objetivo de este informe es presentar un resumen de los resultados de las actividades de muestreo, medición y análisis realizadas por el Laboratorio de la SMA, en Concón, Quintero y Puchuncaví, del cual se desglosan los siguientes objetivos específicos: Identificar los COVs en las zonas de estudio, enfocándose en benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos. Cuantificar las concentraciones de los COVs y proporcionar información detallada de los niveles. Estimar la contribución de otros COVs en las áreas de estudio de manera semicuantitativa. Describir patrones temporales del benceno en el aire, utilizando datos del muestreo pasivo y mediciones automáticas. Identificar zonas con mayor presencia y concentración de COVs.

Teniendo en cuenta los objetivos mencionados, el presente informe consolida los resultados prospectivos de muestreo, medición y análisis de los Compuestos Orgánicos Volátiles obtenidos durante el primer semestre del año 2024, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, de la Región de Valparaíso. Se trata de un informe de carácter descriptivo que se enfoca en la identificación y cuantificación de COVs desde una perspectiva espacial y temporal. Es importante mencionar que los resultados no se comparan directamente con la normativa de calidad del aire por lo que no están destinados a ser utilizados para verificar el cumplimiento de normas de calidad del aire, más bien es corresponden a un insumo para la planificación de fiscalizaciones ambientales, en el marco del seguimiento de la calidad del aire de la zona, realizado por esta Superintendencia.

La toma de muestras en aire es realizada mediante la utilización de dos tipos de dispositivos: canister y tubo adsorbente, basado en los métodos EPA para gases tóxicos TO-15A y TO-17, respectivamente. Estas técnicas de muestreo permiten contener y retener los COVs presentes en el aire para posteriormente ser analizados en el laboratorio. Ambos dispositivos, previo a ser usados en terreno, deben pasar por un riguroso proceso de limpieza y verificación para asegurar su correcto funcionamiento. Por su parte, el análisis de las muestras, provenientes de canister y de tubos de adsorción, es realizado mediante la técnica analítica de desorción térmica acoplado a cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas (TD-GCMS). Un mayor detalle de cada metodología puede encontrarse en el informe emitido por la SMA para el año 2023, disponible en el siguiente [enlace](#)⁴.

Un resumen de los puntos de muestreo y cantidad de muestras gestionadas por el laboratorio de la SMA, se presenta en la Tabla 1.

⁴ <https://portal.sma.gob.cl/index.php/sma-publica-informe-de-resultados-del-monitoreo-de-compuestos-organicos-volaticos-en-aire-de-las-comunas-de-concon-quintero-y-puchuncavi-2023/>



Tabla 1: Resumen de las actividades de muestreo del Laboratorio SMA 2024.

Responsable de muestreo	Objetivo del muestreo	Zona	Tipo muestreo	N° de muestras	N° de informes	N° puntos de muestreo
Laboratorio SMA	Campaña Industrial	--	Pasivo	42	7	6
		Concón	Pasivo	35	7	5
		Loncura	Pasivo	24	13	2
	Campaña Urbana	Puchuncaví	Pasivo	13	13	1
		Quintero	Pasivo	37	13	3
		Ventanas	Pasivo	39	13	3
Oficina Regional Valparaíso	Muestreo con Canister	--	Puntual	6	5	3

La cantidad de puntos de muestreo pasivo, así como la ubicación de algunos de ellos, se modificó respecto de lo realizado en el año 2023. En el caso del muestreo pasivo urbano, en Loncura se modificó la ubicación del punto existente, y se agregó un punto adicional, quedando con 2 puntos de muestreo (PU-9 y PU-10); por su parte, en Quintero, 2 puntos de muestreo fueron reemplazados por nuevas ubicaciones, priorizando su instalación en sitios donde operan equipos PyxisGC (por lo que en los resultados 2024 se reporta 1 resultado para los puntos PU-6 y PU-7 y se suman los puntos PU-11 y PU-12, instalados junto a los equipos PyxisGC). En las demás zonas todos los otros puntos mantuvieron su ubicación.

Por otro lado, en el caso del muestreo pasivo industrial, durante el año 2024, se realizó una reestructuración de los puntos de muestreo del año 2023. Tras una revisión de los resultados, se decidió mantener 3 puntos estratégicos: aquellos que mejor representaban las condiciones en los límites industriales cercanos a zonas urbanas, dentro de los cuales un punto presentó las mayores concentraciones y diversidad de COVs en comparación con los otros puntos. Adicionalmente, se incorporaron 3 nuevos puntos seleccionados con base en un diseño estadístico que considera los niveles encontrados y que buscan representar las condiciones costeras y de la zona industrial intermedia en el Camino Playa el Bato.

En el caso de las mediciones con equipos PyxisGC, La Tabla 2, presenta la cantidad de datos validados de promedios horarios de concentración de BTEX.

Tabla 2: Resumen de las actividades de medición del Laboratorio SMA 2024.

Objetivo	Zona	Tipo medición	Puntos de medición	Datos validados
Medición PyxisGC	Concón	Continua	2	26.075
	Puchuncaví		2	24.556
	Quintero		3	41.061
Total			7	91.692

Un resumen de los puntos de muestreo y medición se presenta en la Tabla 3

Tabla 3: Puntos de muestreo y medición 2024

Objetivo	Id	Ubicación	Comuna	Latitud	Longitud
Muestreo con Canister	-	ESCUELA REPÚBLICA DE FRANCIA	Quintero	-32,79080	-71,53038
Muestreo con Canister	-	CESA	Puchuncaví	-32,74275	-71,48481
Muestreo con Canister	-	LA GREDA	Puchuncaví	-32,74821	-71,47673



Objetivo	Id	Ubicación	Comuna	Latitud	Longitud
Muestreo Pasivo Urbano	CC-1	SAN AGUSTÍN 1318	Concón	-32,92375	-71,50984
Muestreo Pasivo Urbano	CC-2	SAN AGUSTÍN 390	Concón	-32,92357	-71,52185
Muestreo Pasivo Urbano	CC-3	JARDÍN INFANTIL CONCONCITO	Concón	-32,93301	-71,51559
Muestreo Pasivo Urbano	CC-4	LA PINTA 260	Concón	-32,93307	-71,53479
Muestreo Pasivo Urbano	CC-5	LOS TOTORALES 197	Concón	-32,94496	-71,53682
Muestreo Pasivo Urbano	PU-1	COLEGIO GENERAL VELÁSQUEZ	Puchuncaví	-32,72643	-71,41670
Muestreo Pasivo Urbano	PU-10	AV. LOS ÁLAMOS 2237	Quintero	-32,79061	-71,50807
Muestreo Pasivo Urbano	PU-11	ESTACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE CENTRO QUINTERO	Quintero	-32,78766	-71,53228
Muestreo Pasivo Urbano	PU-12	COLEGIO ALONSO DE QUINTERO - SEDE BAQUEDANO	Quintero	-32,77550	-71,53296
Muestreo Pasivo Urbano	PU-2	CALLE NORTE 17 - 59	Puchuncaví	-32,72149	-71,49019
Muestreo Pasivo Urbano	PU-3	ESTACIÓN DE MONITOREO VENTANAS	Puchuncaví	-32,74190	-71,48091
Muestreo Pasivo Urbano	PU-4	ESTACIÓN DE MONITOREO LA GREDA	Puchuncaví	-32,74855	-71,47479
Muestreo Pasivo Urbano	PU-8	PASAJE 8	Quintero	-32,80105	-71,53381
Muestreo Pasivo Urbano	PU-9	YUNGAY 1454	Quintero	-32,78414	-71,50008
Muestreo Pasivo Industrial	FL-C1	FL-C1	Quintero	-32,78077	-71,49509
Muestreo Pasivo Industrial	FL-E5	FL-E5	Quintero	-32,78557	-71,48628
Muestreo Pasivo Industrial	FL-E8	FL-E8	Quintero	-32,78463	-71,49172
Muestreo Pasivo Industrial	IND-4 / RUTA F-188	IND-4 / RUTA F-188	Quintero	-32,77869	-71,48671
Muestreo Pasivo Industrial	IND-5 / RUTA F-188	IND-5 / RUTA F-188	Quintero	-32,77634	-71,48913
Muestreo Pasivo Industrial	IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	Quintero	-32,77612	-71,49528
Medición PyxisGC	Pyxis 01	Estación de Calidad del Aire Centro Quintero	Quintero	-32,78766	-71,53228
Medición PyxisGC	Pyxis 02	Estación de Calidad del Aire Ventanas - Fundación las Rosas	Puchuncaví	-32,74183	-71,48090
Medición PyxisGC	Pyxis 03	Escuela Puente Colmo	Concón	-32,93374	-71,43950
Medición PyxisGC	Pyxis 04	Jardín Infantil Conconcito	Concón	-32,93301	-71,51559
Medición PyxisGC	Pyxis 05	Escuela República de Francia	Quintero	-32,79106	-71,53059
Medición PyxisGC	Pyxis 06	Complejo Educacional Sargento Aldea	Puchuncaví	-32,74305	-71,48526
Medición PyxisGC	Pyxis 07	Colegio Alonso de Quintero - Sede Baquedano	Quintero	-32,77550	-71,53296



4. Resultados

La distribución temporal de las actividades de muestreo y medición en Concón, Quintero y Puchuncaví se presentan en la Figura 1, donde cada color representa una actividad de muestreo o medición de acuerdo a la fecha de inicio y término de la actividad (para todos los puntos de muestreo/medición), según corresponda⁵:

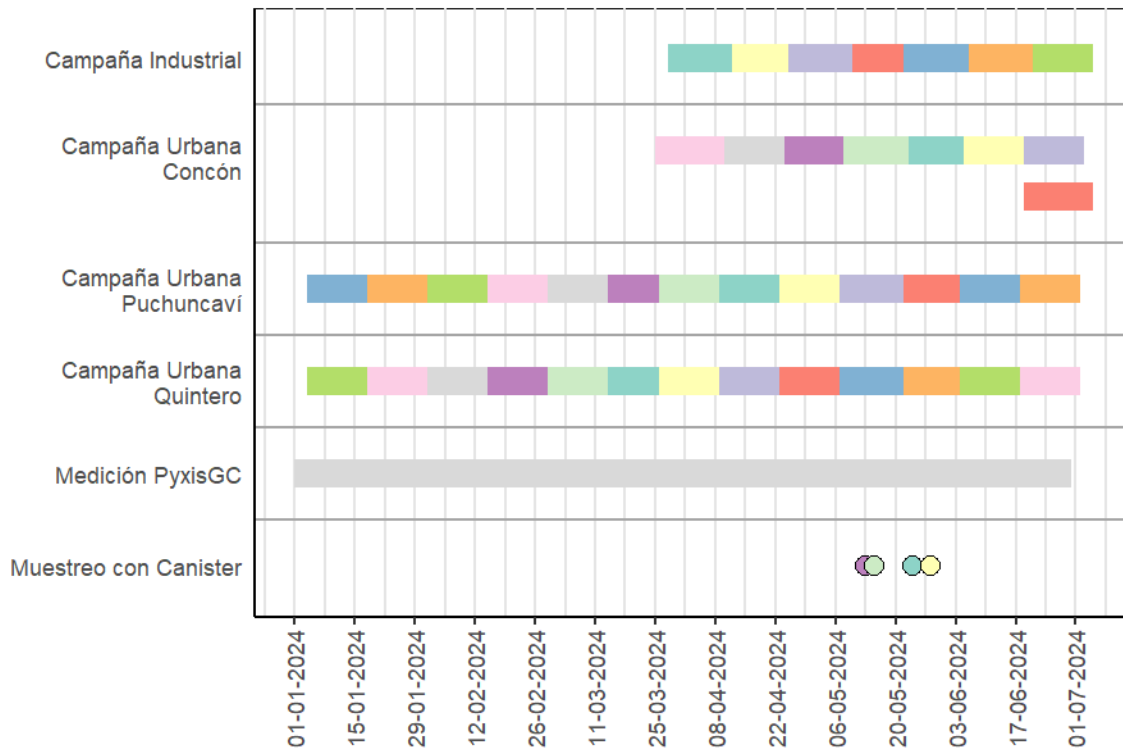


Figura 1: Distribución temporal de las actividades de muestreo y medición en Concón, Quintero y Puchuncaví - 2024.

⁵ En el caso de Concón, un período de muestreo en uno de los sitios fue mayor al de los otros puntos, dentro del margen de muestreo establecido, por lo que se presenta un color en paralelo a la secuencia de muestreo original.



4.1. Muestreo con canister

4.1.1. BTEX

El muestreo con canister responde a condiciones puntuales en diferentes zonas que permitan complementar las mediciones continuas con Pyxis y las mediciones de muestreos pasivos con tubos adsorbentes.

Durante el primer semestre del año 2024 se ha tomado un total de 6 muestras de canister en zona urbana, en 3 puntos de muestreo de Quintero y Puchuncaví.

Los resultados de las concentraciones de BTEX para cada evento de muestreo con canister se muestran en la Tabla 4. En cuanto a frecuencia y nivel de concentración, benceno y tolueno son los compuestos que predominan, respecto de los otros compuestos.

Tabla 4: Muestreo con canister 2024 - Concentración de BTEX Total en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

Zona	Comuna	Ubicación	Fecha muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos
Urbana	Puchuncaví	CESA ¹	2024-05-24 12:40:00	<LCM	1,93	<LCM	<LCM
		LA GREDA ²	2024-05-24 13:15:00	2,35	3,70	<LCM	<LCM
	Quintero	ESCUELA REPÚBLICA DE FRANCIA	2024-05-13 16:36:00	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
		ESCUELA REPÚBLICA DE FRANCIA	2024-05-15 14:30:00	<LCM	1,89	<LCM	<LCM
		ESCUELA REPÚBLICA DE FRANCIA	2024-05-24 13:20:00	2,71	9,52	3,52	8,63
		ESCUELA REPÚBLICA DE FRANCIA	2024-05-28 11:05:00	1,45	2,05	<LCM	<LCM

¹Muestreo en vía pública, cercano a Complejo educacional Sargento Aldea (CESA).

²Muestreo en vía pública, en sector La Greda Baja, en punto de intersección con ruta F-30-E.

<LCM: Concentración menor al límite de cuantificación del método.

Las concentraciones de benceno, que forman parte de los BTEX, en la zona urbana, no superan los $2,71[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

En algunos casos se registran valores expresados como “<LCM”, indicando que sus concentraciones están por debajo del límite de cuantificación del método, por lo que si bien son detectables, no llegan a ser cuantificados en el rango de calibración del método analítico.

El benceno fue detectado por encima del límite de cuantificación en la mitad de los sitios muestreados, con un valor máximo de $2,71[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en la Escuela República de Francia el 24 de mayo de 2024. Por su parte, el tolueno se encontró en casi todas las ubicaciones, alcanzando hasta $9,52[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en la misma



escuela el 24 de mayo. Etilbenceno y Xilenos generalmente estuvieron por debajo del límite de cuantificación, excepto en la Escuela República de Francia el 24 de mayo.

En general, de los 6 muestreos realizados en el primer semestre 2024, los resultados demuestran que los muestreos realizados en la Escuela República de Francia en Quintero presentaron las concentraciones más altas de BTEX.

En la Figura 2 se presentan la distribución espacial de la concentración de benceno en Quintero y Puchuncaví, para muestras recolectadas con canister⁶.

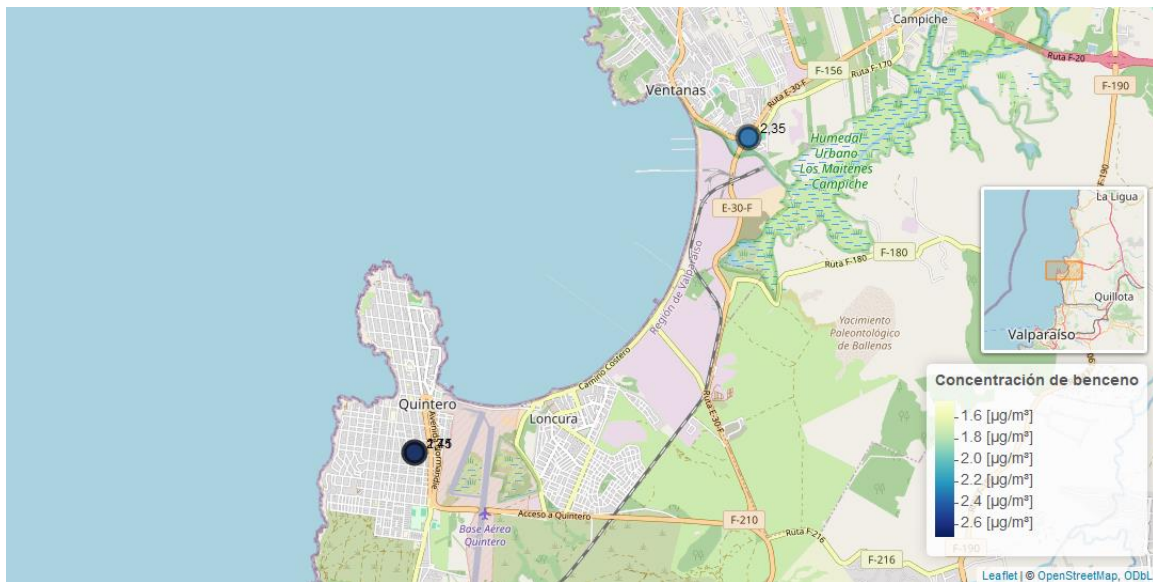


Figura 2: Mapa de concentraciones de benceno en muestras de canister - Quintero-Puchuncaví

Asimismo, las concentraciones de BTEX⁷ para los puntos de muestreo ubicados en las comunas de Quintero y Puchuncaví, se muestran en la Figura 3.

⁶ Para los muestreos que presentan valores de concentraciones mayores al LCM.

⁷ Calculado como la suma de las medias de cada compuesto BTEX por sitio de muestreo.



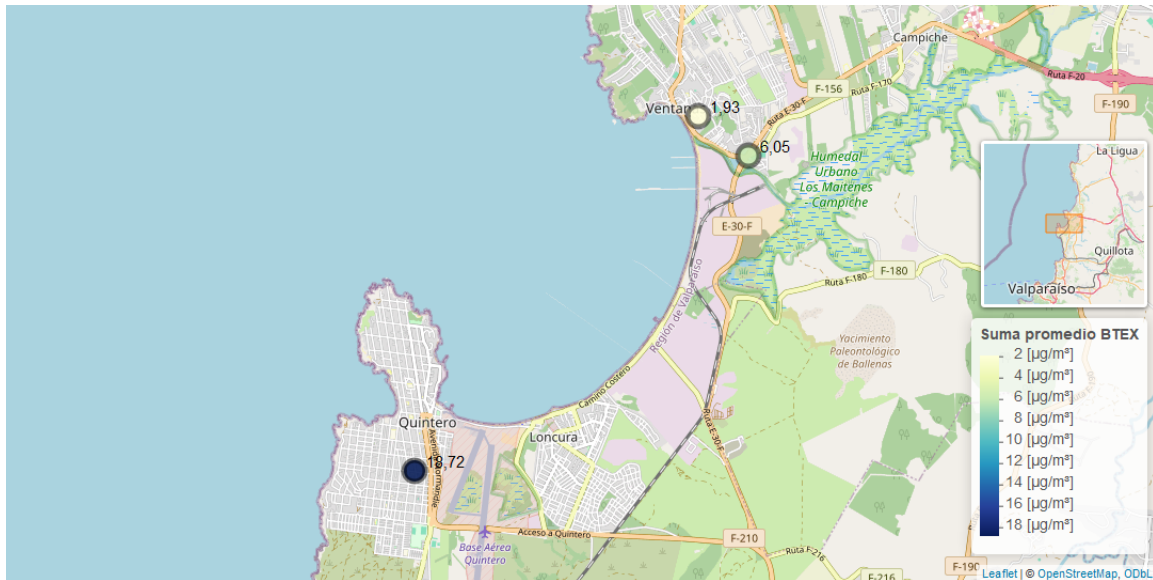


Figura 3: Mapa de concentraciones de BTEX en muestras con canister - Quintero-Puchuncaví

4.1.2. Otros COVs (cuantificables)

Además de los compuestos BTEX, el laboratorio ha validado la metodología de análisis para la cuantificación de 17 analitos, a partir de muestras recolectadas con canister.

En la zona urbana de Quintero se han identificado 8 COVs del tipo hidrocarburos (distintos de BTEX), mientras que en Puchuncaví, se han registrado 10 COVs. Durante el primer semestre no se tiene muestreo con canister en la zona industrial ni en Concón.

El día 24 de mayo se identificaron 7 compuestos que se repitieron en distintos puntos de muestreo de Quintero y Puchuncaví, como se muestra en la Figura 4.



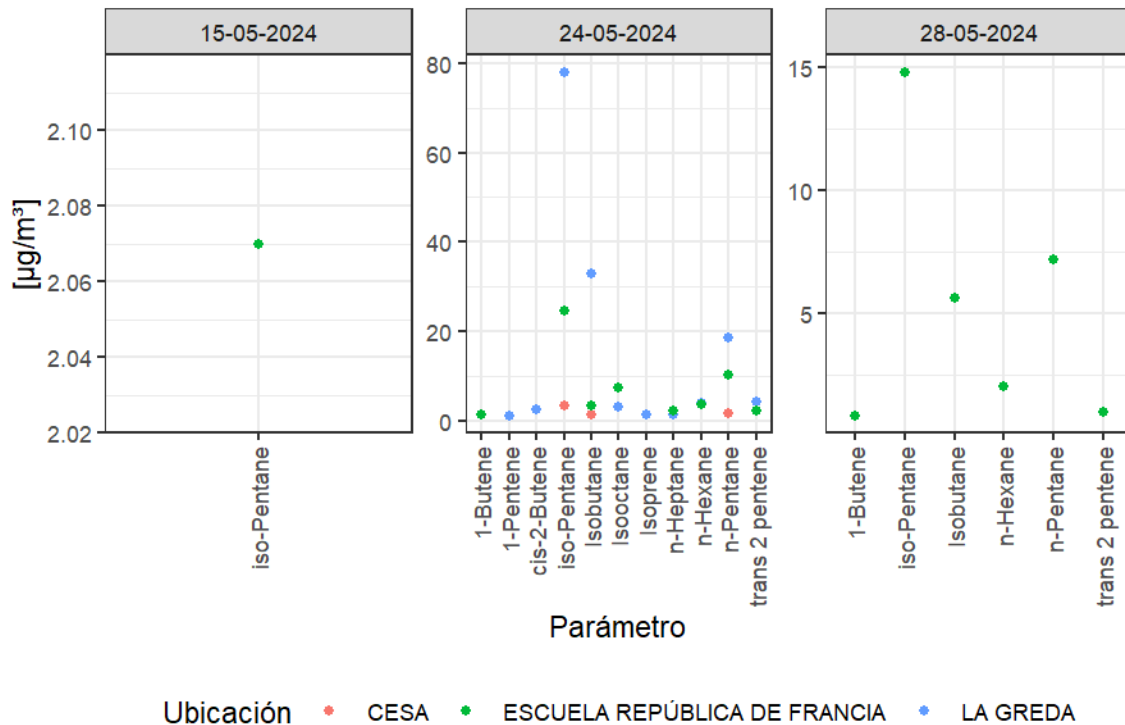


Figura 4: Concentración de otros COVs cuantificables para Quintero (Escuela República de Francia) y Puchuncaví (CESA y La Greda)

4.1.3. Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)

En las muestras recolectadas con canister, se identificó la presencia de otros compuestos orgánicos volátiles (COVs) que, aunque no son cuantificables de manera directa, pueden ser detectados y evaluados. Para ello, se establece una relación con la concentración de tolueno como referencia.

En la zona urbana de Quintero y Puchuncaví se han encontrado 13 COVs en total, distribuidos de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 5, siendo la Escuela República de Francia el sitio que más COVs presentó en los muestreos puntuales:

Tabla 5: Cantidad de COVs (distintos a BTEX, no cuantificables) encontrados en los puntos de muestreo con canister

Tipo	Comuna	Ubicación	Inicio muestreo	COVs
Urbana	Puchuncaví	La Greda	2024-05-24 13:15:00	5
		Cesa	2024-05-24 12:40:00	1
	Quintero	Escuela República De Francia	2024-05-28 11:05:00	9
		Escuela República De Francia	2024-05-24 13:20:00	6



Tipo	Comuna	Ubicación	Inicio muestreo	COVs
		Escuela República De Francia	2024-05-13 16:36:00	1

La Figura 5 presenta las variaciones en las concentraciones de estos compuestos en las distintas ubicaciones. Los compuestos se agrupan en diferentes familias químicas, cada una con características y posibles orígenes, como los hidrocarburos (4), los aldehídos (6): butanal, pentanal, heptanal, octanal, nonanal, hexanal, y otros como el Propane, 2-methoxy-2-methyl- conocido como Metil tert-butil éter (MTBE), éter orgánico empleado como aditivo en la gasolina.

Los aldehídos son compuestos orgánicos que provienen tanto de fuentes antropogénicas (causadas por actividades humanas) como de fuentes biogénicas (naturales). Algunas fuentes antropogénicas identificadas son las emisiones de los gases de escape de los automóviles, y la evaporación de solventes. Los aldehídos son emitidos hacia la atmósfera de forma directa desde estas fuentes: la combustión incompleta de los derivados del petróleo que se genera en las fuentes móviles y las fuentes estacionarias. (Gong et al., 2010; Pinto et al., 2014)^{8 9}

⁸ Ambient concentrations of aldehydes in relation to Beijing Olympic air pollution control measures J. C. Gong, T. Zhu, M. Hu, L. W. Zhang, H. Cheng, L. Zhang, J. Tong, and J. Zhang <https://doi.org/10.5194/acpd-10-19737-2010>

⁹ Pinto, J., Droprinchinski, L., da Silva, C. R., Cal, F., Rodríguez, I. & Solci, M. C. (2014). Carbonyl concentrations from sites affected by emission from different fuels and vehicles. *Atm. Pollution Res*, 5, 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.5094/apr.2014.047>



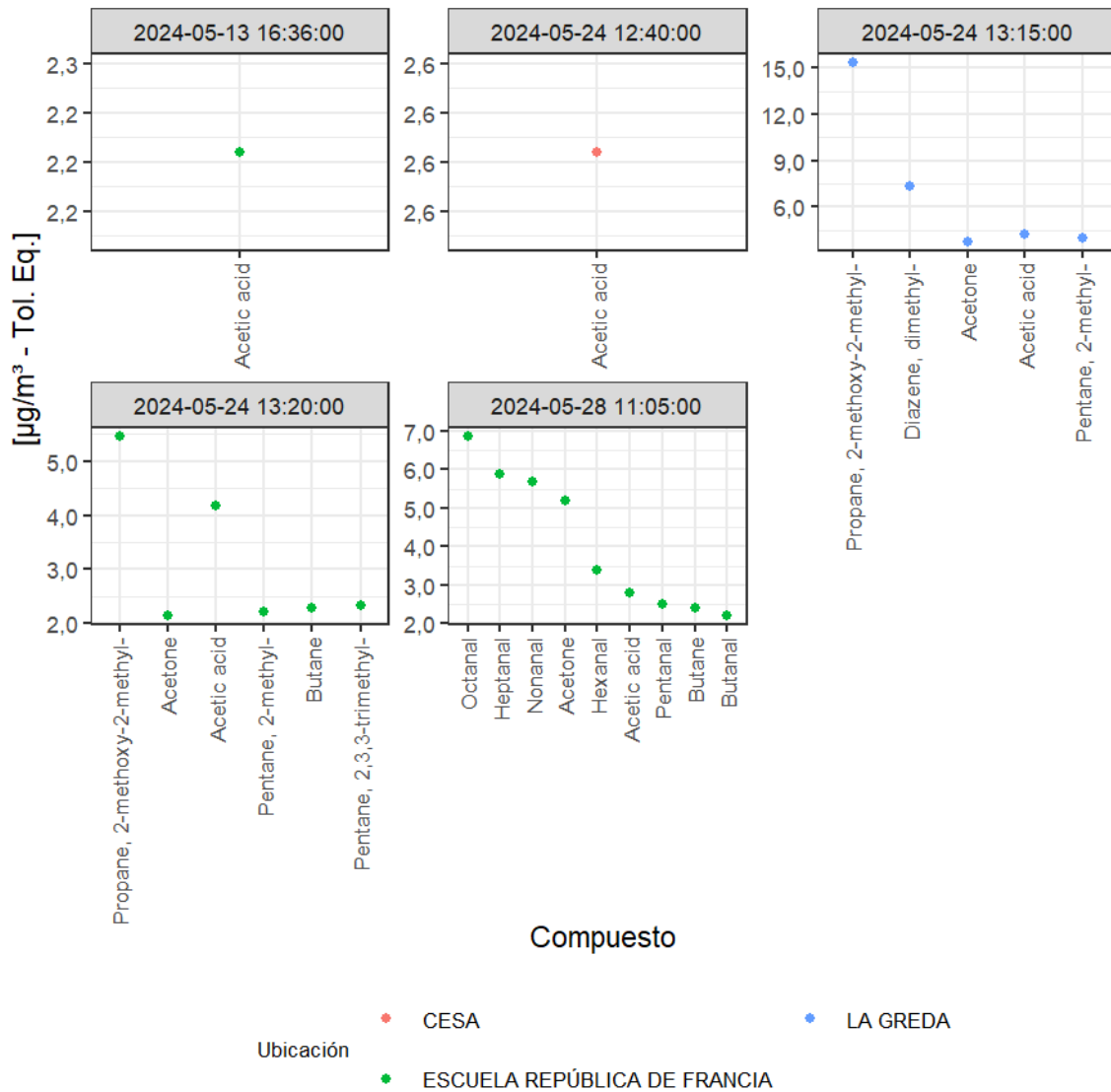


Figura 5: Detalle concentraciones de otros COVs no cuantificables - Muestreo con Canister

4.2. Muestreo pasivo urbano

El muestreo pasivo realizado en la zona urbana de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, se implementó en el sector de uso habitacional de la zona en base a un diseño muestral aleatorio de tipo grilla. En el diseño muestral para Quintero y Puchuncaví, para el año 2024, se definieron 9 puntos de muestreos ubicados en zonas de uso habitacional, mientras que para el caso de Concón, se establecieron



5 puntos. Durante el primer semestre 2024, en Quintero y Puchuncaví se han tomado un total de 113 muestras, mientras que en Concón, 35 muestras.¹⁰


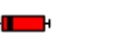
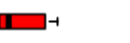


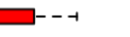
4.2.1. BTEX

A partir de los resultados de la campaña de muestreo pasivo urbano del primer semestre de 2024, la concentración promedio de benceno¹¹ en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví, fue de $1[\mu g/m^3]$, con un intervalo de confianza del 95% que varía entre $0,76[\mu g/m^3]$ y $1,24[\mu g/m^3]$.

En cuanto a los resultados de Quintero-Puchuncaví, el promedio de benceno¹² correspondiente al período informado es de $0,84[\mu g/m^3]$, con un promedio máximo de $1,06[\mu g/m^3]$. Por su parte, Concón presenta un promedio de benceno¹³ de $1,29[\mu g/m^3]$, con un promedio máximo de $2,26[\mu g/m^3]$, siendo mayor que Quintero-Puchuncaví.

Las estadísticas por punto de muestreo se presentan en la Tabla 6. En el caso de Quintero, los nuevos puntos incluidos durante el año 2024 (PU-9, PU-11 y PU-12) presentan menos muestreos que los puntos que se han mantenido en el tiempo, debido a que el inicio del muestreo fue posterior al comienzo de año. En el caso del punto PU-10, que fue incluido en 2024, inició el muestreo simultáneamente a los otros puntos, por lo tanto este punto cuenta el total de datos disponibles a junio de este año.

Tabla 6: Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Concón, Quintero y Puchuncaví 2024 - Concentraciones de Benceno en $[\mu g/m^3]$

Comuna	Ubicación	Id	n	Mín	Promedio	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,27 - 2,94
Concón	San Agustín 1318	CC-1	7	1,34	2,26	2,94	0,51	
Concón	San Agustín 390	CC-2	7	0,79	1,22	1,65	0,37	
Concón	La Pinta 260	CC-4	7	0,78	1,22	1,77	0,41	
Concón	Jardín Infantil Conconcito	CC-3	7	0,60	0,93	1,28	0,28	
Concón	Los Totorales 197	CC-5	7	0,49	0,81	1,24	0,29	
Puchuncaví	Colegio General Velásquez	PU-1	13	0,37	0,95	2,06	0,65	

¹⁰ Dos puntos de muestreo (PU-6 y PU-7), tienen 1 solo dato para este año, por lo que no serán considerados en las estadísticas del presente informe.

¹¹ Calculada como la media de las concentraciones promedio de cada punto muestreado para el período informado.

¹² Calculada a partir de las concentraciones promedio de cada punto muestreado

¹³ Calculado a partir de las concentraciones promedio de cada punto muestreado



Comuna	Ubicación	Id	n	Mín	Promedio	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,27 - 2,94
Puchuncaví	Estación De Monitoreo La Greda	PU-4	13	0,27	0,76	1,93	0,53	
Puchuncaví	Estación De Monitoreo Ventanas	PU-3	13	0,29	0,70	1,45	0,40	
Puchuncaví	Calle Norte 17 - 59	PU-2	13	0,29	0,55	1,15	0,27	
Quintero	Av. Los Álamos 2237	PU-10	13	0,50	1,06	1,88	0,47	
Quintero	Yungay 1454	PU-9	11	0,47	1,04	1,85	0,44	
Quintero	Estación De Calidad Del Aire Centro Quintero	PU-11	12	0,38	0,94	1,98	0,53	
Quintero	Colegio Alonso De Quintero - Sede Baquedano	PU-12	12	0,36	0,81	1,73	0,48	
Quintero	Pasaje 8	PU-8	13	0,29	0,74	1,65	0,47	

n: cantidad de datos disponibles.

s: Desviación estándar.

La distribución espacial de las concentraciones promedio de benceno para Quintero y Puchuncaví, se presenta en la Figura 6. Por su parte, la Figura 7 presenta la distribución espacial de las concentraciones promedio de benceno para Concón.

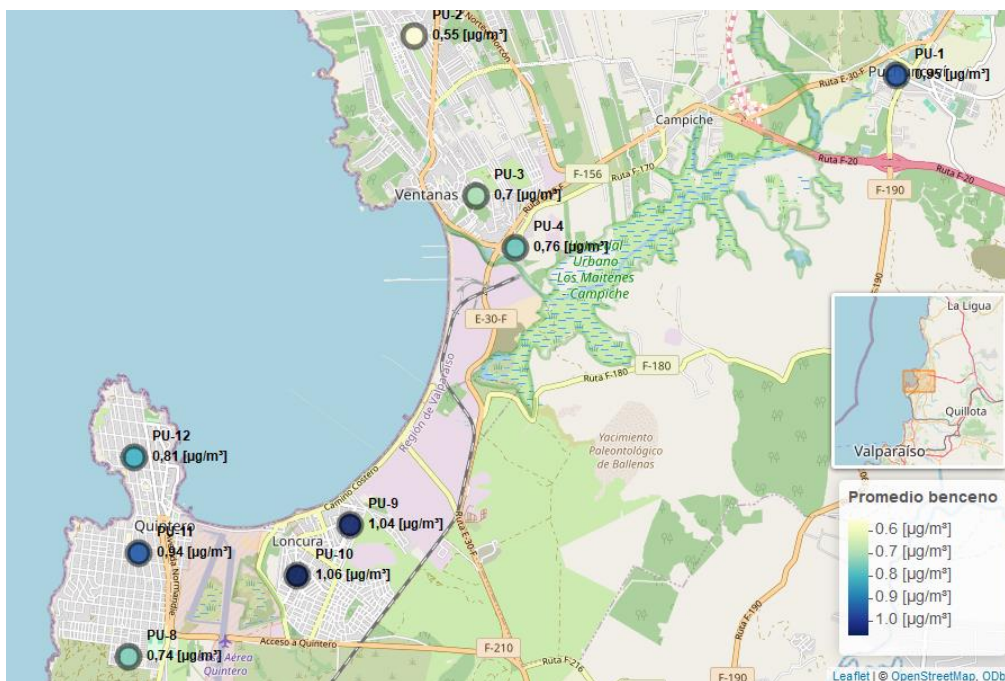


Figura 6: Mapa de concentraciones de benceno en Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024



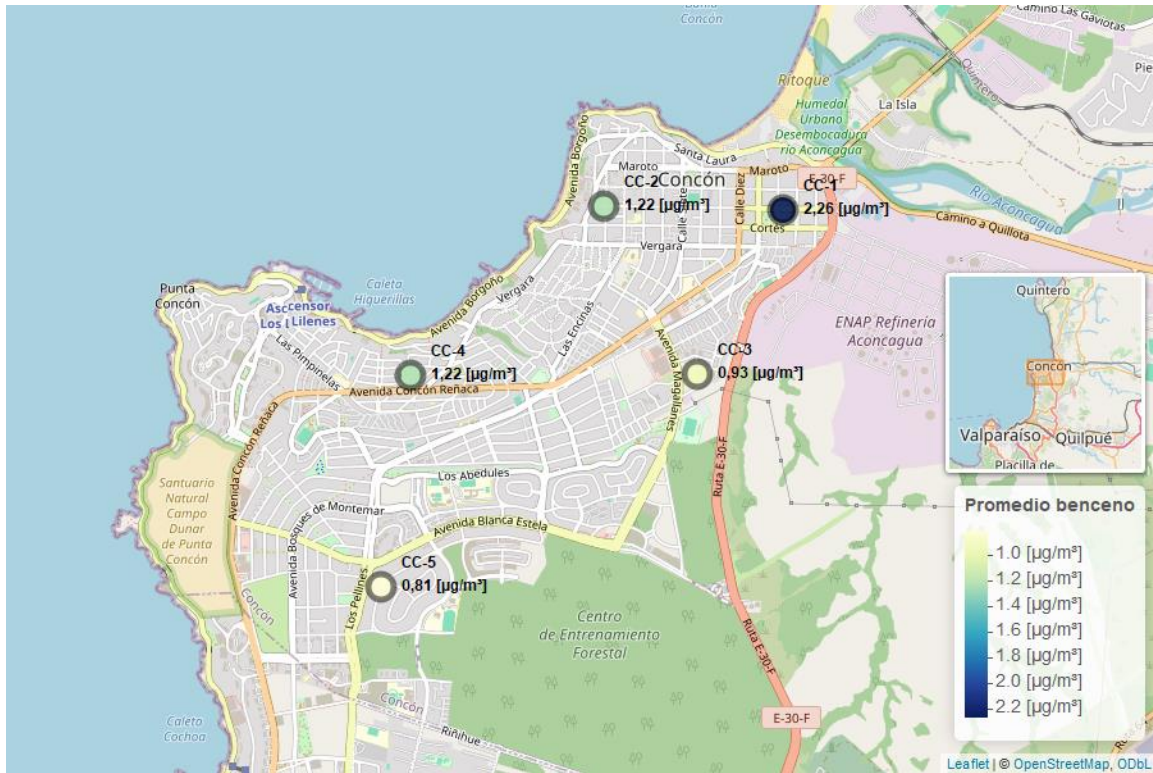


Figura 7: Mapa de concentraciones de benceno en Concón - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024

La Figura 8 y 9 presentan las series de tiempo de las concentraciones de benceno para cada punto de muestreo durante el año 2024, tanto para Quintero-Puchuncaví como para Concón, respectivamente¹⁴. De acuerdo con esta figura, en Quintero-Puchuncaví se observan concentraciones de benceno menores a $1[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ hasta el mes de mayo, luego de lo cual aumentan hasta los $2[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ ¹⁵. En el caso de Concón, destaca el punto CC-1 que presenta las mayores concentraciones de benceno respecto de los otros puntos de muestreo, los que no superan los $2[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

¹⁴ La fecha de la figura corresponde a la fecha de inicio de muestreo, que tiene una duración de 2 semanas.

¹⁵ No se incluyen los puntos de muestreo PU-6 y PU-7 por tener un solo dato disponible.



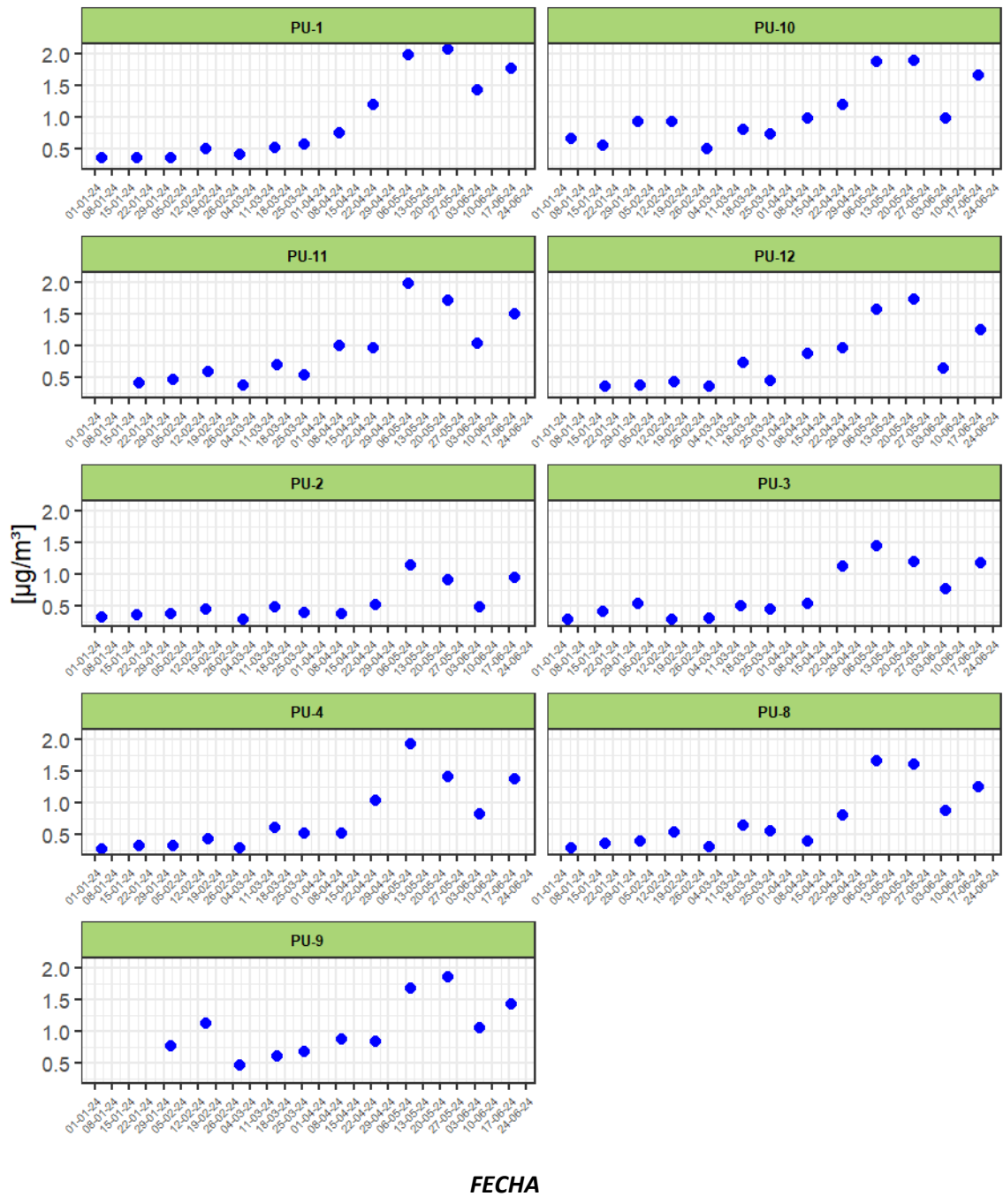


Figura 8: Serie de tiempo de concentraciones de benceno en Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024 (Fecha en la figura corresponde al inicio del muestreo)



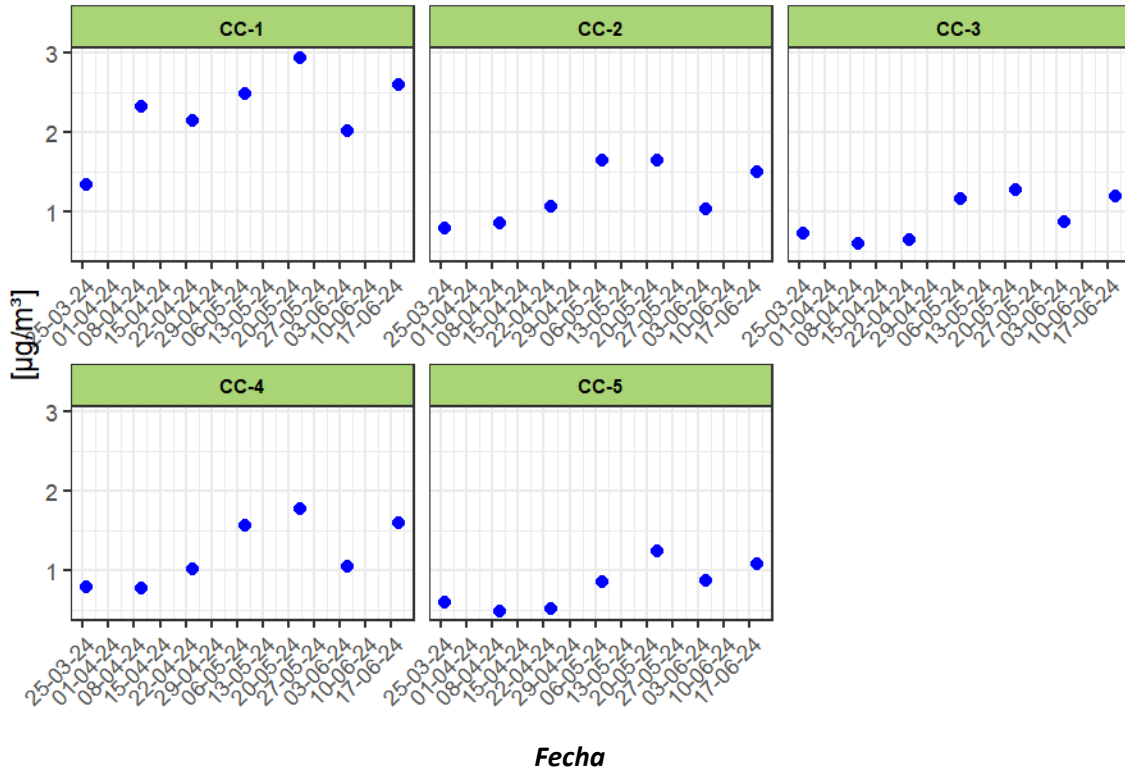


Figura 9: Serie de tiempo de concentraciones de benceno en Concón - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024 (fecha en la figura corresponde al inicio del muestreo)

En cuanto a las concentraciones de BTEX, la Tabla 7¹⁶ presenta un resumen de los resultados por cada compuesto y punto de muestreo, se presentando la concentración de BTEX total¹⁷, el valor promedio de cada compuesto y, entre paréntesis, el aporte porcentual de cada compuesto al BTEX total.

Se observa que en todos los puntos de muestreo, el etilbenceno es el compuesto que está en menor concentración de todos los BTEX y con el menor aporte. Por su parte, el tolueno junto con los xilenos registran la concentración promedio más alta y los mayores aportes al BTEX total.

¹⁶ La suma del porcentaje de aporte al BTEX total puede variar del 100% debido al redondeo de decimales.

¹⁷ calculada como la suma de las concentraciones promedio de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos para cada punto de muestreo



Durante el muestreo realizado entre el 22 de mayo y el 4 de junio, en el punto PU-10 (en Loncura), se registraron altas concentraciones de xilenos y etilbenceno (xilenos = 113,62 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], etilbenceno = 37,58 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];).¹⁸

Tabla 7: Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Quintero y Puchuncaví 2024 - Concentraciones de BTEX total y compuestos BTEX en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Comuna	Ubicación	Id	n	BTEX	Benceno	Etilbenceno	Tolueno	Xilenos	Distribución BTEX Rango: 0,59 - 25,73
Concón	San Agustín 1318	CC-1	7	20,56	2,26 (11%)	2,02 (10%)	7 (34%)	9,28 (45%)	○ ■ ■
Concón	La Pinta 260	CC-4	7	8,02	1,22 (15%)	0,83 (10%)	2,69 (34%)	3,28 (41%)	■ ■ ■
Concón	San Agustín 390	CC-2	7	8,00	1,22 (15%)	0,81 (10%)	2,61 (33%)	3,36 (42%)	■ ■ ■
Concón	Jardín Infantil Conconco	CC-3	7	5,76	0,93 (16%)	0,61 (11%)	1,82 (32%)	2,4 (42%)	■ ■ ■
Concón	Los Totorales 197	CC-5	7	5,22	0,81 (16%)	0,53 (10%)	1,57 (30%)	2,31 (44%)	■ ■ ○
Puchuncaví	Colegio General Velásquez	PU-1	13	6,37	0,95 (15%)	0,73 (11%)	2,11 (33%)	2,58 (41%)	■ ■ ■ - - -
Puchuncaví	Estación De Monitoreo La Greda	PU-4	13	4,78	0,76 (16%)	0,46 (10%)	1,55 (32%)	2,01 (42%)	■ ■ ○ ○
Puchuncaví	Estación De Monitoreo Ventanas	PU-3	13	3,49	0,7 (20%)	0,35 (10%)	1,26 (36%)	1,18 (34%)	■ ■ ○
Puchuncaví	Calle Norte 17 - 59	PU-2	13	2,71	0,55 (20%)	0,29 (11%)	0,95 (35%)	0,92 (34%)	■ ■ ○
Quintero	Av. Los Álamos 2237	PU-10	13	18,52	1,06 (6%)	3,55 (19%)	2,7 (15%)	11,21 (61%)	■ ■ ■ ○
Quintero	Yungay 1454	PU-9	11	8,13	1,04 (13%)	0,87 (11%)	2,9 (36%)	3,32 (41%)	■ ■ - -
Quintero	Estación De Calidad Del Aire Centro Quintero	PU-11	12	6,81	0,94 (14%)	0,78 (11%)	2,79 (41%)	2,3 (34%)	■ ■ ■ ○
Quintero	Colegio Alonso De Quintero - Sede Baquedano	PU-12	12	5,12	0,81 (16%)	0,52 (10%)	2,16 (42%)	1,63 (32%)	■ ■ ■ ○
Quintero	Pasaje 8	PU-8	13	4,86	0,74 (15%)	0,52 (11%)	2,03 (42%)	1,57 (32%)	■ ■ ■ ○

Entre paréntesis, al lado del promedio de cada compuesto, se informa el aporte porcentual de cada compuesto al total de BTEX.

n: cantidad de datos disponibles.

4.2.2. Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)

Se han identificado 21 COVs reportados en unidades de *tolueno equivalente*, en 14 sitios de muestreo (ver Tabla 8).

En el caso de Quintero se identificaron 10 COVs en el punto PU-12, lo que representa el punto con la mayor cantidad de COVs detectados en esta comuna. Por su parte, en Concón se identificaron 9 COVs en el punto CC-1, siendo el punto con más detecciones en Concón, destacando por presentar compuestos que no han sido identificados en otros puntos de esta zona. Finalmente, en Puchuncaví se identificaron 4 COVs en el

¹⁸ Se excluyeron estos datos atípicos para una mejor representación de la distribución de BTEX en la Tabla 7



punto PU-1, siendo el punto con más detecciones en esta comuna, siendo la zona que presenta la menor cantidad de COVs comparada con Quintero y Concón.

Tabla 8: Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Concón, Quintero y Puchuncaví 2024 - Concentraciones de otros COVs en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Tol. Eq.]

Comuna	Id	Total COVs identificados
Concón	CC-1	9
	CC-2	3
	CC-3	2
	CC-4	3
	CC-5	2
Puchuncaví	PU-1	4
	PU-2	2
	PU-3	3
	PU-4	3
Quintero	PU-10	5
	PU-11	2
	PU-12	10
	PU-8	3
	PU-9	3

El detalle de los compuestos identificados y su frecuencia (en el caso de que aparezcan en más de 2 ocasiones o en 1 ocasión en 2 puntos), se presenta en las tablas 9 y 10, para Quintero-Puchuncaví y Concón, respectivamente.

Tabla 9: Frecuencia de COVs - Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Quintero y Puchuncaví 2024

Comuna	Parámetro	PU-1	PU-2	PU-3	PU-4	PU-10	PU-11	PU-12	PU-8	PU-9
Puchuncaví	Acetophenone	1	--	2	--	--	--	--	--	--
	Benzaldehyde	2	1	4	2	--	--	--	--	--
	Benzoic acid	5	7	4	3	--	--	--	--	--
	Eucalyptol	1	--	--	1	--	--	--	--	--
Quintero	Acetophenone	--	--	--	--	2	--	--	1	1
	Benzaldehyde	--	--	--	--	9	4	4	6	3
	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	--	--	--	--	1	--	--	--	--
	Benzoic acid	--	--	--	--	4	5	5	8	4

Tabla 10: Frecuencia de COVs - Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Concón 2024

Comuna	Parámetro	CC-1	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5
Concón	Benzaldehyde	2	3	1	2	2
	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	5	--	--	--	--
	Benzene, 1,3-dimethyl-	1	--	--	--	--
	Benzoic acid	2	4	2	2	1
	Cyclohexane, methyl-	4	--	--	--	--
	Decane	4	--	--	--	--
	Heptane	5	--	--	--	--
	Nonane	5	--	--	--	--
	Octane	5	--	--	--	--
	Acetophenone	--	2	--	1	--



El siguiente gráfico (Figura 10) presenta las concentraciones de otros COVs para cada punto de muestreo, agrupado de acuerdo a la comuna de monitoreo:

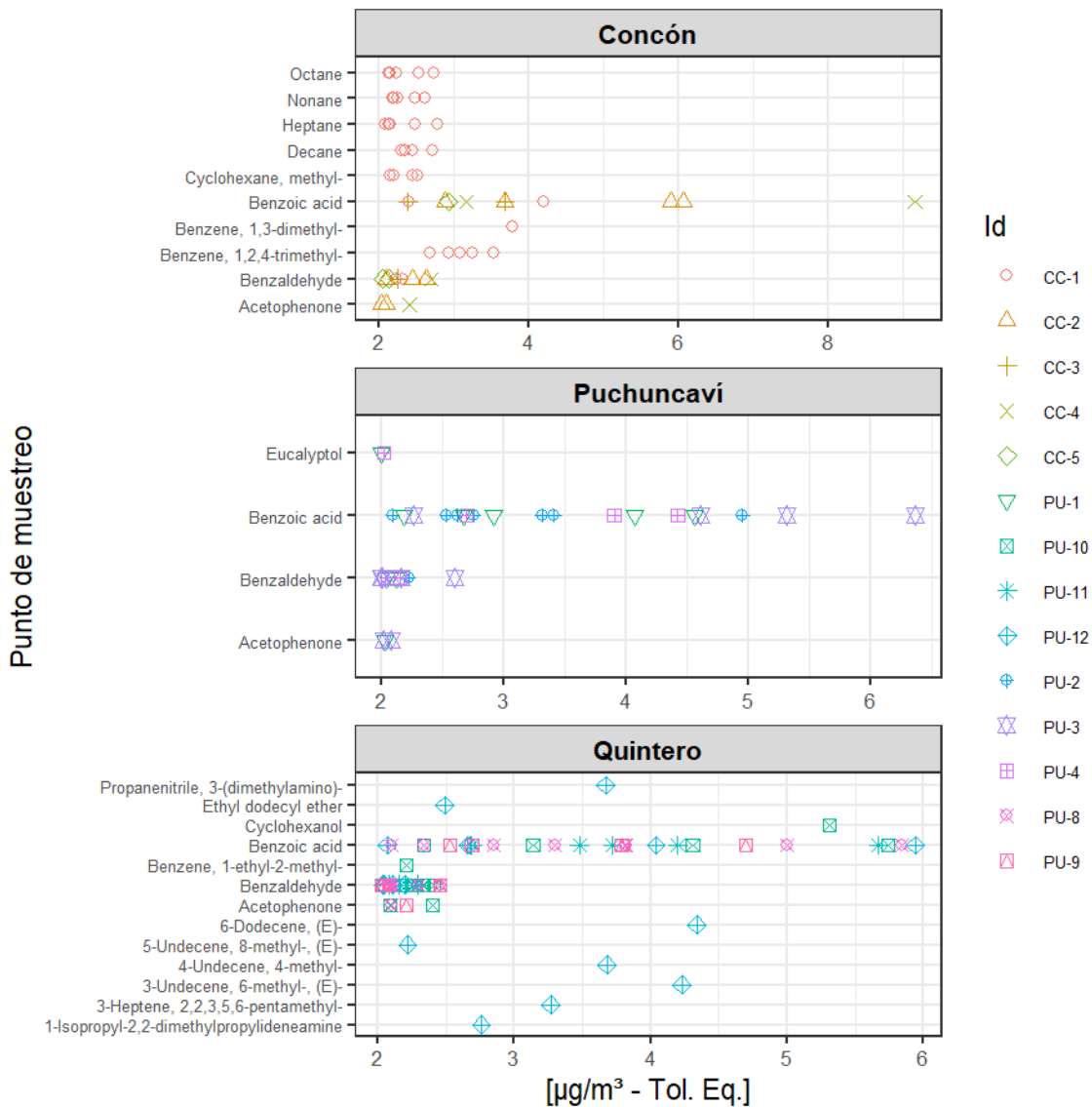


Figura 10: Concentraciones de otros COVs en Concón, Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024

Entre los compuestos destacados de la Figura 10 se encuentra el ácido benzoico, que aparece en todos los sitios de muestreo, lo que sugiere su presencia generalizada en la atmósfera en estas áreas.

El ácido benzoico (un compuesto aromático) es uno de los ácidos orgánicos más comunes en la atmósfera terrestre y un componente importante de las partículas de aerosol atmosférico. En la naturaleza, el ácido



benzoico se encuentra comúnmente en las plantas como ácido libre, éster o en forma de derivados de ácido carboxílico (Zhang et al., 2019)¹⁹.

También su presencia puede deberse a fuentes de emisión como la quema de biomasa encontrándose en partículas de humo provenientes de la combustión de madera residencial y de incendios forestales y otros procesos industriales. Dado que el ácido benzoico es soluble en agua, podría estar involucrado en reacciones químicas y fotoquímicas en aguas atmosféricas como el agua de lluvia y de las nubes (Santos et al., 2019)²⁰

4.3. Muestreo pasivo industrial

El muestreo pasivo industrial fue diseñado tomando como base el método EPA 325A. Se definió el límite industrial a muestrear como aquel más cercano a la zona urbana de Quintero y Loncura y, de acuerdo a dicha metodología, se estableció un total de 6 puntos de muestreo, todos ubicados en la comuna de Quintero. El recambio de tubos pasivos se realiza quincenalmente, con un tiempo de exposición de 2 semanas.

4.3.1. BTEX

La campaña de muestreo pasivo industrial presenta un promedio global de concentración de benceno²¹ de $1,24[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, siendo el promedio más alto de $2,51[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, en el punto FL-C1. Este punto, a su vez, muestra una mayor variabilidad en las concentraciones de benceno, en comparación con los otros puntos de muestreo (Tabla 11).

Tabla 11: Campaña Muestreo Pasivo Industrial en Quintero y Puchuncaví 2024 - Concentraciones de benceno en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

Ubicación	n	Promedio	Mín	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,48 - 3,59
FL-C1	7	2,51	1,26	3,59	0,82	---■---
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	7	1,32	0,90	2,13	0,43	■---
FL-E8	7	1,01	0,69	1,42	0,26	■---

¹⁹ Santos, P. S. M., Cardoso, H. B., Rocha-Santos, T. A. P., & Duarte, A. C. (2018). Oxidation of benzoic acid from biomass burning in atmospheric waters. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.059>

²⁰ Zhang, X., Zhang, C., Sun, X., Yang, J., & Zhu, C. (2019). Mechanism and kinetic study of the reaction of benzoic acid with OH, NO₃ and SO₄⁻ radicals in the atmosphere. *RSC Advances*, 9(33), 18971–18977. <https://doi.org/10.1039/c9ra02457c>

²¹ Calculado como la media de las concentraciones promedio de cada punto de muestreo.



Ubicación	n	Promedio	Mín	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,48 - 3,59
IND-5 / RUTA F-188	7	0,96	0,67	1,34	0,30	
IND-4 / RUTA F-188	7	0,94	0,55	1,31	0,30	
FL-E5	7	0,72	0,48	1,09	0,20	

n: cantidad de datos disponibles.

s: desviación estándar.

La distribución espacial de las concentraciones promedio de benceno en la zona industrial muestreada, se presentan en la Figura 11. La ubicación FL-C1 presenta el mayor promedio concentración de benceno presentan de la zona industrial, durante el período de reporte.

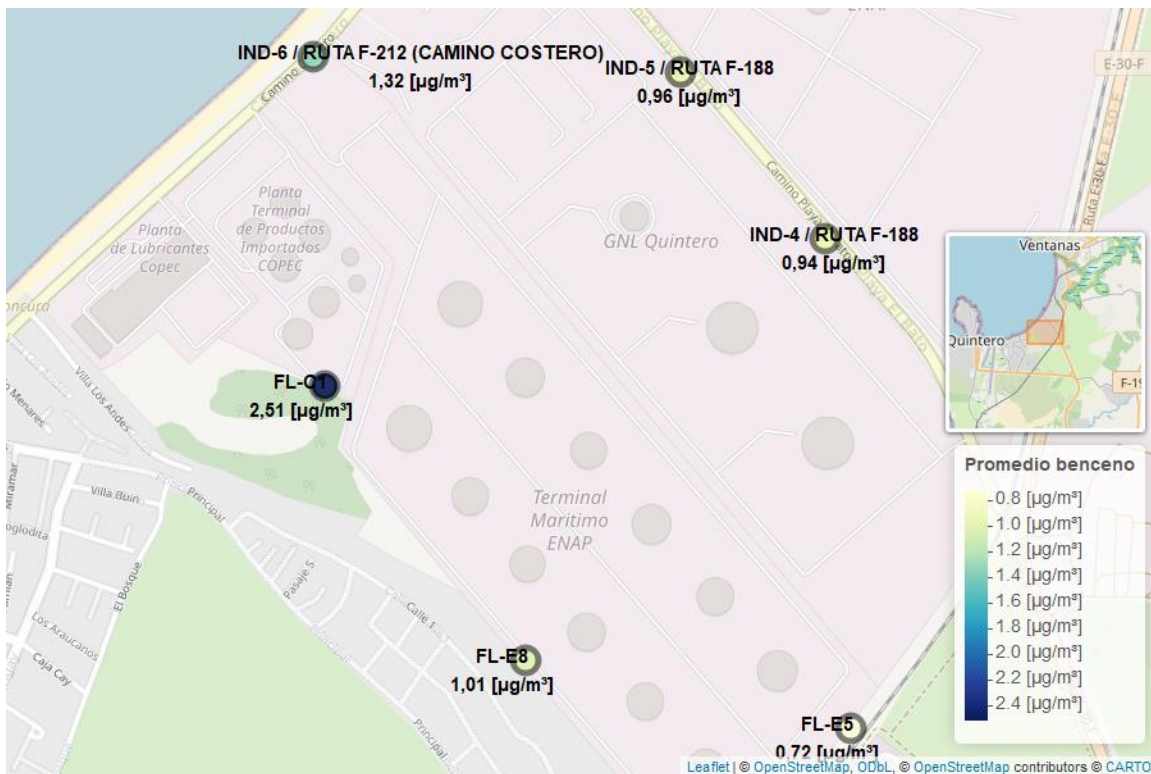


Figura 11: Mapa de concentraciones de benceno en Zona Industrial de Quintero-Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

La Tabla 12²² presenta la concentración de BTEX total (calculada como la suma de las concentraciones promedio de cada compuesto), así como las concentraciones promedio por compuesto individual. La

²² La suma del porcentaje de aporte al BTEX total puede variar del 100% debido al redondeo de decimales.



distribución de las concentraciones de BTEX total se presenta en la última columna, donde se observa mayor variabilidad de concentraciones en el punto FL-C1, en comparación con los otros puntos de muestreo, al igual que en el caso del benceno.

Tabla 12: Campaña Muestreo Pasivo Industrial en Quintero - Puchuncaví 2024 - Concentraciones de BTEX total y compuestos BTEX en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

Ubicación	n	BTEX	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos	Distribución BTEX Rango: 2,61 - 66,76
FL-C1	7	47,76	2,51 (5%)	15,92 (33%)	6,33 (13%)	23 (48%)	
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	7	14,79	1,32 (9%)	6,01 (41%)	1,72 (12%)	5,74 (39%)	
IND-5 / RUTA F-188	7	8,52	0,96 (11%)	3,72 (44%)	0,93 (11%)	2,91 (34%)	
IND-4 / RUTA F-188	7	8,27	0,94 (11%)	3,1 (37%)	1,04 (13%)	3,19 (39%)	
FL-E8	7	7,27	1,01 (14%)	2,83 (39%)	0,77 (11%)	2,66 (37%)	
FL-E5	7	4,79	0,72 (15%)	1,79 (37%)	0,52 (11%)	1,76 (37%)	

Entre paréntesis se informa el aporte porcentual de cada compuesto al total de BTEX.

n: cantidad de datos disponibles.

La contribución de cada compuesto al total de BTEX, así como su concentración, varían según la ubicación en donde se destaca:

- La ubicación FL—C1, presenta la concentración total de BTEX más alta ($47,76[\mu\text{g}/\text{m}^3]$). Los xilenos son el principal contribuyente al total de BTEX (48%), seguidos por el tolueno (33%). El benceno, aunque presente, tiene la menor contribución (5%).
- En la ubicación IND-5 / RUTA F-188 se presenta la mayor contribución al total de BTEX por parte del tolueno (44%), con los xilenos también representando una proporción importante (34%) de la contribución. El benceno y el etilbenceno presentan las mismas contribuciones (11% cada uno).

4.3.2. Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)

Durante la campaña de muestreo pasivo industrial se identificó un total de 54 COVs (distintos de BTEX). Los COVs identificados se distribuyen de la siguiente manera en los distintos puntos de muestreo (Tabla 13):

Tabla 13: Total COVs identificados - Campaña Muestreo Pasivo Industrial Quintero - Puchuncaví 2024

Ubicación	Total COVs identificados
FL-C1	53
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	11
IND-5 / RUTA F-188	4
FL-E8	3
IND-4 / RUTA F-188	3
FL-E5	2



La siguiente tabla (Tabla 14), presenta la frecuencia de los COVs identificados en la zona industrial, de acuerdo con los puntos de muestreo, solo para aquellos compuesto que se repiten 2 o más veces. La ubicación FL-C1 presenta la mayor diversidad y frecuencia de COVs, mientras que las otras ubicaciones presentan una menor cantidad y frecuencia de estos compuestos.

Tabla 14: Frecuencia de COVs - Campaña de Muestreo Industrial Quintero - Puchuncaví 2024

Parámetro	FL-C1	FL-E8	IND-4 / RUTA F-188	IND-5 / RUTA F-188	IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	FL-E5
1-Ethyl-3-methylcyclohexane (c,t)	6	--	--	--	--	--
1-Ethyl-4-methylcyclohexane	2	--	--	--	--	--
Benzaldehyde	2	2	2	3	2	--
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	3	--	--	--	--	--
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	7	--	--	--	--	--
Benzene, 1,4-diethyl-	2	--	--	--	--	--
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	6	--	--	--	--	--
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	5	--	--	--	--	--
Benzene, propyl-	4	--	--	--	--	--
Benzoic acid	3	4	5	4	2	3
Cyclohexane	4	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,1,2-trimethyl-	2	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	6	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,2-dimethyl-, trans-	5	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,3-dimethyl-, cis-	7	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,4-dimethyl-	6	--	--	--	--	--
Cyclohexane, butyl-	2	--	--	--	--	--
Cyclohexane, ethyl-	7	--	--	--	--	--
Cyclohexane, methyl-	7	--	--	--	3	--
Cyclohexane, propyl-	5	--	--	--	--	--
Cyclopentane, ethyl-	2	--	--	--	--	--
Cyclopentane, methyl-	2	--	--	--	--	--
Decane	6	--	--	--	--	--
Heptane	7	--	--	--	2	--
Heptane, 2,6-dimethyl-	2	--	--	--	--	--
Heptane, 2-methyl-	6	--	--	--	--	--
Heptane, 3-methyl-	7	--	--	--	--	--
Hexane, 2-methyl-	4	--	--	--	--	--
Hexane, 3-methyl-	4	--	--	--	--	--
Mesitylene	4	--	--	--	--	--
Naphthalene, decahydro-	2	--	--	--	--	--
Nonane	7	--	--	--	3	--
Nonane, 2-methyl-	2	--	--	--	--	--
Nonane, 3-methyl-	4	--	--	--	--	--
Octane	7	--	--	--	3	--
Octane, 2-methyl-	2	--	--	--	--	--
Octane, 3,6-dimethyl-	4	--	--	--	--	--
Octane, 3-methyl-	7	--	--	--	--	--
Octane, 4-methyl-	6	--	--	--	--	--
Undecane	6	--	--	--	--	--
n-Hexane	4	--	--	--	--	--

--: Compuesto no identificado



El siguiente gráfico (Figura 12) presenta las concentraciones de otros COVs para el punto FL-C1, que ha registrado la mayor presencia de COVs:

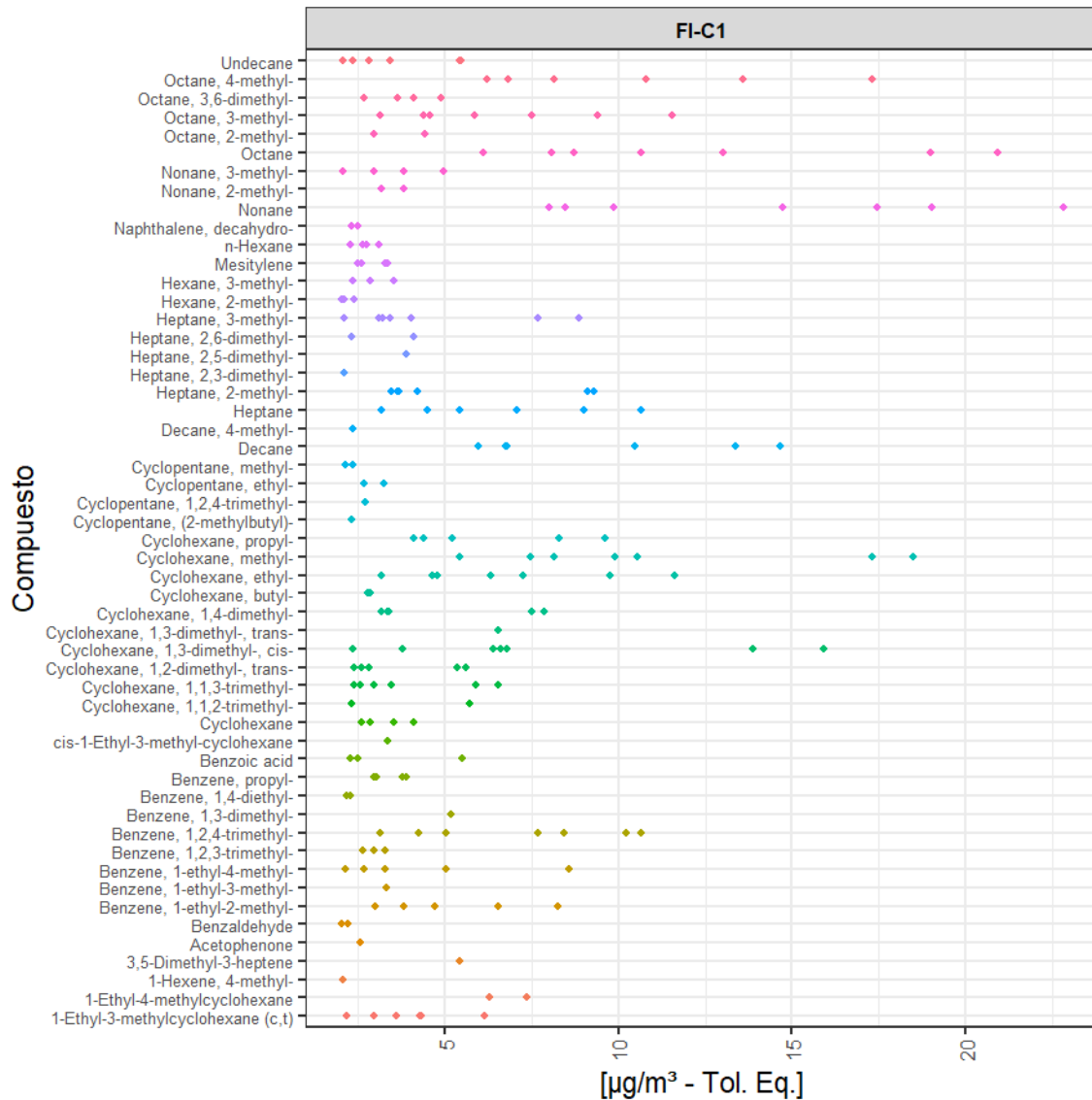


Figura 12: Concentraciones de otros COVs para FL-C1 - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

Los COVs de los otros puntos de muestreo industrial se presentan en la Figura 13:



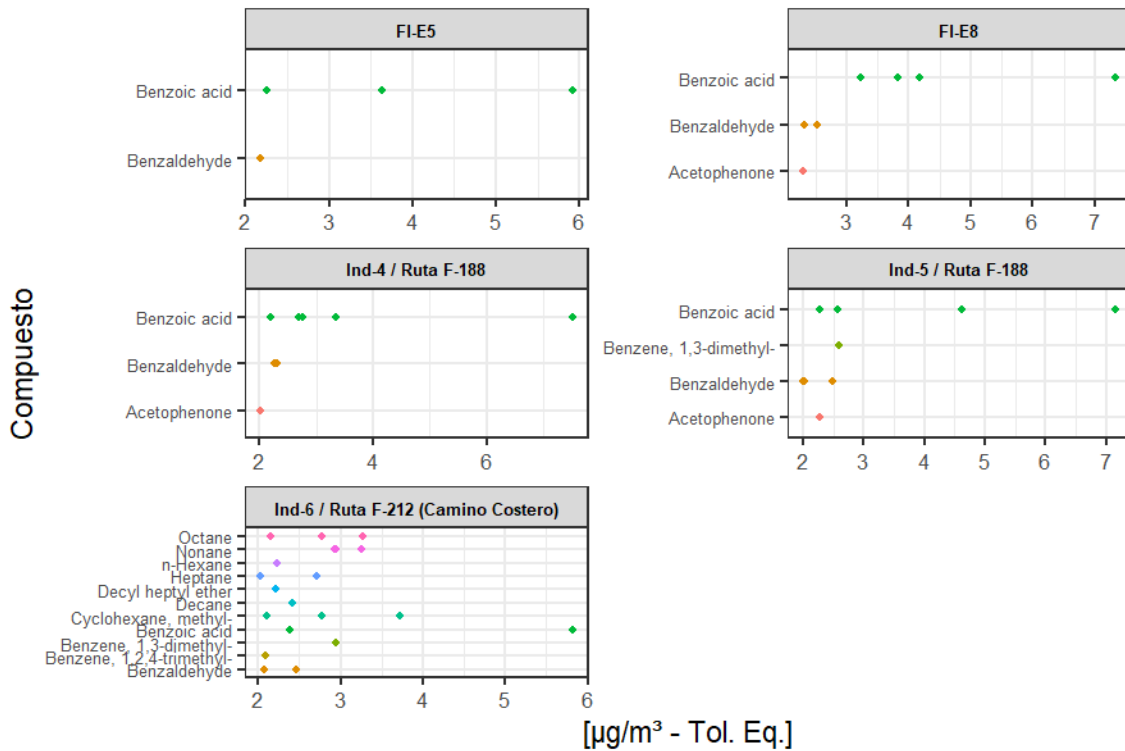


Figura 13: Concentraciones de otros COVs (todos los puntos excepto FL-C1) - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

4.4. Mediciones BTEX con equipos PyxisGC

La obtención de datos continuos de BTEX se llevó a cabo mediante equipos automáticos. Los resultados de las mediciones se presentan como promedios horarios de las concentraciones minutales²³ validadas de cada equipo PyxisGC.²⁴

4.4.1. Determinación de Benceno

El promedio de las concentraciones horarias de benceno, en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví fue de $0,44 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$; para la zona de **Quintero-Puchuncaví**, el promedio de las concentraciones horarias de benceno fue de $0,32 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$, mientras que para **Concón** fue de $0,73 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El mayor promedio de las concentraciones horarias se registró en Jardín Infantil Conconcito (Pyxis 04) y corresponde a un valor

²³ Datos generados cada 10 minutos.

²⁴ a partir del año 2024 se definió un porcentaje mínimo de 4 datos minutales para calcular los promedios horarios, equivalente al 75 % de los datos en una hora de medición.



de $0,76[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; por otra parte, el menor promedio de concentración horaria se registró en Estación de Calidad del Aire Centro Quintero (Pyxis 01) con un valor de $0,09[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

El resumen estadístico de las concentraciones de benceno para todos los equipos, se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Resumen concentraciones horarias de benceno en Concón, Quintero y Puchuncaví - Equipos PyxisGC 2024 en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

Equipo	Ubicación	Comuna	n	Promedio	Mín	Máx	s	Fecha Concentración Máxima
Pyxis 01	Estación de Calidad del Aire Centro Quintero	Quintero	4.155	0,09	0,03	0,98	0,07	2024-04-23 04:00:00
Pyxis 02	Estación de Calidad del Aire Ventanas - Fundación las Rosas	Puchuncaví	3.421	0,30	0,03	5,55	0,38	2024-06-10 08:00:00
Pyxis 03	Escuela Puente Colmo	Concón	4.257	0,70	0,03	4,45	0,51	2024-06-10 10:00:00
Pyxis 04	Jardín Infantil Conconcito	Concón	2.266	0,76	0,07	12,90	0,69	2024-01-16 11:00:00
Pyxis 05	Escuela República de Francia	Quintero	2.319	0,69	0,04	7,37	0,86	2024-03-04 02:00:00
Pyxis 06	Complejo Educacional Sargento Aldea	Puchuncaví	2.782	0,35	0,04	16,04	0,71	2024-06-25 20:00:00
Pyxis 07	Colegio Alonso de Quintero - Sede Baquedano	Quintero	3.792	0,17	0,05	3,08	0,15	2024-05-25 06:00:00

n: cantidad de datos disponibles.

s: desviación estándar

La distribución espacial del promedio de las concentraciones horarias de benceno, por punto de medición, se presentan en las Figuras 14 y 15, para Quintero-Puchuncaví y Concón, respectivamente:



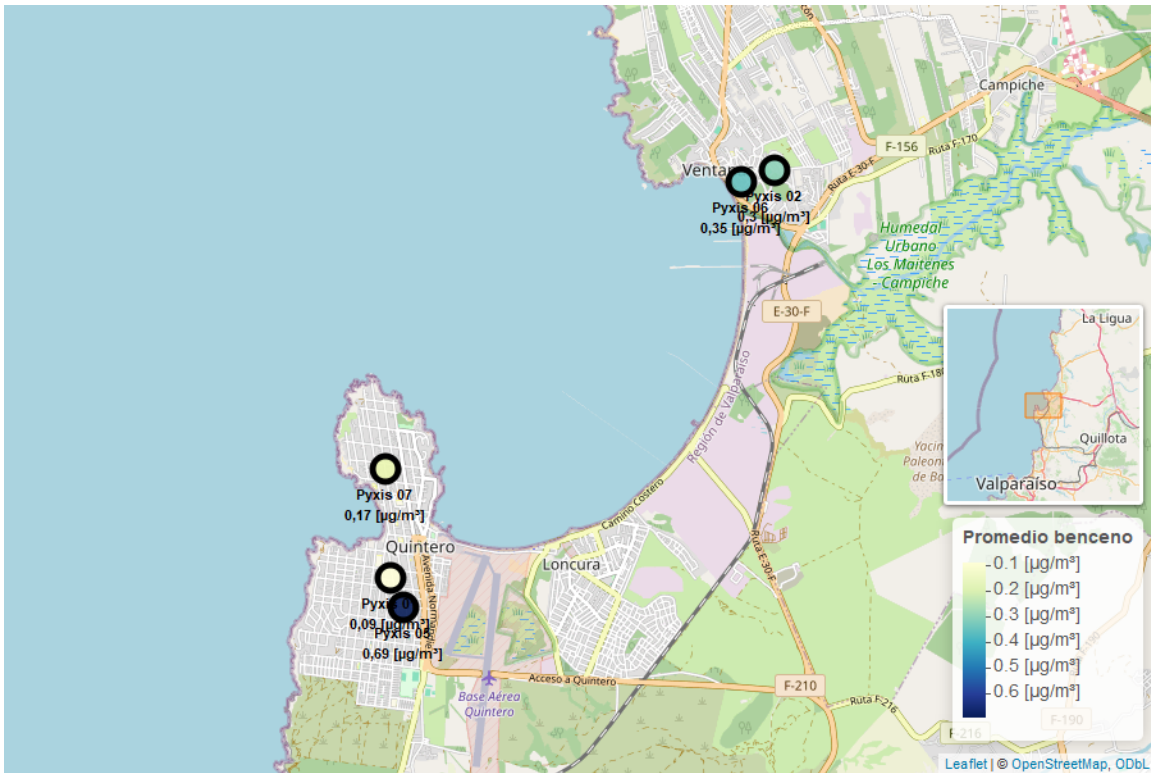


Figura 14: Mapa del promedio de las concentraciones horarias de benceno - Equipos PyxisGC en Quintero y Puchuncaví 2024

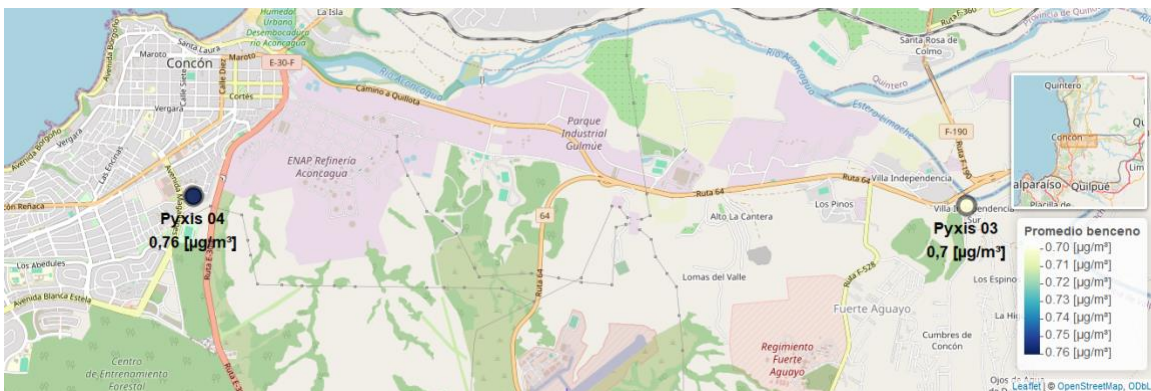


Figura 15: Mapa del promedio de las concentraciones horarias de benceno - Equipos PyxisGC en Concón 2024

Durante el primer semestre no se han registrado concentraciones de benceno que superen los 30[µg/m³] como promedio horario.



Variabilidad temporal del benceno en Concón, Quintero y Puchuncaví

A partir de las concentraciones horarias de benceno, se presentan cuatro series de tiempo de concentración, como lo muestra la Figura 16.

La variabilidad gráfico inferior izquierdo) de las concentraciones horarias de benceno son similares entre sí en Concón, Quintero y Puchuncaví (Figura 16; si bien se observan algunas diferencias en cuanto al momento en que ocurren los eventos valle y máximos, el comportamiento es más bien homogéneo. Al igual que el año 2023, se observan 2 momentos valle, donde las concentraciones son mínimas: el primero, alrededor de las 06 hrs. y el segundo entre 12 y 18 hrs. Las concentraciones horarias máximas de benceno ocurren aproximadamente entre las 09 y 11 hrs. y a partir de las 19 y hasta las 23 hrs. En comparación con el año 2023, destaca el caso del equipo Pyxis 01, que para este período informado presenta muy bajas concentraciones y un patrón horario mucho menos marcado que el año pasado. El equipos Pyxis 06 (Complejo Educacional Sargento Aldea), presenta un aumento de las concentraciones después de las 18 hrs, siendo los niveles previos de concentración de benceno, aproximadamente iguales.

El patrón anterior se repite para prácticamente todos los días de la semana (Figura 16, gráfico superior), con excepción de los días sábados, donde las concentraciones se observan relativamente estables durante gran parte del día, con un aumento de las concentraciones a partir de las 18 hrs.

En cuanto a la variabilidad diaria (Figura 16, gráfico inferior derecho), se aprecia que los equipos Pyxis 03 y Pyxis 04 (ubicados en Concón) presentan un comportamiento similar, con una tendencia al aumento de las concentraciones hacia el fin de semana. Lo mismo ocurre con el Pyxis 02, en Ventanas.

Respecto de patrones estacionales (Figura 16, gráfico inferior central), se observa un marcado aumento de las concentraciones entre mayo y junio. En este caso destaca el equipo Pyxis 04 (ubicado en el Jardín Infantil Conconcito), que presenta un sostenido aumento de las concentraciones. Ocurre lo mismo con el equipo Pyxis 06, en Ventanas.



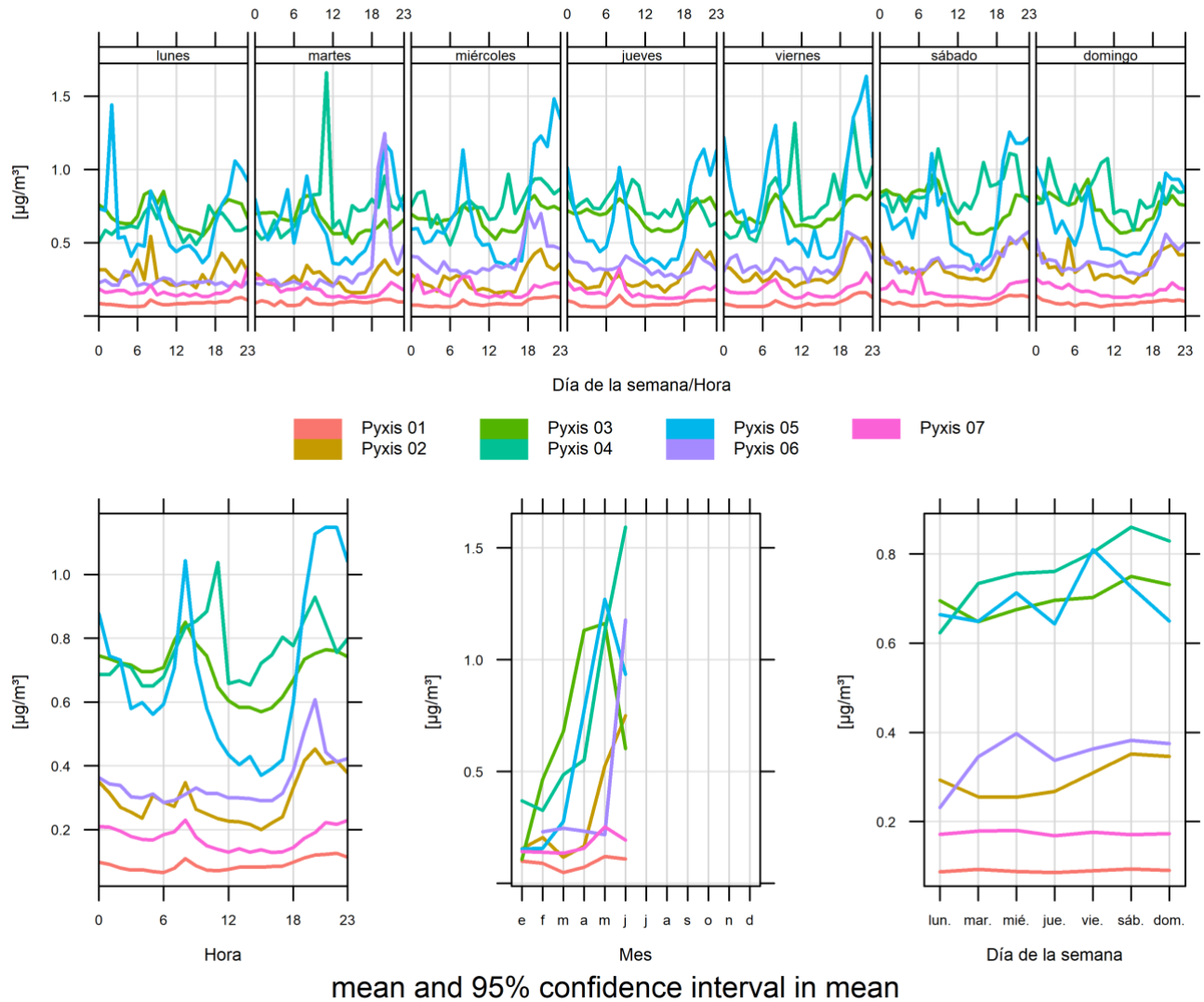


Figura 16: Variabilidad temporal de concentraciones de benceno para equipos PyxisGC -

4.4.2. BTEX

Un resumen de las concentraciones promedio horarias de BTEX por equipo PyxisGC, se muestra en la Tabla 16.



Tabla 16: Resumen de resultados de concentración de BTEX en Concón, Quintero y Puchuncaví - Promedio horario PyxisGC en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Equipo	Parámetro	n	Promedio	Mín	Máx	s
Pyxis 01	Benceno	4.155	0,09	0,03	0,98	0,07
	Etilbenceno	4.154	0,26	0,04	11,67	0,55
	Tolueno	4.154	0,34	0,04	27,09	1,21
	Xilenos	4.154	0,60	0,04	16,01	0,83
Pyxis 02	Benceno	3.421	0,30	0,03	5,55	0,38
	Etilbenceno	3.420	0,54	0,04	6,96	0,64
	Tolueno	3.420	0,46	0,04	39,78	1,44
	Xilenos	3.420	0,46	0,04	7,73	0,76
Pyxis 03	Benceno	4.257	0,70	0,03	4,45	0,51
	Etilbenceno	4.257	1,34	0,04	12,35	1,06
	Tolueno	4.239	0,75	0,04	15,14	0,82
	Xilenos	4.238	2,19	0,04	102,38	3,59
Pyxis 04	Benceno	2.266	0,76	0,07	12,90	0,69
	Etilbenceno	2.272	0,68	0,04	4,27	0,75
	Tolueno	2.274	0,64	0,08	21,96	0,93
	Xilenos	2.272	0,79	0,05	5,29	0,82
Pyxis 05	Benceno	2.319	0,69	0,04	7,37	0,86
	Etilbenceno	2.319	0,63	0,04	24,41	1,00
	Tolueno	2.319	1,23	0,05	146,21	5,27
	Xilenos	2.319	1,05	0,04	23,65	1,34
Pyxis 06	Benceno	2.782	0,35	0,04	16,04	0,71
	Etilbenceno	2.655	0,20	0,06	0,77	0,08
	Tolueno	2.782	0,77	0,08	143,85	4,57
	Xilenos	2.656	0,44	0,06	0,88	0,11
Pyxis 07	Benceno	3.792	0,17	0,05	3,08	0,15
	Etilbenceno	3.792	0,22	0,04	8,28	0,35
	Tolueno	3.792	0,31	0,04	18,37	0,82
	Xilenos	3.792	0,62	0,04	14,09	0,97

n: cantidad de datos disponibles.

s: desviación estándar.

Destacan los valores máximos de concentraciones horarias registrados en los equipos Pyxis 03, Pyxis 05 y Pyxis 06, para xilenos (en el primer equipo) y tolueno (para los otros dos equipos).

En el caso del equipo Pyxis 03 (Escuela Puente Colmo), los xilenos muestran un aumento de las concentraciones a partir del mes de abril, pero con valores mucho más altos durante el mes de junio, predominando las altas concentraciones durante horas de la tarde, aproximadamente a partir de las 15 hrs., especialmente los días martes y miércoles (para el mes de junio). En este caso se ha informado de trabajo de pintura en la zona de ubicación del equipo, por lo cual las mediciones en este punto podrían verse influenciadas por esta actividad.

El equipo Pyxis 05 (Escuela República de Francia) presenta un aumento de las concentraciones de tolueno a partir del mes de marzo, especialmente los días del fin de semana (viernes y sábado, con un menor aporte los días domingo), generalmente a partir de las 18 hrs. En el caso del equipo Pyxis 06 (Complejo Educativo Sargento Aldea) el aumento de tolueno se registra durante el mes de mayo, durante los días martes y miércoles en el horario de la tarde (a partir de las 18 horas).





En todos los equipos Pyxis ubicados en Quintero y Puchuncaví se observa un aumento significativo de las concentraciones de tolueno a partir del 24 junio, luego de las intensas lllubvias que azotaron el sector.



5. Conclusiones

La SMA ha identificado y cuantificado los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) presentes en las comunas de Concón, Quintero, Puchuncaví con 4 estrategias distintas de monitoreo: (i) Muestreo con canister; (ii) Muestreo pasivo urbano; (iii) Muestreo pasivo industrial; y, (iv) Mediciones continuas con equipos PyxisGC. Se amplió el plan de muestreo pasivo urbano a la comuna de Concón, quedando Concón, Quintero y Puchuncaví con muestreo pasivo urbano y mediciones de BTEX con equipos PyxisGC.

Muestreo con Canister

- Durante el primer semestre se realizaron 6 muestreos puntuales con canister, correspondientes a 3 puntos de muestreo, solamente en la zona de Quintero y Puchuncaví. Las concentraciones de benceno no superan los $3[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.
- En la zona de Quintero se ha identificado y cuantificado 8 compuestos orgánicos volátiles (COVs) (hidrocarburos), mientras que en Puchuncaví, 10 COVs.
- En el punto de muestreo localizado en el Colegio República de Francia, las concentraciones de BTEX varían de manera importante entre los días de muestreo, con 3 de los 4 días muestreados en donde 2 o más compuestos (de un total de 4) están por debajo del límite de cuantificación del método (LCM); solamente durante un día de muestreo con canister se observó la presencia de todos los compuestos BTEX.

Muestreo pasivo urbano

- En Quintero y Puchuncaví, se observa una tendencia similar de concentraciones de benceno respecto del año 2023.
- Puchuncaví presenta una mayor variabilidad de las concentraciones, especialmente en el punto ubicado en el Colegio General Velásquez (PU-1), que presenta el valor máximo más alto ($2,06[\mu\text{g}/\text{m}^3]$) respecto de los otros puntos.
- En el caso de Concón, se ha observado que las concentraciones de benceno son mayores que las de Quintero y Puchuncaví, pero menores a $3[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ (el punto CC-1 presenta el mayor promedio de benceno con un valor de $2,26[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ y una concentración máxima de $2,94[\mu\text{g}/\text{m}^3]$), con una variabilidad moderada respecto de las otras zonas.
- En cuanto a otros COVs identificados (reportados como tolueno equivalente) en Quintero-Puchuncaví, se observó un número mayor de COVs respecto del año 2023.
- Quintero es la comuna que presenta una mayor variabilidad en la cantidad de otros COVs identificados, para los distintos puntos de muestreo (entre 1 a 10 COVs, según el punto de muestro).



- Para el caso de Puchuncaví, la cantidad de otros COVs identificados es más homogénea, con un mínimo de 2 y un máximo de 4 COVs identificados en distintos puntos de muestreo. Los compuestos que presentan mayor frecuencia corresponden al benzaldehído y ácido benzoico.
- En el área de Concón destaca el punto más cercano a la zona industrial de la refinería de Concón (CC-1), que presenta la mayor cantidad de COVs identificados, en comparación con los otros puntos de la zona. Se ha identificado 6 COVs en este punto, que no han sido identificados en otros puntos de muestreo, tanto de Concón como de Quintero-Puchuncaví.
- En cuanto a los otros compuestos, los xilenos tienden a ser el compuesto predominante de los BTEX, en la mayoría de los casos, con concentraciones más altas en Concón que en Quintero y Puchuncaví.
- Al igual que en el caso de Quintero y Puchuncaví, en Concón, los compuestos que presentan la mayor frecuencia, corresponden al benzaldehído y ácido benzoico.

Muestreo pasivo industrial

- Para los puntos que dan continuidad al año 2023 (FL-C1, FL-E8 y FL-E5), se presentan prácticamente las mismas concentraciones promedio de benceno respecto del año 2023.
- El punto FL-C1 el que presenta la mayor diversidad de COVs identificados, la mayor concentración y la mayor variabilidad de BTEX, respecto de los otros puntos de muestreo. Asimismo, presenta la mayor frecuencia de aparición de COVs, seguido por el punto ubicado en el camino costero (Ind-6).
- Los compuestos que presentan mayor frecuencia corresponden al benzaldehído y ácido benzoico, lo que se corresponde con aquellos que presentan mayor frecuencia de aparición en las zonas urbanas de Quintero, Puchuncaví y Concón.

Mediciones con equipos PyxisGC

- Se observó una reducción importante en las concentraciones de BTEX, respecto del 2023. Este primer semestre 2024 hubo una reducción del 44% en el promedio global de las concentraciones medias de todos los equipos, respecto del año 2023, y una reducción del 78% en el promedio de las concentraciones máximas de todos los equipos, respecto del mismo año.
- El equipo Pyxis 01, ubicado en la Estación de Calidad del Aire Centro Quintero, registró el promedio más bajo de benceno entre todas las ubicaciones, en comparación con el año 2023, donde fue el punto de medición con las concentraciones promedio más altas de todos los puntos de medición.
- Durante el primer semestre del año 2024, benceno y etilbenceno, presentan concentraciones más bajas en los diferentes puntos de medición, en comparación con tolueno y xilenos.



- Destacan las concentraciones de xilenos en el equipo Pyxis 03 con altas concentraciones promedio y valores máximos de concentraciones horarias junto con una gran variabilidad de sus concentraciones, en comparación con los otros compuestos y puntos de medición.
- En el caso de tolueno, destacan los puntos Pyxis 05 y Pyxis 06 con valores extremos y alta variabilidad, lo que podría suponer eventos puntuales de altas emisiones cercanas a dichos puntos.
- Durante el primer semestre de 2024 no se han registrado concentraciones de benceno que superen los $30[\mu g/m^3]$, como promedio horario.

6. Definiciones

- **BTEX:** Acrónimo que agrupa a los compuestos Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos.
- **Canister:** Recipiente para la toma de muestras de aire, construido en acero inoxidable con paredes interiores pasivadas para evitar su deterioro e interacción con la muestra gaseosa.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COVs):** toda sustancia química que, a excepción del metano, contenga átomos de carbono e hidrógeno (que puedan ser sustituidos por otros átomos como halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno o fósforo) y que a 20°C tenga una presión de vapor mayor o igual a 0,01 kPa, o que tenga una volatilidad equivalente según condiciones particulares de uso, manipulación y/o almacenamiento. Se incluye en esta definición la fracción de creosota que sobrepase este valor de presión de vapor a la temperatura indicada de 20°C.
- **Límite de cuantificación del método (LCM):** cantidad más baja de analito en una muestra que puede determinarse cuantitativamente con la precisión y exactitud adecuadas.
- **Muestreo pasivo:** Forma de recolección de sustancias de emisión aéreo-transportadas, que emplea un dispositivo capaz de captar muestras de contaminantes de gas o de vapor de la atmósfera, a una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión o permeación, sin la intervención de un movimiento forzado de aire (no requiere bomba de muestreo); es de carácter discreto y puede lograr límites de detección bajos.
- **Tubo adsorbente:** Tubo de acero inoxidable con revestimiento de vidrio, vidrio o de acero inoxidable con revestimiento de sílice fundida, generalmente de 6 mm (1/4 de pulgada) de diámetro exterior y de varias longitudes, con la porción central empaquetada con más de 200 mg de material adsorbente sólido, dependiendo de la densidad y la longitud del lecho de empaque. Se utiliza para concentrar los COVs del aire.
- **Concentración horaria:** Promedio de al menos 4 valores de concentración comprendidos dentro de una hora de medición (por ejemplo para el período comprendido entre las 17:00 y 17:59 hrs.).

7. Abreviaturas

- BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos.
- COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles





- CQP: Concón, Quintero y Puchuncaví.
- LSMA: Laboratorio de la Superintendencia del Medio Ambiente.
- SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.



