



Informe de resultados del monitoreo de compuestos orgánicos volátiles en aire

2024

Superintendencia del Medio Ambiente

10 de marzo, 2025



1. Contenidos

1.	Contenidos.....	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	24
4.3.1.	BTEX	24
4.3.2.	Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)	26
4.4.	Mediciones BTEX con equipos PyxisGC	31
4.4.1.	Determinación de benceno.....	31
4.4.2.	BTEX	35
5.	Conclusiones.....	37
6.	Definiciones	39
7.	Abreviaturas	39
8.	Anexo.....	40



2. Resumen ejecutivo

El presente informe detalla los resultados del “Programa de muestreo, medición y análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)” realizado en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, durante el año 2024. El programa fue ejecutado por el Laboratorio de la Superintendencia del Medio Ambiente (LSMA) y la Delegación Quintero-Puchuncaví de la Oficina Regional de Valparaíso de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Este abarcó 32 puntos de muestreo y medición a través de las siguientes estrategias de monitoreo: muestreo puntual con Canister, campaña de muestreo pasivo urbano e industrial con tubos adsorbentes, mediciones continuas de BTEX con equipos PyxisGC.

Durante el año 2024, se recolectaron ocho (8) muestras con canister, registrándose una concentración máxima de benceno de $6,14[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Además de los compuestos BTEX, se identificaron y cuantificaron otros diez (10) COVs en las comunas de Quintero y Puchuncaví, y dos (2) COVs en la Bahía de Quintero, de los resultados reportados como tolueno equivalente, en las muestras recolectadas con canister se reportaron treinta (30) COVs.

Respecto del comportamiento de los resultados, en la campaña de muestreo pasivo urbano, las concentraciones promedio de benceno obtenidas a través de tubos adsorbentes fueron de $0,92[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en la zona de Quintero-Puchuncaví, con un máximo de $1,1[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, mientras que, en Concón, el promedio fue de $1,18[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, alcanzando un máximo de $2,08[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El comportamiento del benceno muestra una tendencia estacional, con máximos entre mayo y agosto y una disminución hacia el término del año.

Los compuestos BTEX o sumatoria de BTEX, en Concón se presentó la concentración más alta, alcanzando $20,61[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el punto San Agustín 1318 (CC1), seguido de Quintero con $12,61[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el punto Av. Los Álamos 2237 (PU-10). Puchuncaví registró concentraciones de BTEX total más bajas que Concón. En todas las zonas, el tolueno y los xilenos fueron los principales contribuyentes al BTEX total (entre 30% y 50%). Los COVs reportados como tolueno equivalente, varían según la comuna, destacando en la Estación Calidad del Aire Centro de Quintero y en Concón (CC-1), con veinte (20) COVs identificados, mientras que en los demás puntos de la zona urbana no se superan los cinco (5) COVs.

Sobre la campaña de muestreo pasivo industrial, el benceno registró un promedio¹ en la zona industrial de $1,24[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ con el valor más alto en FL-C1 ($3,13[\mu\text{g}/\text{m}^3]$); en este punto el total de BTEX² también presentó la concentración más alta ($50,92[\mu\text{g}/\text{m}^3]$), donde el aporte de los xilenos fue de (49%) y tolueno (34%) como principales contribuyentes, mientras que el aporte de benceno fue el 6%. En FL-C1, se reportaron sesenta y seis (66) COVs como tolueno equivalente, superando en gran medida al segundo punto con mayor cantidad de COVs reportado: IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO), con doce (12) COVs.

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

² sumatoria de las medias de cada compuesto individual



De los resultados de las mediciones de BTEX con equipos PyxisGC se tiene que, en la zona de Concón, el promedio³ de las concentraciones horarias de benceno fue $0,82[\mu g/m^3]$, mientras que en Quintero y Puchuncaví fue de $0,48[\mu g/m^3]$. El valor máximo registrado fue de $1,01[\mu g/m^3]$ en Jardín Infantil Conconcito. No se registraron concentraciones horarias de benceno superiores a $30[\mu g/m^3]$, 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 promedios de concentración de benceno por punto de medición.



3. Antecedentes

El presente informe consolida los resultados prospectivos de muestreo, medición y análisis de los Compuestos Orgánicos Volátiles obtenidos durante el 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. 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, siendo 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.

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, a través de los siguientes objetivos específicos:

- (i) Identificar los COVs en las zonas de estudio, enfocándose en benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos
- (ii) Cuantificar prospectivamente las concentraciones de los COVs y proporcionar información detallada de los niveles
- (iii) Estimar la contribución de otros COVs en las áreas de estudio de manera semicuantitativa;
- (iv) Describir patrones temporales del benceno en el aire, utilizando datos del muestreo pasivo y mediciones automáticas
- (v) Identificar zonas con mayor presencia y concentración de COVs.

Para la consecución de los objetivos, la toma de muestras en aire se realizó 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 al uso, deben pasar por un riguroso proceso de limpieza y verificación para asegurar su correcto funcionamiento. 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). Mayor información acerca de los métodos utilizados se encuentra en el informe emitido para el año 2023, disponible en el siguiente [enlace](#)⁴.

Un resumen de los puntos de muestreo y cantidad de muestras procesadas 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	108	18	6
		Concón	Pasivo	100	20	5
		Loncura	Pasivo	50	26	2
	Campaña Urbana	Puchuncaví	Pasivo	26	26	1
		Quintero	Pasivo	76	26	3
		Ventanas	Pasivo	78	26	3
Oficina Regional Valparaíso	Muestreo con Canister	--	Puntual	8	7	5

Para el año 2024, la cantidad, así como la ubicación en algunos puntos del muestreo pasivo urbano en Quintero y Puchuncaví, se modificó respecto del año 2023, agregando un nuevo punto en Loncura, cambiando la ubicación del existente, generándose los puntos PU-9 y PU-10. En Quintero, se reemplazaron dos puntos por nuevas ubicaciones cerca de equipos PyxisGC. Las demás zonas mantuvieron sus puntos sin cambios, en total en la zona urbana de Quintero Puchuncaví se monitorearon 9 puntos. A esto se suma Concón con 5 puntos.

A partir de la revisión de los resultados del año 2023 se reestructuraron los puntos en el muestreo pasivo industrial manteniendo 3 puntos del año 2023, los que representaban mejor las condiciones en los límites industriales cercanos a zonas urbanas, y los que reportaron concentraciones más altas de BTEX, así como mayor diversidad de otros COVs. A estos tres puntos, se adicionaron 3 nuevos, su ubicación estuvo basada en un diseño estadístico enfocado en representar las condiciones costeras e industriales en Camino Playa el Bato, quedando 6 puntos de monitoreo en la zona industrial, para ser evaluados durante el año 2024.

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	58.561
	Puchuncaví		2	56.171
	Quintero		3	87.861
Total			7	202.593

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

Tabla 3: Ubicación de los 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	-	ESCUELA AMANECER	Puchuncaví	-32,73354	-71,48804
Muestreo con Canister	-	PUNTO DE FONDEO L	Puchuncaví	-32,74589	-71,51529
Muestreo con Canister	-	CESA	Puchuncaví	-32,74275	-71,48481
Muestreo con Canister	-	LA GREDA	Puchuncaví	-32,74821	-71,47673
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



Objetivo	Id	Ubicación	Comuna	Latitud	Longitud
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:

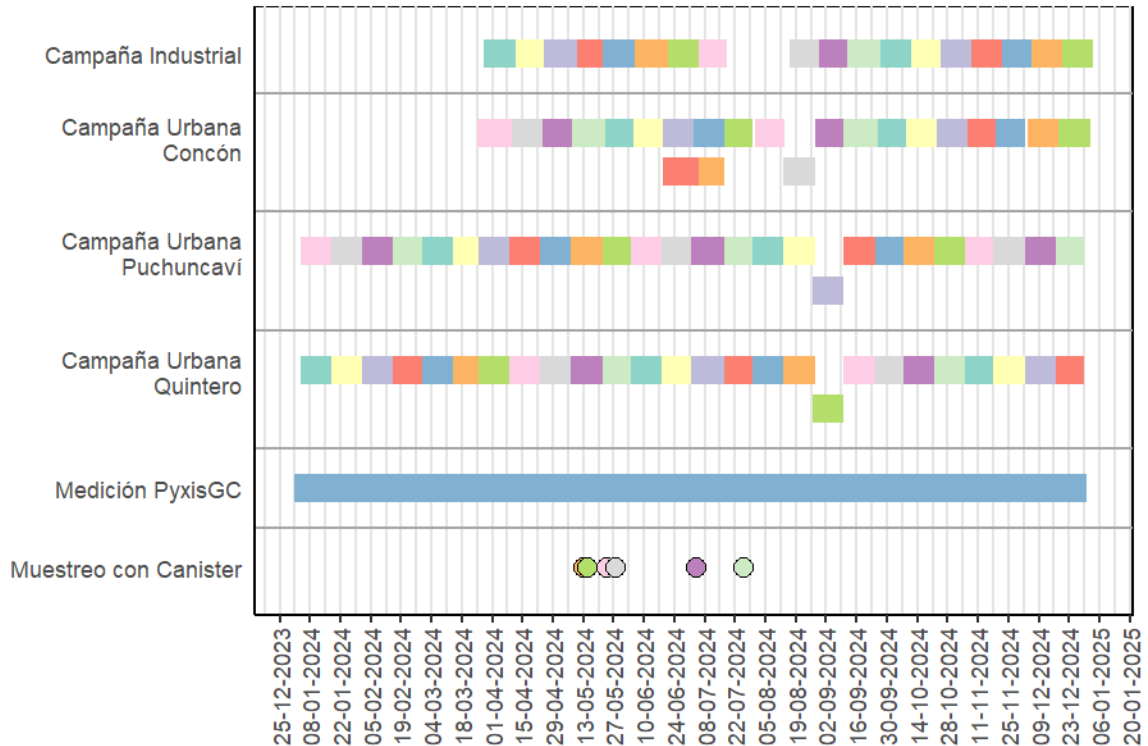


Figura 1: Distribución temporal de las actividades de muestreo y medición en Concón, Quintero y Puchuncaví - 2024.

⁵ Aquellos colores que destacan fuera de la línea temporal principal, corresponden a actividades de muestreo que presentaron un traslape temporal con otros muestreos, principalmente debido a las fechas de retiro e instalación de muestras en algunos sitios de muestreo.



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 PyxisGC y las mediciones de muestreos pasivos con tubos adsorbentes.

Durante el año 2024 se tomó un total de 8 muestras de canister en zona urbana, en 5 puntos de muestreo en Quintero y Puchuncaví.

Los resultados de las concentraciones de compuestos BTEX para cada evento de muestreo con canister se muestran en la Tabla 4. En cuanto a frecuencia y nivel de concentración, el tolueno es el compuesto predominante en la mayoría de las ubicaciones y fechas. En Escuela Amanecer (Puchuncaví) los xilenos se encontraron en concentraciones más altas que en Escuela República de Francia.

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

Zona	Comuna	Ubicación	Fecha muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos
Bahía de Quintero	Quintero	PUNTO DE FONDEO L	2024-07-26 14:00:00	2,89	7,96	<LCM	<LCM
		CESA ¹	2024-05-24 12:40:00	<LCM	1,93	<LCM	<LCM
Urbana	Puchuncaví	LA GREDA ²	2024-05-24 13:15:00	2,35	3,70	<LCM	<LCM
		ESCUELA AMANECER	2024-07-04 09:21:00	6,14	6,99	2,55	11,72
	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, en la zona urbana, presentan un máximo de $6,14[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, Escuela Amanecer en Puchuncaví. Este compuesto fue detectado por encima del límite de cuantificación del método en más de la mitad de los sitios muestreados. El tolueno se encontró en casi todas las ubicaciones, alcanzando hasta $9,52[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Etilbenceno y Xilenos generalmente estuvieron por debajo del límite de cuantificación, excepto en la Escuela República de Francia y Escuela Amanecer.



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.

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

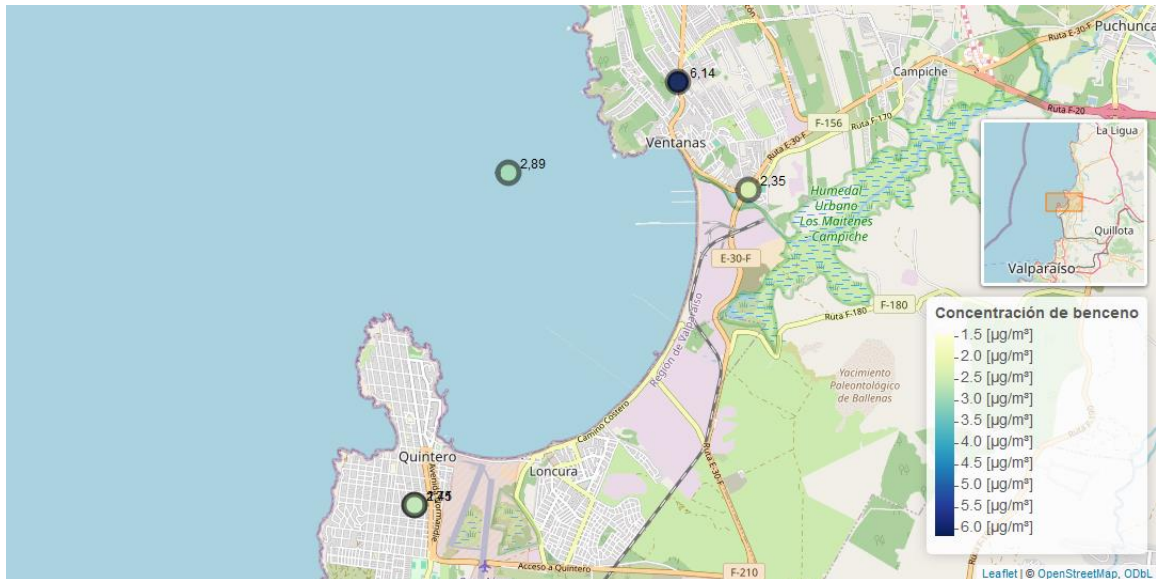


Figura 2: Mapa de concentraciones de benceno en muestras de canister - Quintero-Puchuncaví

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.



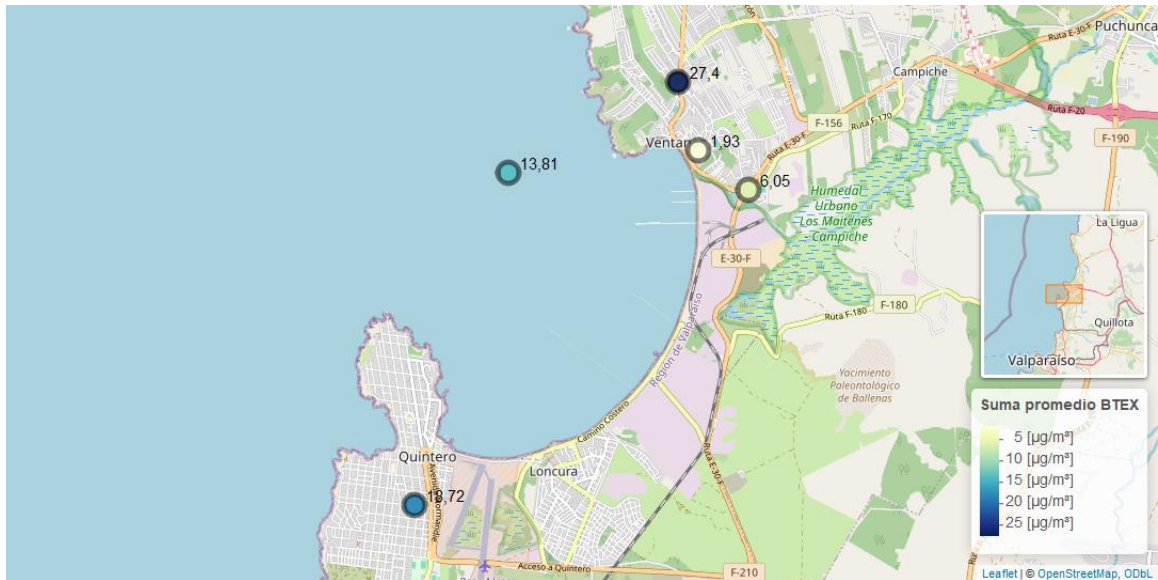


Figura 3: Mapa de concentraciones de BTEX en muestras con canister - Quintero-Puchuncaví

4.1.2. Otros COVs (cuantificables)

Además de los compuestos BTEX, la metodología se validó para cuantificar 17 compuestos.

Tanto en Quintero como en Puchuncaví se han identificado 10 COVs del tipo hidrocarburos (distintos de BTEX), mientras que en la Bahía de Quintero se identificaron 2 COVs.

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.



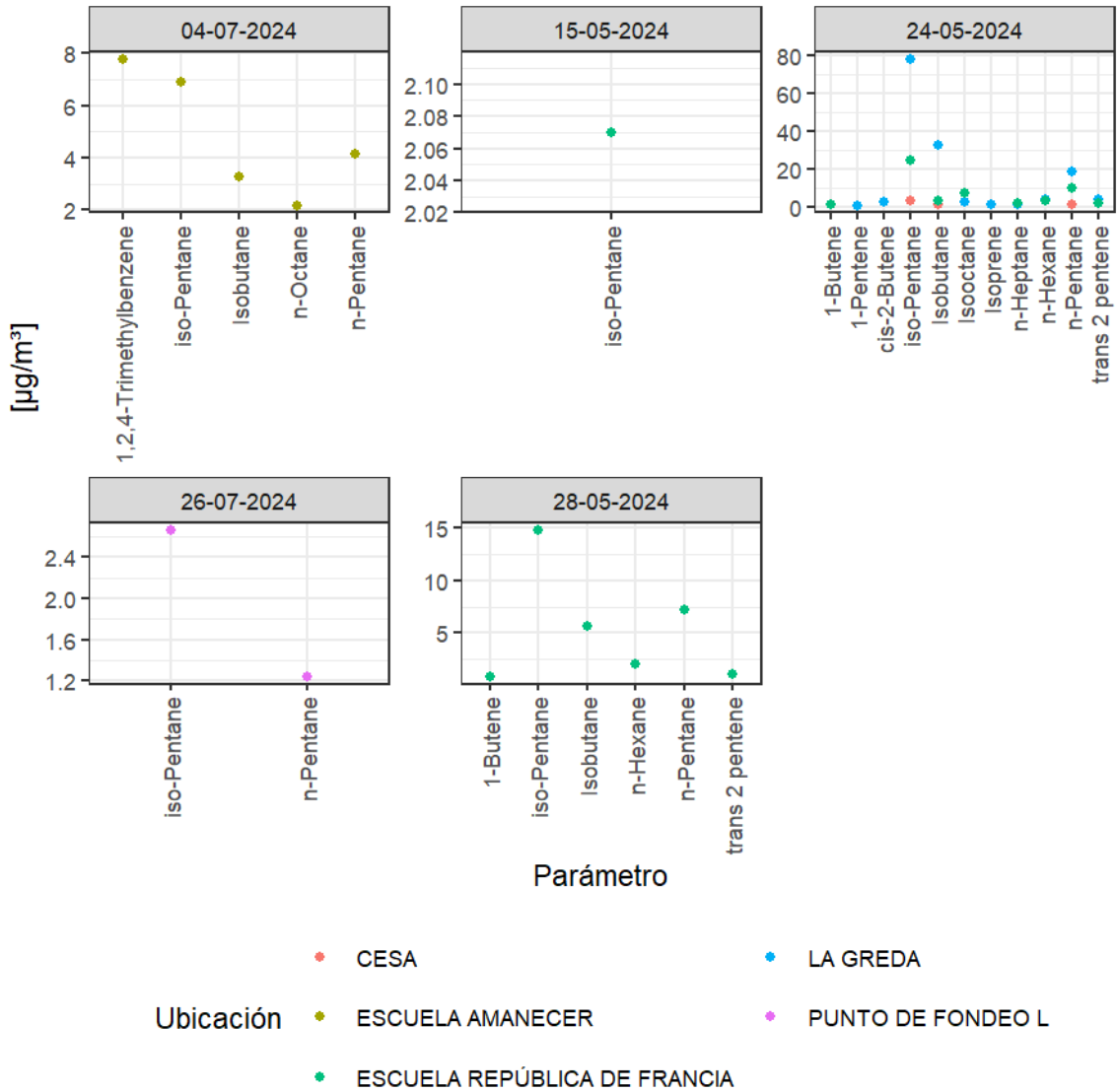


Figura 4: Concentración de otros COVs cuantificables para Quintero y Puchuncaví

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.



En la zona urbana de Quintero y Puchuncaví se han encontrado 30 COVs en total (Tabla 5), siendo la Escuela Amanecer el sitio que más COVs presentó en los muestreos con canister⁸.

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	Escuela Amanecer	2024-07-04 09:21:00	21
		La Greda	2024-05-24 13:15:00	5
		Cesa	2024-05-24 12:40:00	1
Bahía de Quintero		Punto De Fondeo L	2024-07-26 14:00:00	7
Urbana	Quintero	Escuela República De Francia	2024-05-28 11:05:00	9
		Escuela República De Francia	2024-05-24 13:20:00	6
		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 pertenecen a 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.

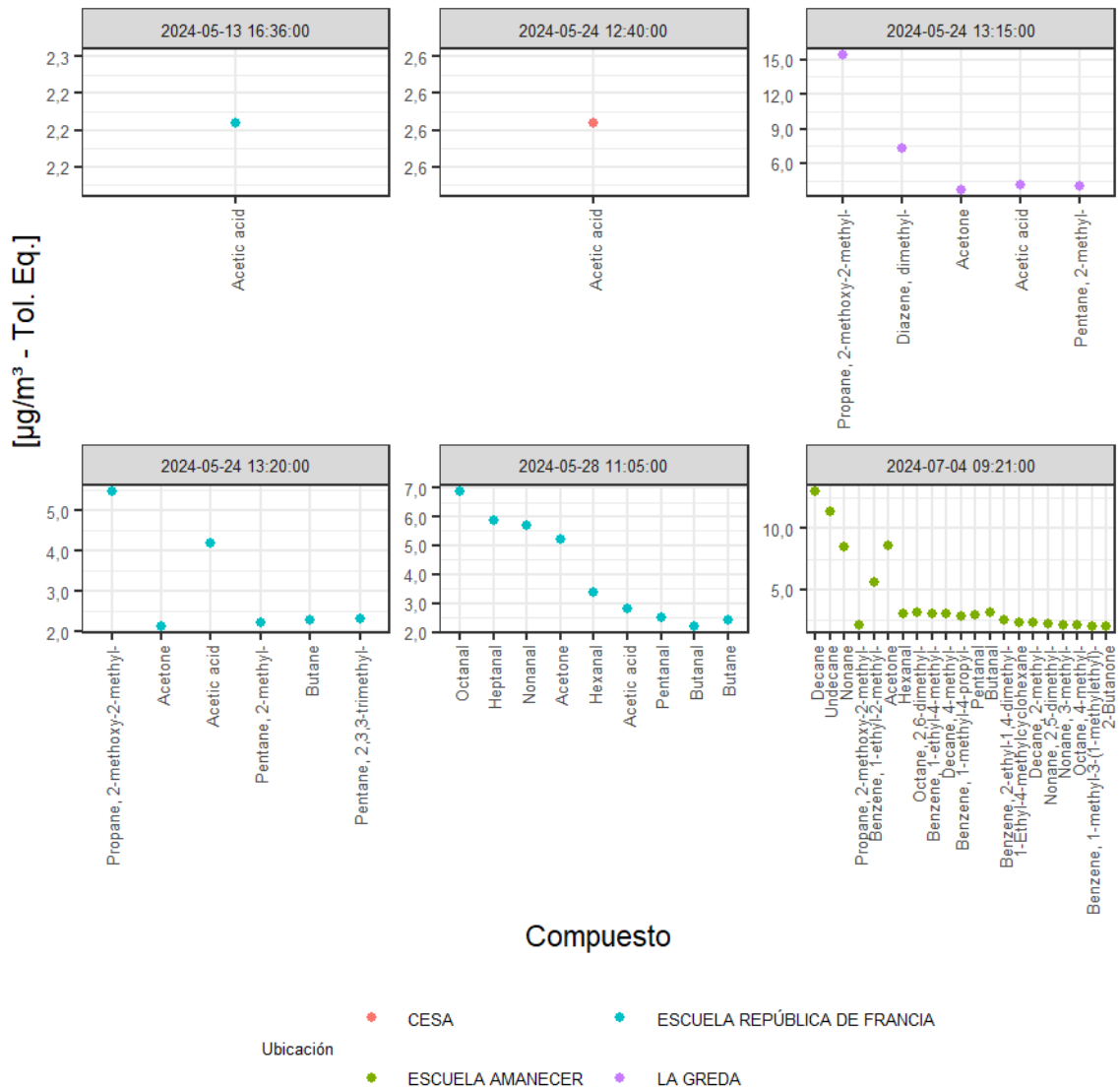
Los aldehídos son compuestos orgánicos que provienen tanto de fuentes antropogénicas (causadas por actividades humanas) como de fuentes biogénicas (naturales). Algunas fuentes antropogénicas identificadas son las emisiones de los gases de escape de los automóviles, y la evaporación de solventes. Los 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)^{9 10}

⁸ La observación consignada en el registro de muestreo indica que se percibe olor similar a carbón quemado en el área, pero que no hubo reclamos ni denuncias al respecto.

⁹ 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>

¹⁰ 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>





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 2024, se definieron 9 puntos de muestreos en Quintero y Puchuncaví, y 5 en Concón.¹¹ Se tomaron 230 muestras en Quintero y Puchuncaví, y 100 en Concón.

4.2.1. BTEX

La concentración promedio de benceno¹² en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví para el año 2024, fue de $1,01[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, con un intervalo de confianza del 95% que varía entre $0,82[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ y $1,21[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

En cuanto a los resultados de Quintero-Puchuncaví, el promedio de benceno¹³ fue de $0,92[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, con un promedio máximo de $1,1[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. Por su parte, Concón presenta un promedio de benceno¹⁴ de $1,18[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, con un promedio máximo de $2,08[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, 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 en 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.

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

Comuna	Ubicación	Id	n	Mín	Prome dio	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,27 - 5,18
Concón	San Agustín 1318	CC-1	20	0,97	2,08	5,18	1,04	
Concón	San Agustín 390	CC-2	20	0,45	1,12	2,80	0,60	
Concón	La Pinta 260	CC-4	20	0,47	1,09	2,07	0,50	
Concón	Jardín Infantil Conconcito	CC-3	20	0,35	0,84	2,03	0,41	
Concón	Los Totorales 197	CC-5	20	0,30	0,76	1,52	0,34	
Puchuncaví	Colegio General Velásquez	PU-1	26	0,37	1,03	2,57	0,62	
Puchuncaví	Estación De Monitoreo La Greda	PU-4	26	0,27	0,89	2,82	0,63	
Puchuncaví	Estación De Monitoreo Ventanas	PU-3	26	0,29	0,78	1,80	0,39	
Puchuncaví	Calle Norte 17 - 59	PU-2	26	0,29	0,68	1,43	0,33	

¹¹ 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.

¹² Calculada como la media de las concentraciones promedio de cada punto muestreado para el período informado.

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

¹⁴ Calculado a partir de las concentraciones promedio de cada punto muestreado



Comuna	Ubicación	Id	n	Mín	Promedio	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,27 - 5,18
Quintero	Av. Los Álamos 2237	PU-10	26	0,41	1,10	2,60	0,54	█ █ █ █ █ ○
Quintero	Yungay 1454	PU-9	24	0,42	1,09	2,47	0,50	█ █ █ █ █ █
Quintero	Estación De Calidad Del Aire Centro Quintero	PU-11	25	0,37	0,98	2,64	0,58	█ █ █ █ █ ○
Quintero	Colegio Alonso De Quintero - Sede Baquedano	PU-12	25	0,36	0,87	2,34	0,50	█ █ █ █ █ ○
Quintero	Pasaje 8	PU-8	26	0,29	0,86	2,46	0,53	█ █ █ █ █ █

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. La Figura 7 presenta la distribución espacial de las concentraciones promedio de benceno para Concón.

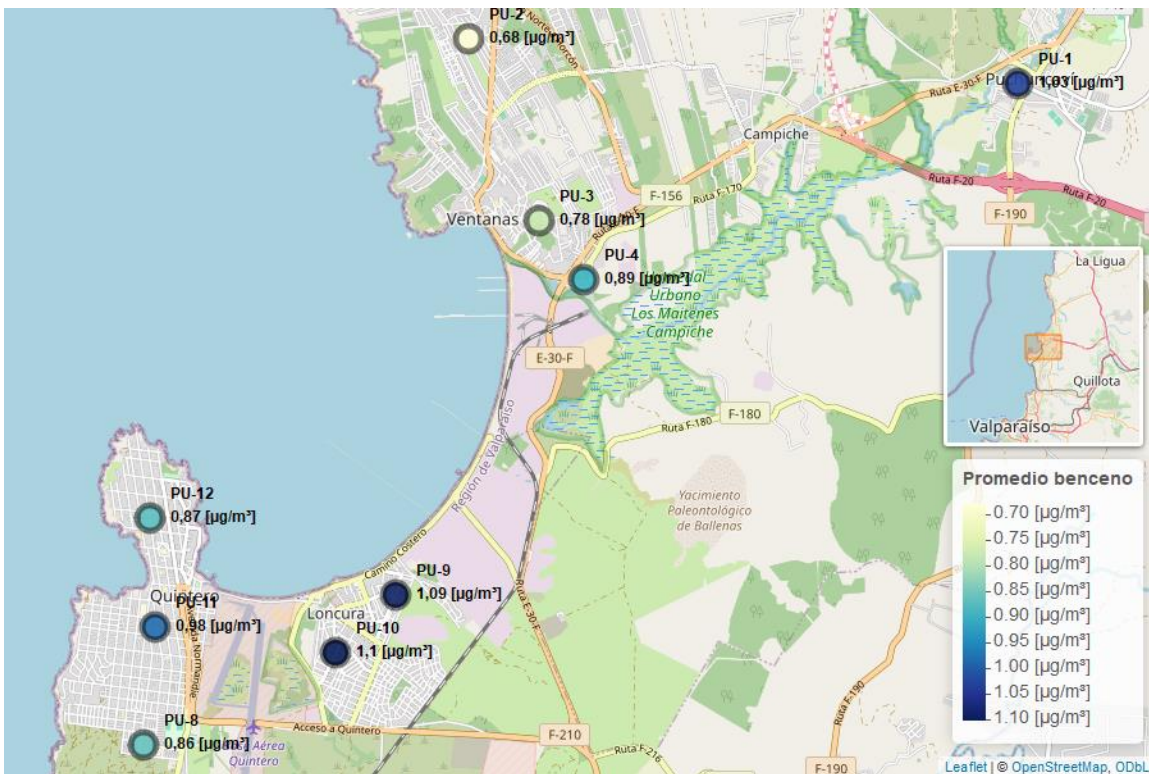


Figura 6: Mapa de concentraciones de benceno en Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024



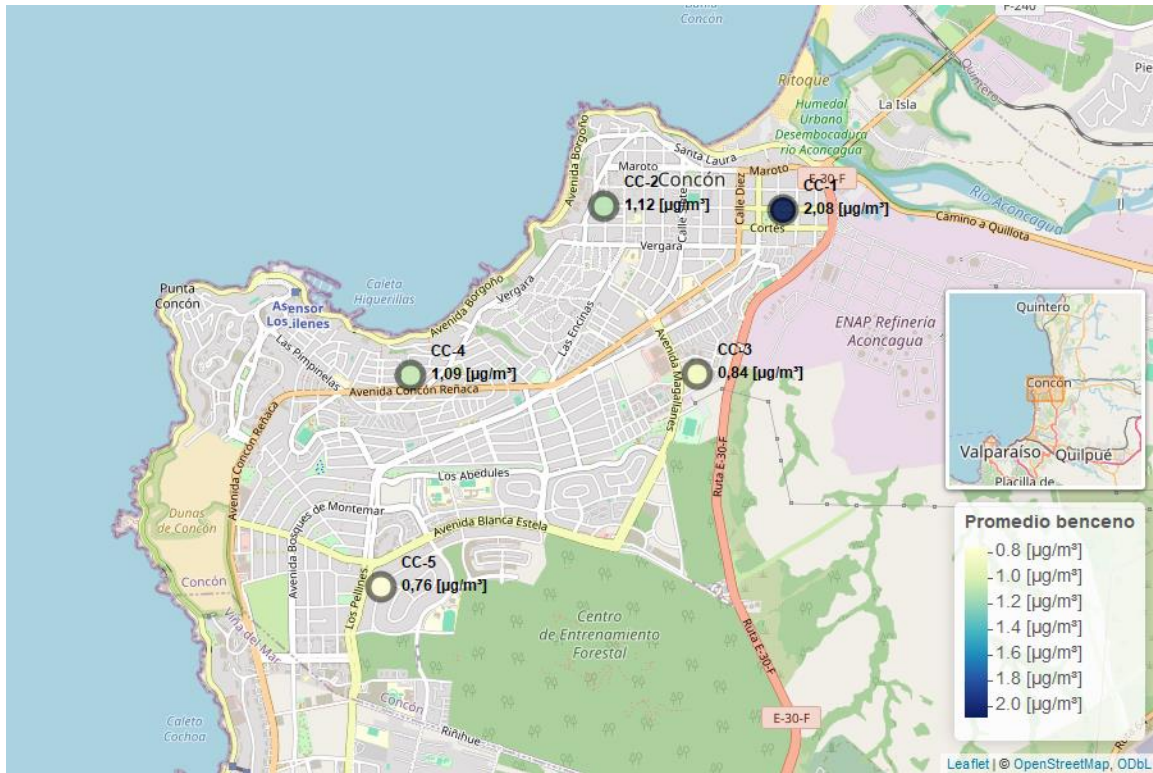


Figura 7: Mapa de concentraciones de benceno en Concón - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024

Las Figuras 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, respectivamente¹⁵.

De acuerdo con estas figuras, 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 llegando a los $2,82[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ ¹⁶. En el caso de Concón, destaca el punto CC-1 que presenta las mayores concentraciones de benceno respecto de los otros puntos de muestreo, con un máximo puntual de $5,18[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. En Quintero Puchuncaví como en Concón, se observa un aumento de las concentraciones de benceno entre los meses de mayo y agosto en la mayoría de los puntos, seguido de una disminución que va desde septiembre en adelante.

¹⁵ La fecha de la figura corresponde a la fecha de inicio de muestreo, que tiene una duración de 2 semanas.

¹⁶ No se incluyen los puntos de muestreo PU-6 y PU-7 por tener un solo dato disponible.



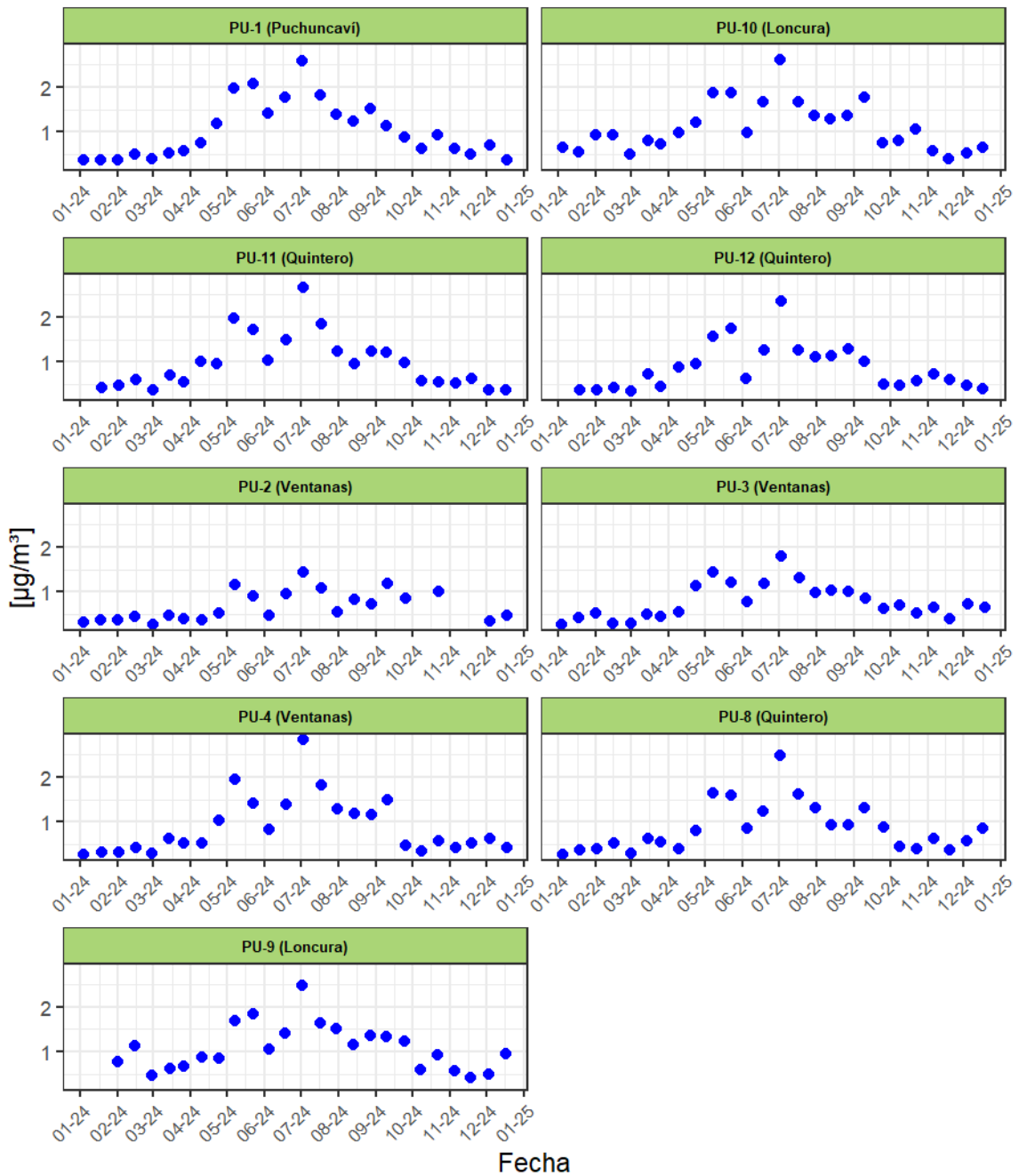


Figura 8: Serie de tiempo de concentraciones de benceno en Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024 (fecha en la figura corresponde al inicio del muestreo)



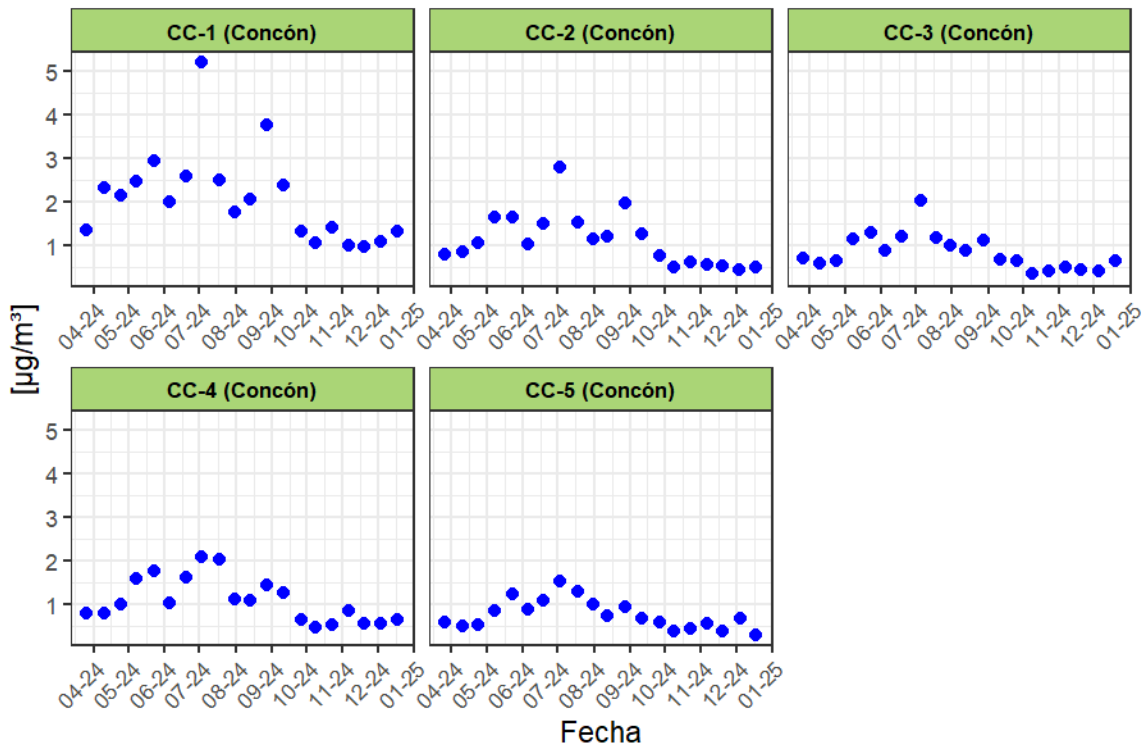


Figura 9: Serie de tiempo de concentraciones de benceno en Concón - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024 (fecha en la figura corresponde al inicio del muestreo)

En cuanto a las concentraciones de BTEX, la Tabla 7¹⁷ presenta un resumen de los resultados por cada compuesto y punto de muestreo, la concentración de BTEX total¹⁸, 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 registra la concentración promedio más alta y los mayores aportes al BTEX total.

¹⁷ La suma del porcentaje de aporte al BTEX total puede variar del 100% debido al redondeo de decimales.

¹⁸ 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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$];).¹⁹

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: 0,35 - 42,43
Concón	San Agustín 1318	CC-1	20	20,61	2,08 (10%)	1,96 (10%)	6,17 (30%)	10,4 (50%)	---■---○
Concón	San Agustín 390	CC-2	20	7,21	1,12 (16%)	0,72 (10%)	2,15 (30%)	3,22 (45%)	■---■
Concón	La Pinta 260	CC-4	20	6,73	1,09 (16%)	0,66 (10%)	2,12 (32%)	2,86 (42%)	■---■
Concón	Jardín Infantil Conconcito	CC-3	20	5,26	0,84 (16%)	0,54 (10%)	1,55 (29%)	2,33 (44%)	■---■
Concón	Los Totorales 197	CC-5	20	4,47	0,76 (17%)	0,44 (10%)	1,27 (28%)	2 (45%)	■---○
Puchuncaví	Colegio General Velásquez	PU-1	26	7,23	1,03 (14%)	0,81 (11%)	2,09 (29%)	3,3 (46%)	■---■---○
Puchuncaví	Estación De Monitoreo La Greda	PU-4	26	5,32	0,89 (17%)	0,5 (9%)	1,65 (31%)	2,28 (43%)	■---○
Puchuncaví	Estación De Monitoreo Ventanas	PU-3	26	3,60	0,78 (22%)	0,35 (10%)	1,22 (34%)	1,25 (35%)	■---○
Puchuncaví	Calle Norte 17 - 59	PU-2	26	2,79	0,68 (24%)	0,28 (10%)	0,88 (32%)	0,95 (34%)	■---○
Quintero	Av. Los Álamos 2237	PU-10	26	12,61	1,1 (9%)	2,2 (17%)	2,35 (19%)	6,96 (55%)	■---■---○
Quintero	Yungay 1454	PU-9	24	7,22	1,09 (15%)	0,67 (9%)	2,56 (35%)	2,9 (40%)	■---■
Quintero	Estación De Calidad Del Aire Centro Quintero	PU-11	25	6,81	0,98 (14%)	0,75 (11%)	2,3 (34%)	2,78 (41%)	■---■---○
Quintero	Pasaje 8	PU-8	26	4,87	0,86 (18%)	0,49 (10%)	1,79 (37%)	1,73 (36%)	■---○
Quintero	Colegio Alonso De Quintero - Sede Baquedano	PU-12	25	4,77	0,87 (18%)	0,46 (10%)	1,77 (37%)	1,67 (35%)	■---○

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 42 COVs reportados en unidades de *tolueno equivalente*, en los 14 sitios de muestreo (ver Tabla 8).

En el caso de Quintero se identificaron 20 COVs en el punto PU-11 (lo que representa el punto con la mayor cantidad de COVs detectados de toda la zona de estudio), seguido de PU-12 con 12 COVs. Por su parte, en Concón se identificaron 19 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 punto PU-1 y PU-3, siendo los puntos con más

¹⁹ Se excluyeron estos datos atípicos para una mejor representación de la distribución de BTEX en la Tabla 7



detecciones en esta comuna; esta zona presenta la menor cantidad de COVs, comparada con Quintero y Concón.

Tabla 8: Campaña Muestreo Pasivo Urbano en Concón, Quintero y Puchuncaví 2024 - Frecuencia de otros COVs

Comuna	Id	Total COVs identificados
Concón	CC-1	19
	CC-2	3
	CC-3	3
	CC-4	4
	CC-5	3
Puchuncaví	PU-1	4
	PU-2	2
	PU-3	4
	PU-4	3
Quintero	PU-10	5
	PU-11	20
	PU-12	12
	PU-8	4
	PU-9	3

El detalle de los compuestos identificados y su frecuencia (en el caso de que el compuesto haya sido detectado al menos 2 veces en un mismo punto, o bien, que el mismo compuesto haya sido detectado en al menos 2 puntos de muestreo diferentes aunque sea solo una vez en cada uno), se presenta en las tablas 9 y 10, para Quintero-Puchuncaví y Concón, respectivamente.²⁰

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	6	6	15	10	--	--	--	--	--
	Benzoic acid	8	11	11	7	--	--	--	--	--
	Eucalyptol	1	--	--	1	--	--	--	--	--
Quintero	Acetophenone	--	--	--	--	3	1	1	3	1
	Benzaldehyde	--	--	--	--	15	13	15	14	7
	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	--	--	--	--	1	--	--	--	--
	Benzoic acid	--	--	--	--	9	10	15	16	7

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	Acetophenone	1	2	2	2	3
	Benzaldehyde	8	12	11	11	13
	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	9	--	--	--	--

²⁰ Los compuestos que aparecieron solo una vez en un único punto no se incluyen en las tablas, ya que se considera como algo puntual.



Comuna	Parámetro	CC-1	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5
	Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	4	--	--	--	--
	Benzoic acid	6	11	12	11	11
	Cyclohexane	2	--	--	--	--
	Cyclohexane, methyl-	7	--	--	--	--
	Decane	5	--	--	--	--
	Heptane	8	--	--	--	--
	Heptane, 2-methyl-	2	--	--	--	--
	Nonane	6	--	--	--	--
	Octane	9	--	--	--	--

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



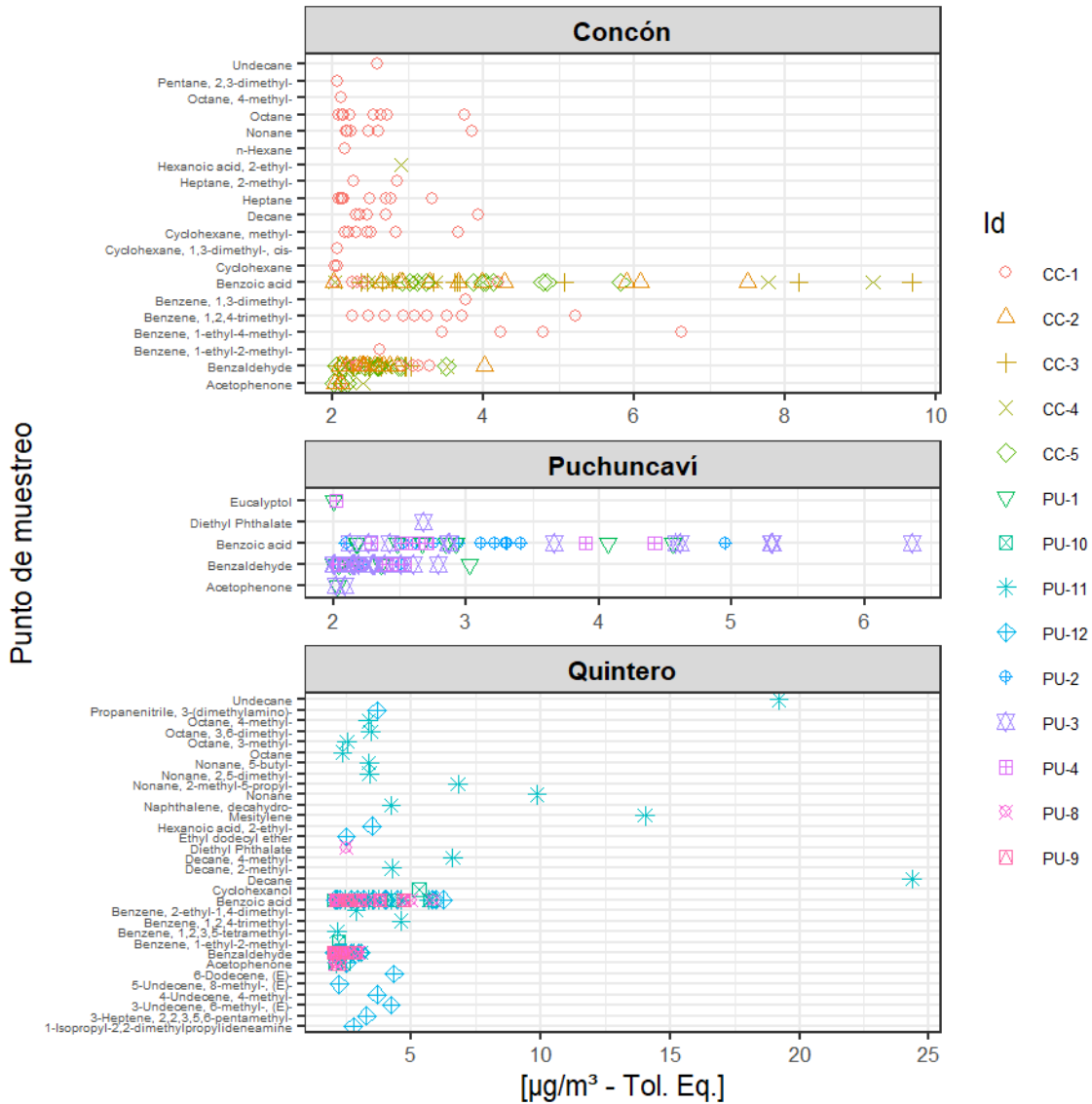


Figura 10: Concentraciones de otros COVs en [µg/m³ - Tol. Eq.], en Concón, Quintero y Puchuncaví - Campaña Muestreo Pasivo Urbano 2024

Entre los compuestos destacados de la Figura 10 se encuentra el ácido benzoico, 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)²¹.

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)²²

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 definieron 6 puntos de muestreo, todos ubicados en la zona industrial de 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 benceno²³ de 1,23[$\mu\text{g}/\text{m}^3$], siendo el promedio más alto de 3,13[$\mu\text{g}/\text{m}^3$], 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 2024 - Concentraciones de benceno en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Ubicación	n	Promedio	Mín	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,33 - 4,95
FL-C1	18	3,13	1,26	4,95	0,94	┆---█---┆
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	18	1,24	0,55	2,13	0,43	┆█┆○
IND-5 / RUTA F-188	18	0,85	0,49	1,53	0,29	█┆○

²¹ 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>

²² 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>

²³ Calculado como la media de las concentraciones promedio de cada punto de muestreo.



Ubicación	n	Promedio	Mín	Máx	s	Distribución Benceno Rango: 0,33 - 4,95
FL-E8	18	0,83	0,47	1,42	0,29	
IND-4 / RUTA F-188	18	0,75	0,35	1,31	0,32	
FL-E5	18	0,61	0,33	1,09	0,21	

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.

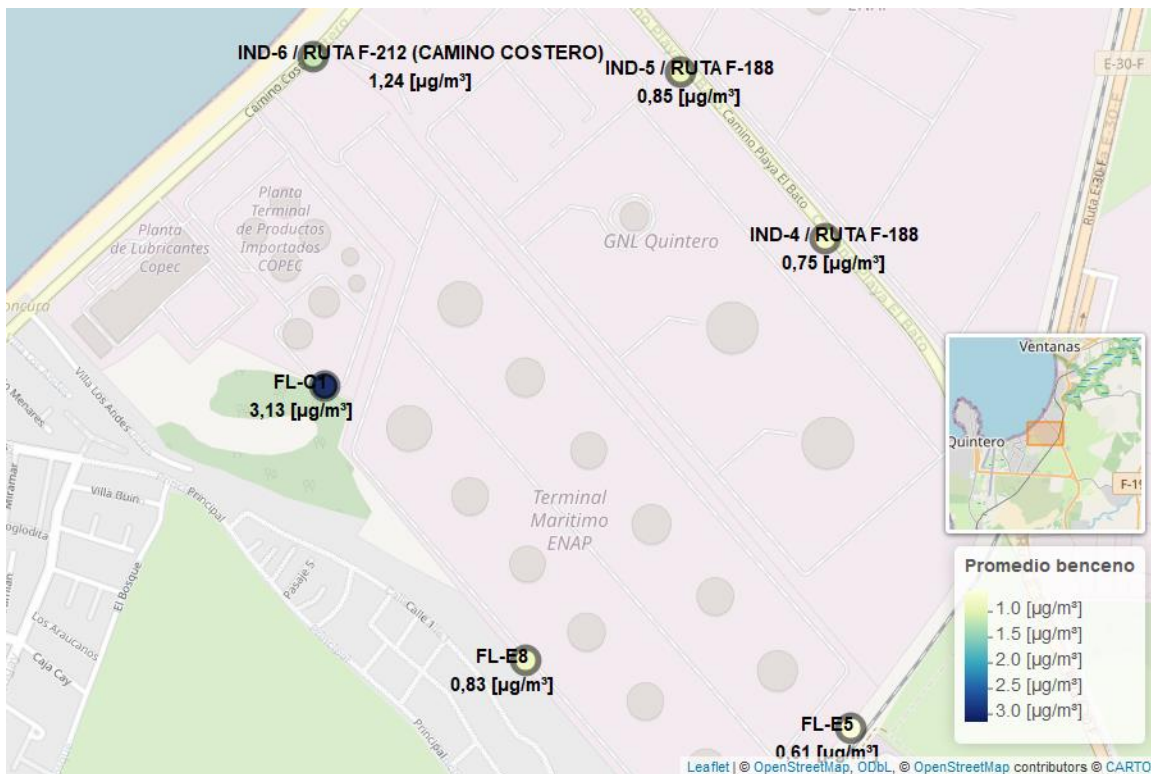


Figura 11: Mapa de concentraciones de benceno en Zona Industrial de Quintero - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

La Tabla 12²⁴ 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 distribución de las concentraciones de BTEX total se presenta en la última columna, donde se observa

²⁴ La suma del porcentaje de aporte al BTEX total puede variar del 100% debido al redondeo de decimales.



mayor variabilidad de concentraciones en el punto FL-C1, en comparación con los otros puntos de muestreo.

Tabla 12: Campaña Muestreo Pasivo Industrial en Quintero 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 - 86,12
FL-C1	18	50,92	3,13 (6%)	17,53 (34%)	5,47 (11%)	24,79 (49%)	┌───┴───┐
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	18	12,00	1,24 (10%)	4,68 (39%)	1,24 (10%)	4,84 (40%)	○ ○ ○
IND-4 / RUTA F-188	18	6,55	0,75 (11%)	2,07 (32%)	0,9 (14%)	2,83 (43%)	○ ○ ○
IND-5 / RUTA F-188	18	6,99	0,85 (12%)	2,8 (40%)	0,72 (10%)	2,62 (37%)	○ ○ ○
FL-E8	18	5,74	0,83 (14%)	2,17 (38%)	0,54 (9%)	2,2 (38%)	○ ○ ○
FL-E5	18	3,94	0,61 (15%)	1,31 (33%)	0,47 (12%)	1,55 (39%)	○ ○ ○

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 ($24,79[\mu\text{g}/\text{m}^3]$). Los xilenos son el principal contribuyente al total de BTEX (49%), seguidos por el tolueno (34%). El benceno, aunque presente, tiene la menor contribución (6%).
- En la ubicación IND-5 / RUTA F-188 se presenta la mayor contribución al total de BTEX por parte del tolueno (40%) en comparación con los demás puntos, con los xilenos también representando una proporción importante (37%) de la contribución. El etilbenceno presenta la menor contribución a los BETX (10%).

4.3.2. Otros COVs (reportados como Tolueno Equivalente)

Durante la campaña de muestreo pasivo industrial se identificó un total de 70 COVs (distintos de BTEX), distribuyéndose de la siguiente manera en los distintos puntos de muestreo (Tabla 13), donde destaca el punto FL-C1 con 66 compuestos identificados:

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

Ubicación	Total COVs identificados
FL-C1	66
IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)	12
IND-5 / RUTA F-188	7
FL-E8	4
FL-E5	3
IND-4 / RUTA F-188	3



La frecuencia de los COVs identificados en la zona industrial se presenta en la Tabla 14. Para cada punto de muestreo se presentan los compuestos que se repiten 2 o más veces. La ubicación FL-C1 presenta la mayor diversidad y frecuencia de COVs, respecto de las otras ubicaciones.

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

Parámetro	FL-C1	FL-E8	IND-4 / RUTA F-188	IND-5 / RUTA F-188	FL-E5	IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)
1-Ethyl-3-methylcyclohexane (c,t)	12	--	--	--	--	--
1-Ethyl-4-methylcyclohexane	6	--	--	--	--	--
4,4-Dimethyl octane	2	--	--	--	--	--
Acetophenone	5	2	3	2	--	--
Benzaldehyde	3	7	9	11	6	4
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	3	--	--	--	--	--
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	14	--	--	--	--	--
Benzene, 1,4-diethyl-	7	--	--	--	--	--
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	13	--	--	--	--	--
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	12	--	--	--	--	2
Benzene, propyl-	10	--	--	--	--	--
Benzoic acid	11	11	10	10	9	4
Cyclohexane	13	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,1,2-trimethyl-	5	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,1,3-trimethyl-	15	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,2-dimethyl-, trans-	12	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,3-dimethyl-, cis-	13	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,3-dimethyl-, trans-	6	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,4-dimethyl-	8	--	--	--	--	--
Cyclohexane, 1,4-dimethyl-, cis-	2	--	--	--	--	--
Cyclohexane, butyl-	4	--	--	--	--	--
Cyclohexane, ethyl-	17	--	--	--	--	--
Cyclohexane, methyl-	18	--	--	--	--	12
Cyclohexane, propyl-	12	--	--	--	--	--
Cyclopentane, 1,2,4-trimethyl-	3	--	--	--	--	--
Cyclopentane, ethyl-	6	--	--	--	--	--
Cyclopentane, methyl-	10	--	--	--	--	--
Decane	17	--	--	--	--	--
Decane, 4-methyl-	2	--	--	--	--	--
Heptane	17	--	--	--	--	8
Heptane, 2,3-dimethyl-	2	--	--	--	--	--
Heptane, 2,5-dimethyl-	5	--	--	--	--	--
Heptane, 2,6-dimethyl-	9	--	--	--	--	--
Heptane, 2-methyl-	16	--	--	--	--	--
Heptane, 3-methyl-	17	--	--	--	--	--
Hexane, 2-methyl-	12	--	--	--	--	--
Hexane, 3-methyl-	12	--	--	--	--	--
Mesitylene	13	--	--	--	--	--
Naphthalene, decahydro-	3	--	--	--	--	--
Nonane	12	--	--	--	--	4
Nonane, 2,6-dimethyl-	4	--	--	--	--	--
Nonane, 2-methyl-	5	--	--	--	--	--
Nonane, 3-methyl-	6	--	--	--	--	--
Octane	18	--	--	--	--	9
Octane, 2,5-dimethyl-	4	--	--	--	--	--



Parámetro	FL-C1	FL-E8	IND-4 / RUTA F-188	IND-5 / RUTA F-188	FL-E5	IND-6 / RUTA F-212 (CAMINO COSTERO)
Octane, 2-methyl-	7	--	--	--	--	--
Octane, 3,6-dimethyl-	13	--	--	--	--	--
Octane, 3-methyl-	16	--	--	--	--	--
Octane, 4-methyl-	15	--	--	--	--	--
Undecane	17	--	--	--	--	--
n-Hexane	15	--	--	--	--	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:



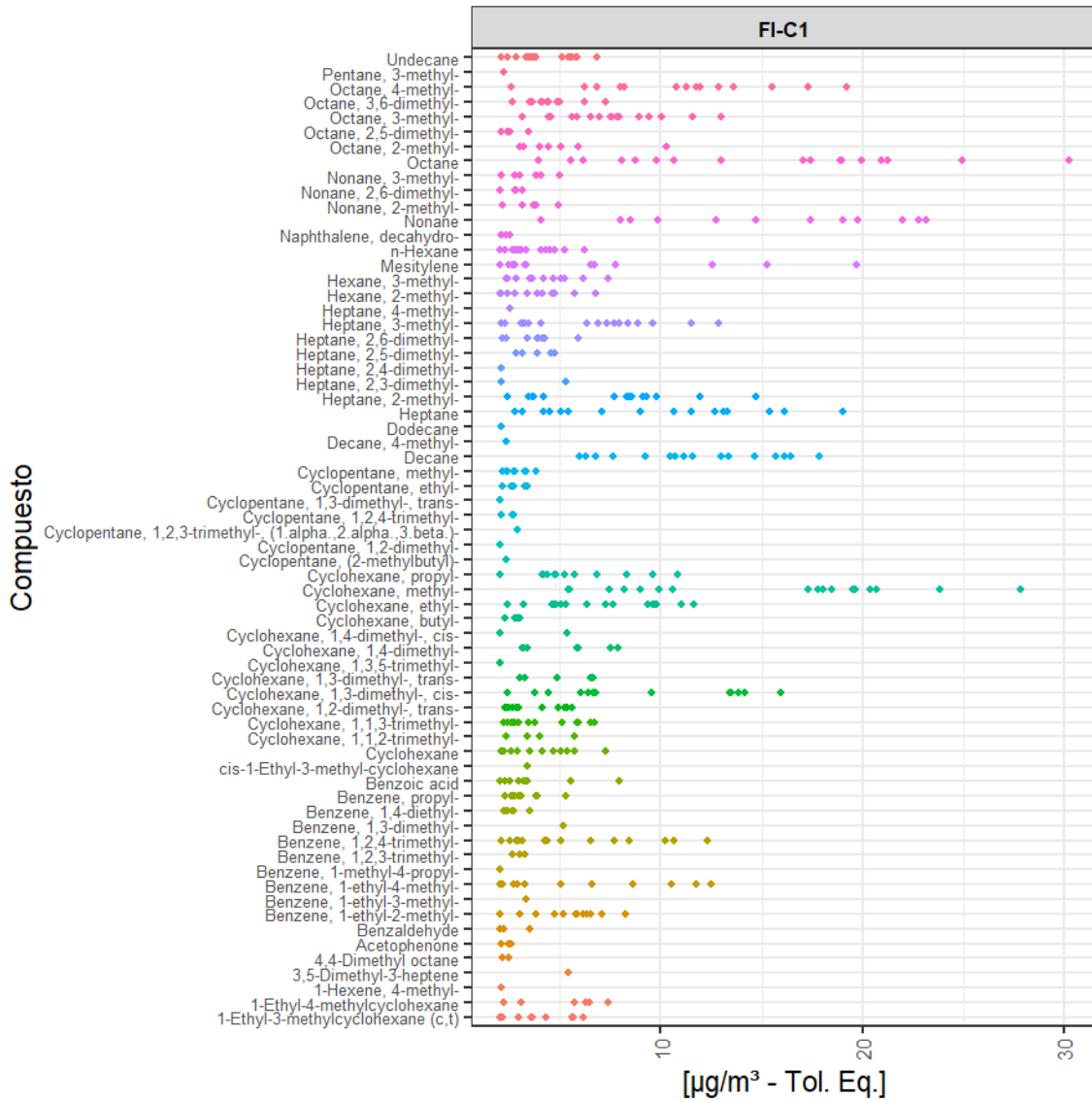


Figura 12: Concentraciones de otros COVs para FL-C1 - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

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



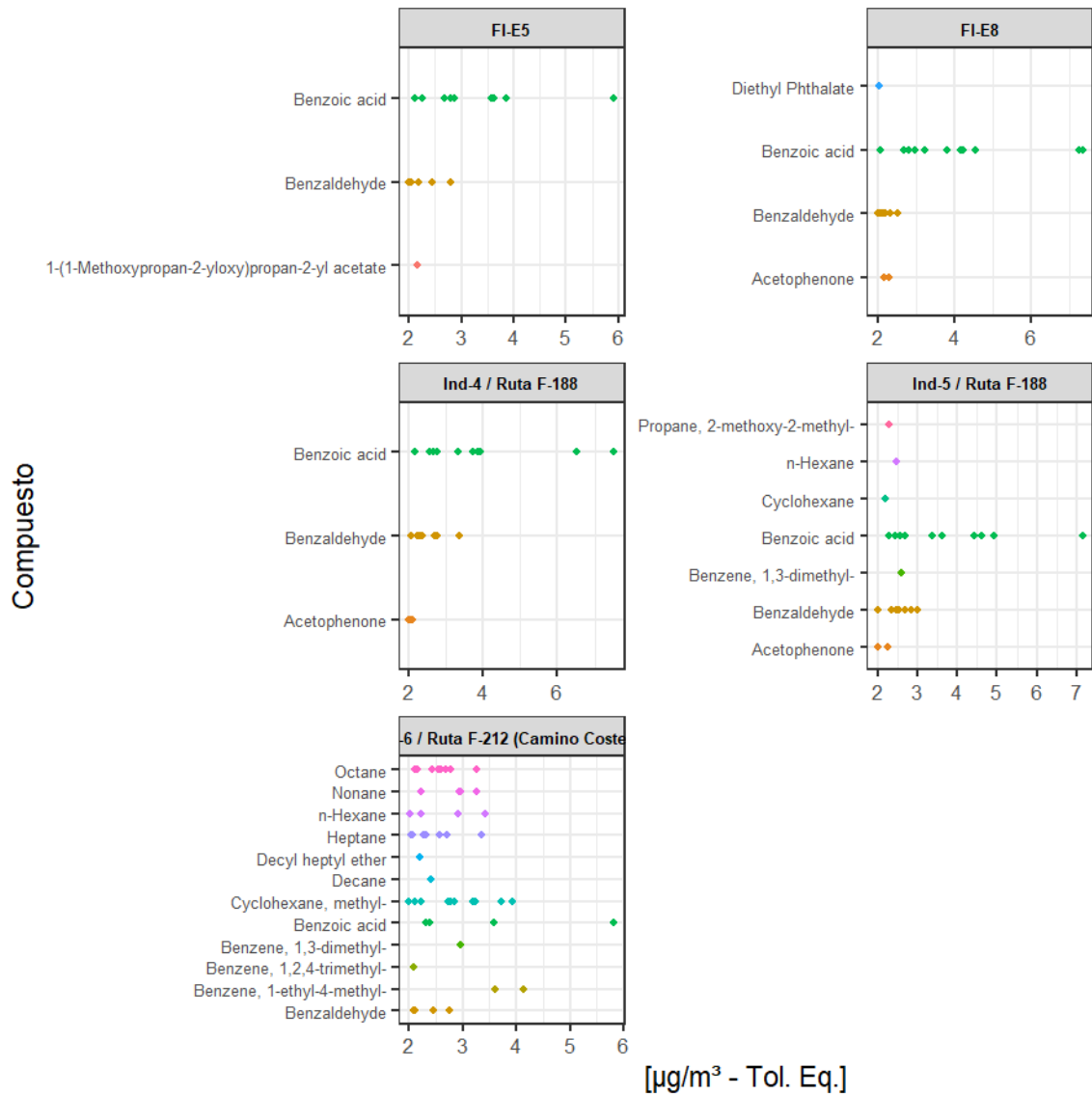


Figura 13: Concentraciones de otros COVs (todos los puntos excepto FL-C1) - Campaña Muestreo Pasivo Industrial 2024

En la zona industrial y urbana de Quintero y Puchuncaví se identificaron 16 COVs (sin considerar BTEX) comunes a ambas zonas; 17 compuestos únicos asociados a la zona urbana y 59 compuestos únicos asociados a la zona industrial (Figura 14).



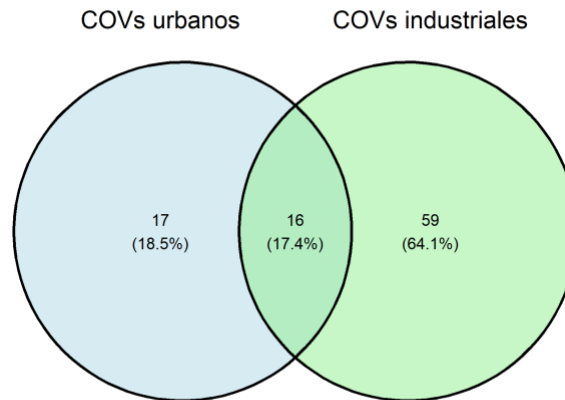


Figura 14: Diagrama de Venn de COVs urbanos e industriales en Quintero

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 minutales²⁵ validadas de cada equipo PyxisGC.²⁶

4.4.1. Determinación de benceno

El promedio²⁷ de las concentraciones horarias de benceno, en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví fue de $0,58[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; para la zona de **Quintero-Puchuncaví**, el promedio de las concentraciones horarias de benceno fue de $0,48[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, mientras que en **Concón** fue de $0,82[\mu\text{g}/\text{m}^3]$. El mayor promedio de las concentraciones horarias se registró en Jardín Infantil Conconcito (Pyxis 04) y corresponde a un valor de $1,01[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; por otra parte, el menor promedio de concentración horaria se registró en Colegio Alonso de Quintero - Sede Baquedano (Pyxis 07) con un valor de $0,31[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.

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

²⁵ Datos generados cada 10 minutos.

²⁶ 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.

²⁷ Calculado como la media de los promedios de cada punto de medición durante el año 2024.



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	7.989	0,40	0,03	9,46	0,59	2024-09-16 04:00:00
Pyxis 02	Estación de Calidad del Aire Ventanas - Fundación las Rosas	Puchuncaví	7.554	0,42	0,03	5,55	0,39	2024-06-10 08:00:00
Pyxis 03	Escuela Puente Colmo	Concón	8.191	0,63	0,03	4,45	0,48	2024-06-10 10:00:00
Pyxis 04	Jardín Infantil Conconcito	Concón	6.465	1,01	0,07	12,90	0,65	2024-01-16 11:00:00
Pyxis 05	Escuela República de Francia	Quintero	6.358	0,67	0,04	22,77	0,76	2024-07-09 09:00:00
Pyxis 06	Complejo Educacional Sargento Aldea	Puchuncaví	6.612	0,60	0,04	16,04	0,96	2024-06-25 20:00:00
Pyxis 07	Colegio Alonso de Quintero - Sede Baquedano	Quintero	7.633	0,31	0,03	9,11	0,40	2024-09-01 03:00:00

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 15 y 16, para Quintero-Puchuncaví y Concón, respectivamente:

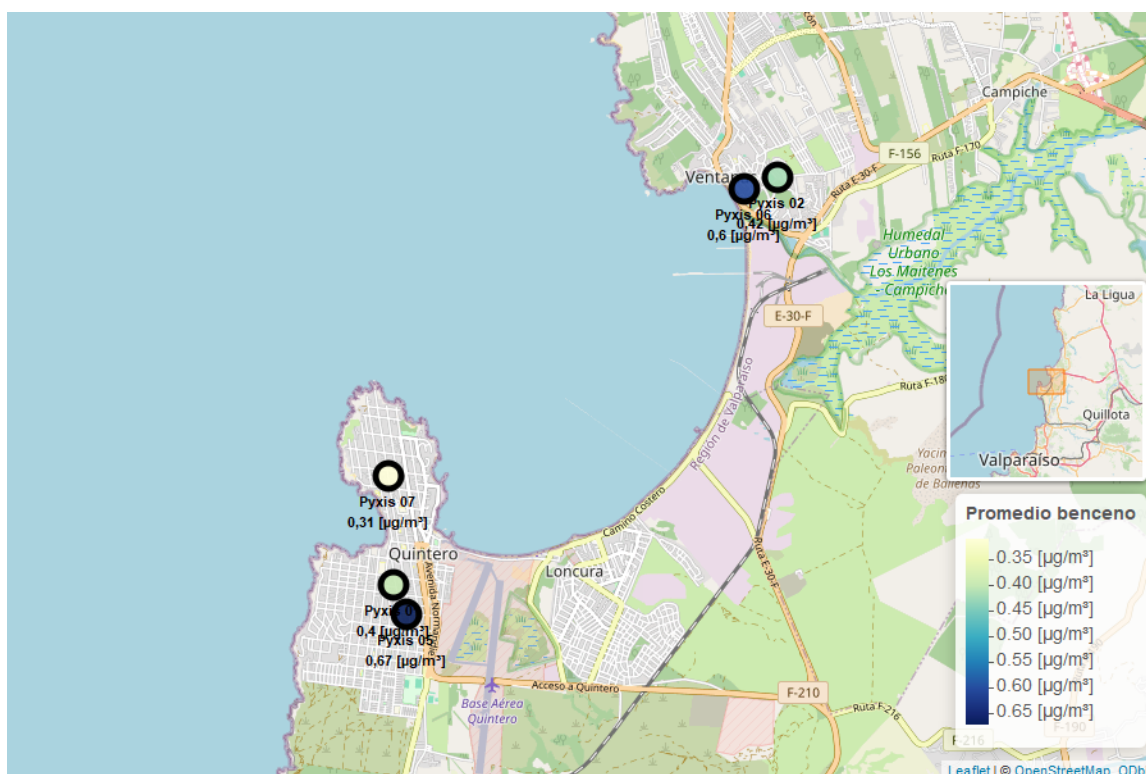


Figura 15: Mapa del promedio de las concentraciones horarias de benceno - Equipos PyxisGC en Quintero y Puchuncaví 2024



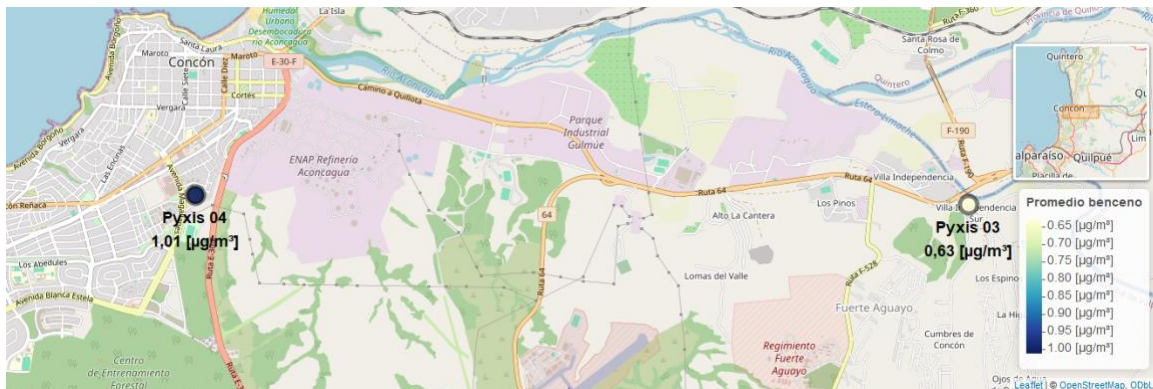


Figura 16: Mapa del promedio de las concentraciones horarias de benceno - Equipos PyxisGC en Concepción 2024

No se registraron concentraciones de benceno que superen los $30[\mu g/m^3]$ como promedio horario.

Variabilidad temporal del benceno en Concepción, Quintero y Puchuncaví

A partir de las concentraciones horarias de benceno, se presentan cuatro series de tiempo de concentración, como lo muestra la Figura 17.

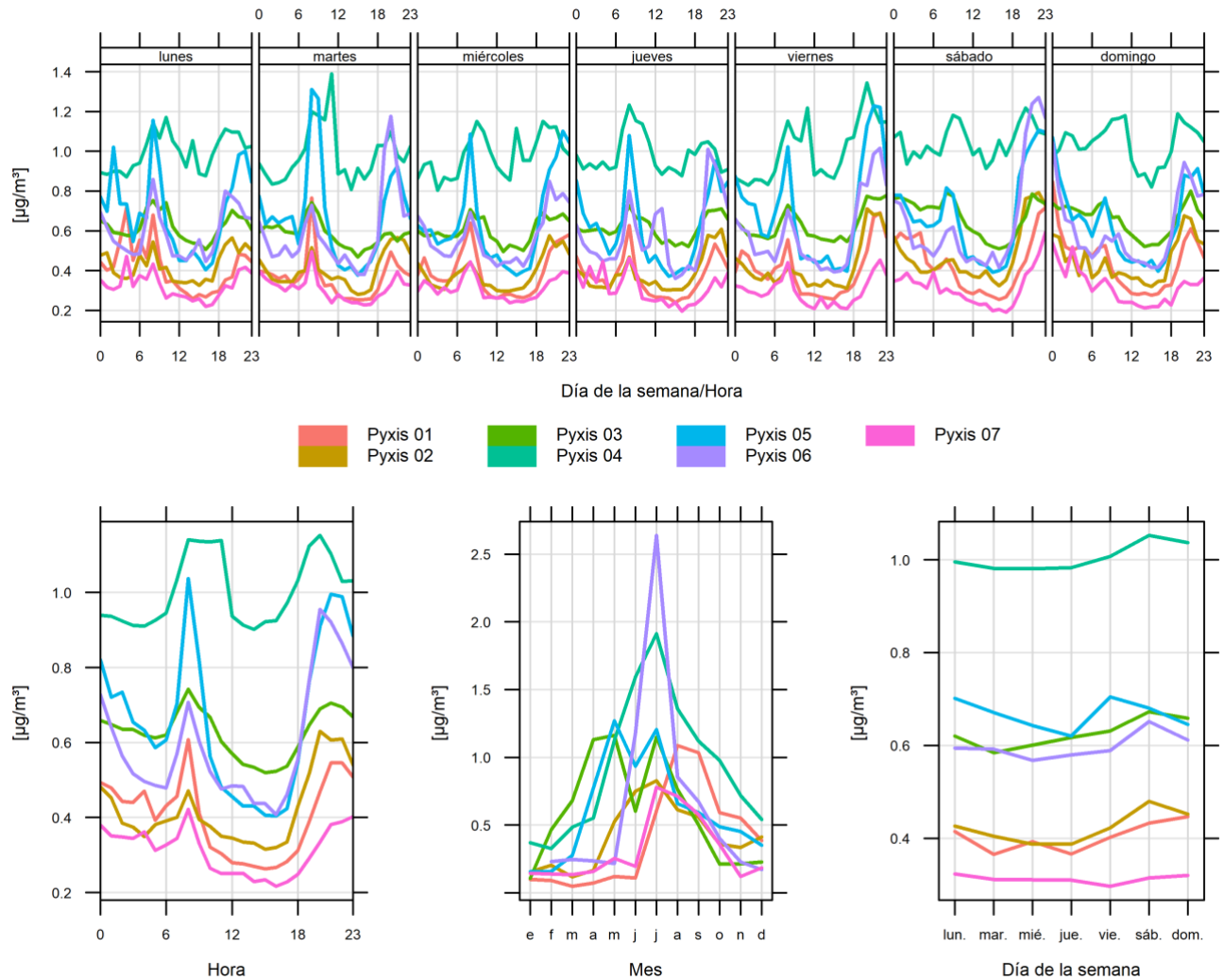
La variabilidad de las concentraciones horarias de benceno es similar entre sí en Concepción, Quintero y Puchuncaví (Figura 17, gráfico inferior izquierdo); si bien se observan algunas diferencias en cuanto al momento en que ocurren los eventos valle y máximos, el comportamiento es más bien homogéneo. 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. Destaca el caso del equipo Pyxis 01 (Estación de Calidad del Aire Centro de Quintero), que para el año 2024 presenta muy bajas concentraciones y un patrón horario mucho menos marcado que durante el año 2023.

El patrón anterior se repite para prácticamente todos los días de la semana (Figura 17, gráfico superior), con excepción de los días sábados en algunos equipos 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 17, gráfico inferior derecho), se aprecia un comportamiento similar entre los equipos, con una tendencia al aumento de las concentraciones hacia el fin de semana.

Respecto de patrones estacionales (Figura 17, 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 aumento de las concentraciones. Ocurre lo mismo con el equipo Pyxis 06, en Ventanas.





mean and 95% confidence interval in mean

Figura 17: 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	7.989	0,40	0,03	9,46	0,59
	Etilbenceno	7.984	0,57	0,04	31,30	0,95
	Tolueno	7.977	0,71	0,04	66,96	1,92
	Xilenos	7.973	1,29	0,04	44,43	1,59
Pyxis 02	Benceno	7.554	0,42	0,03	5,55	0,39
	Etilbenceno	7.548	0,80	0,04	13,93	0,62
	Tolueno	7.548	0,55	0,04	68,59	1,56
	Xilenos	7.549	1,07	0,04	11,23	0,91
Pyxis 03	Benceno	8.191	0,63	0,03	4,45	0,48
	Etilbenceno	8.174	1,30	0,04	12,35	0,99
	Tolueno	8.172	0,66	0,04	55,36	0,94
	Xilenos	8.171	2,91	0,04	186,19	4,70
Pyxis 04	Benceno	6.465	1,01	0,07	12,90	0,65
	Etilbenceno	6.459	1,33	0,04	7,38	0,78
	Tolueno	6.473	0,98	0,08	27,82	0,95
	Xilenos	6.456	1,32	0,05	21,27	0,80
Pyxis 05	Benceno	6.358	0,67	0,04	22,77	0,76
	Etilbenceno	6.344	0,70	0,04	35,31	1,01
	Tolueno	6.358	1,11	0,05	192,97	5,38
	Xilenos	6.357	1,32	0,04	30,86	1,22
Pyxis 06	Benceno	6.612	0,60	0,04	16,04	0,96
	Etilbenceno	6.374	0,55	0,04	5,46	0,72
	Tolueno	6.612	0,92	0,06	143,85	3,49
	Xilenos	6.374	1,10	0,06	9,72	1,19
Pyxis 07	Benceno	7.633	0,31	0,03	9,11	0,40
	Etilbenceno	7.631	0,36	0,04	8,28	0,38
	Tolueno	7.632	0,42	0,04	18,37	0,73
	Xilenos	7.625	1,18	0,04	109,63	1,69

n: cantidad de datos válidos disponibles.

s: desviación estándar.

De los compuestos BTEX, tanto los xilenos como el tolueno, presentaron las concentraciones horarias más altas. Las concentraciones promedio más altas se presentan en los xilenos, con un valor de $2,91[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el equipo Pyxis 03. El tolueno, compuesto que también presenta altas concentraciones, tuvo una concentración promedio de $1,11[\mu\text{g}/\text{m}^3]$; el etilbenceno presenta un promedio de $1,33[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el equipo Pyxis 04. Finalmente, el benceno es el compuesto que presenta las concentraciones más bajas, con un promedio de $0,31[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el equipo Pyxis 07.

En cuanto a las concentraciones máximas registradas el tolueno presenta la mayor concentración horaria con un valor de $92,97[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el equipo Pyxis 05 y los xilenos, una concentración de $186,19[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ en el equipo Pyxis 03. Por su parte el etilbenceno y benceno registraron una concentración horaria máxima



de $35,31[\mu g/m^3]$ y $22,77[\mu g/m^3]$, respectivamente para el equipo Pyxis 05, el que presentó los máximos de cada compuesto.

El equipo Pyxis 03 (Escuela Puente Colmo), presenta un aumento de las concentraciones de xilenos a partir del mes de abril y hasta noviembre, por sobre todos los otros equipos de la zona. Este comportamiento se repite para el perfil diario y semanal con una predominancia de altas concentraciones durante horas de la tarde, aproximadamente a partir de las 15 hrs.

Las series de tiempo de los otros contaminantes se muestran en el Anexo de este documento.



5. Conclusiones

Muestreo con Canister

- Durante el año 2024 se realizaron 8 muestreos puntuales con canister en 5 puntos en la zona de Quintero y Puchuncaví.
- En la zona de Quintero se ha identificado y cuantificado 10 compuestos orgánicos volátiles (COVs) (hidrocarburos), al igual que en Puchuncaví.
- El muestreo realizado en Escuela Amanecer presentó la más alta concentraciones de BTEX y cantidad de COVs respecto de los otros muestreos, con un valor de concentración de benceno de $6,14[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.
- En el Colegio República de Francia, las concentraciones de BTEX variaron entre los días de muestreo, con solo un día en el que se detectaron los cuatro compuestos BTEX.

Muestreo pasivo urbano

- En Quintero y Puchuncaví, se observa una tendencia similar de concentraciones de benceno respecto del año 2023. El muestreo pasivo urbano en Concón, Quintero y Puchuncaví permitió determinar la concentración de los COVs en la zona urbana utilizando una estrategia de campañas de muestreo con un total de 14 puntos de monitoreo y 330 muestras recolectadas.
- En Concón presenta un promedio de benceno de $1,18[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, con un promedio máximo de $2,08[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, siendo mayor que Quintero-Puchuncaví. Las concentraciones promedio en Quintero y Puchuncaví no superan los $2[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, siendo sus máximos menores a los $3[\mu\text{g}/\text{m}^3]$.
- 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 (PU-11) es la comuna que presenta una mayor variabilidad en la cantidad de otros COVs identificados, en los distintos puntos de muestreo (entre 3 a 20 COVs, según el punto de muestro); Concón (CC-1) presenta un intervalo similar: 3 - 19 COVs, según el punto de muestreo.
- 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. El ácido benzoico fue el compuesto más frecuente.
- Respecto de los BTEX, en todos los puntos de monitoreo, el etilbenceno fue el compuesto con menor concentración y aporte porcentual al BTEX total, mientras que el tolueno y los xilenos fueron los compuestos predominantes, con sus mayores concentraciones en el punto PU-10 (Quintero), donde se registraron valores elevados de xilenos ($113,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y etilbenceno ($37,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), durante el muestreo realizado entre el 22 de mayo y el 4 de junio. La concentración más



alta en Concón en términos de BTEX total es en el punto CC-1, alcanzando $20,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una contribución de los xilenos (50% del total de BTEX), seguidos del tolueno (30%).

Muestreo pasivo industrial

- Para los puntos que dan continuidad al año 2023 (FL-C1, FL-E8 y FL-E5), las concentraciones promedio de benceno son similares a las del año 2023.
- El punto FL-C1 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.
- La zona industrial presenta 59 COVs únicos, que representan el 64% de los COVs identificados en Quintero y Puchuncaví.

Mediciones con equipos PyxisGC

- Se observó una reducción importante en las concentraciones promedio de BTEX medidas en los equipos Pyxis 01 y Pyxis 02, respecto del año 2023: -80% y -45% de las concentraciones, respectivamente. El promedio global experimentó una reducción del 20% de las concentraciones promedio medidas.
- El equipo Pyxis 01, ubicado en la Estación de Calidad del Aire Centro Quintero, registró el promedio más bajo de benceno, en comparación con el año 2023, donde fue el punto de medición con las concentraciones promedio más altas de todos los puntos de medición.
- 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 que superan los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Durante el año 2024 no se registraron concentraciones de benceno que superen los $30[\mu\text{g}/\text{m}^3]$, 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.



8. Anexo

