



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



INFORME FINAL CORREGIDO.

Versión 4

EVALUACIÓN DE EXPOSICION AMBIENTAL A SUSTANCIAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AIRE, COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ

Preparado por Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Fundación de la Universidad de Chile para la Subsecretaría de Medio Ambiente según Licitación 608897-124-LP11

Santiago de Chile
13 de septiembre de 2013



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



EQUIPO CONSULTOR

Ítalo Serey, Director de Proyecto.

Gerardo Alvarado, Coordinador Técnico Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones.

Isel Cortés, Coordinador Técnico Estudios y Análisis Químicos.

Julio Salinas, Experto Exposición y Riesgo Ambiental Salud Humana.

Marcelo Araya, Coordinador Técnico Inventario de Emisiones y Modelación.

Valentina Escanilla, Coordinadora Interna de Proyecto.

CONTRAPARTE TÉCNICA

Marcelo Gamboa, División de Recursos Naturales, Residuos y Evaluación de Riesgos, Ministerio del Medio Ambiente.

Siomara Gómez, Encargada de Calidad del Aire, SEREMI Medio Ambiente, Región de Valparaíso

Marcelo Corral, División de Calidad del Aire, Ministerio del Medio Ambiente

INSTITUCIONALIDAD PARTICIPANTE

SEREMI de Salud, Servicio Agrícola y Ganadero, Municipalidad de Concón, Municipalidad Quintero y Municipalidad de Puchuncaví.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



PROLOGO:

Este documento constituye el Informe Final del Proyecto “**Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví**”, desarrollado por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) entre Diciembre de 2011 y Marzo de 2013. Este estudio consistió en evaluar la **exposición** a la presencia de sustancias potencialmente contaminantes en el aire y polvo en la zona de estudio, tendientes a establecer mecanismos y herramientas de gestión integradas, eficientes y ambientalmente sustentables para proteger la salud de la población y los ecosistemas terrestres.

De manera general, la exposición consiste en todo el proceso mediante el cual las personas o el ecosistema están en contacto con una sustancia o agente tóxico, en condiciones tales que dicha sustancia o agente tóxico pueda ser incorporado en los mecanismos fisiológicos que provoquen alteraciones metabólicas conducentes a situaciones de riesgo. O sea, la exposición es uno de los componentes del riesgo conjuntamente con la fuente de sustancias con capacidad para generar efectos tóxicos y la presencia de receptores.

Este estudio forma parte de un conjunto de cuatro consultorías que desde 2011 se desarrollan en la zona de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Por consiguiente, la dimensión de sus resultados puede ser entendida en el contexto general de todos los estudios. Según los objetivos planteados, la evaluación del riesgo corresponde a otra consultoría. Sin embargo, para evaluar el riesgo, se requiere, previamente, evaluar la exposición. Del mismo modo, independiente de la significación del riesgo, todas las acciones que disminuyan la exposición también disminuyen el riesgo.

Desde el punto de vista de experiencias previas del Ministerio de Medio Ambiente en estos temas, constituye un hito sin precedentes al abordar, en conjunto con otras consultorías aún en desarrollo, el mayor despliegue experimental y de profesionales en una zona potencialmente contaminada. También constituye una de las primeras instancias en que se aplican principios armonizados para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes a un problema donde la emisión a contaminantes se estudia principalmente por vía del aire y el polvo, y donde, además, las fuentes industriales se encuentran operativas y con perspectivas de desarrollo.

Para acometer esta experiencia, CENMA consolidó su oferta técnica desde el punto de vista de sus capacidades experimentales y de terreno, aportando resultados con trazabilidad registrada y calidad asegurada, en un despliegue inédito a nivel del país, por la cantidad de analitos, muestras y mediciones de terreno, vinculadas con su experiencia institucional en temas de contaminación atmosférica.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



No obstante a ello, las opiniones e interpretaciones desarrolladas por CENMA en este documento, no representan necesariamente las opiniones del Ministerio de Medio Ambiente ni de la institucionalidad ambiental participante.

Este informe da cuenta de una estimación de exposición basada en cálculo de dosis, que por sí misma, no permite concluir respecto de los riesgos para la salud de las personas y los ecosistemas terrestres. Por ello, este estudio, además, aporta información de terreno para continuar con las evaluaciones de las demás consultoras.

Este estudio considera fuentes genéricas hipotéticas, no necesariamente industrias específicas existentes al momento del estudio. Tampoco considera incidencias de proyectos aprobados en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. No constituye una modelación de las dosis de exposición sino un cálculo a partir de concentraciones medidas para el mismo.

Los escenarios evaluados son genéricos y no incluyen, exposición por traslocación de metales pesados como consecuencia de episodios extremos tales como terremotos, aluviones, accidentes de tránsito, deslizamiento de tierra, etc. Tampoco se considera la exposición laboral ni intradomiciliaria, que aunque son temas relevantes en la salud de las personas, se evalúan con metodologías diferentes. Del mismo modo, los hallazgos de este estudio no constituyen, al presente, obligaciones legales para los titulares de proyectos existentes en la zona de estudio que cumplan las normativas ambientales vigentes.

No obstante a ello, avanzar en un estudio de exposición de esta envergadura, permite proponer anticipadamente medidas que puedan contribuir a disminuir la exposición calculada y, de manera directa, disminuir los riesgos que ella signifique, cualquiera sea la magnitud de tales riesgos. Las medidas de gestión recomendadas incluyen propuestas respecto de estudios basados en riesgos, nuevas mediciones, avances normativos así como iniciativas que permitan formular avances tecnológicos para disminuir la exposición al nivel de los receptores. Pero, estas medidas no constituyen, por sí mismas, obligación alguna de ser implementadas por las autoridades, ni tampoco excluye la posibilidad de formular nuevas medidas.

Las medidas propuestas contribuyen, integrándose con las medidas emitidas por el resto de las consultorías, a orientar a las autoridades acerca de cómo abordar la gestión ambiental de la misma, con un enfoque de protección a la salud de la población y los ecosistemas.

También es necesario clarificar que este estudio no constituye una evaluación de cumplimiento normativo. No obstante, es conveniente recordar que las normas de calidad ambiental juegan un rol importante en la gestión ambiental, por cuanto contienen valores de exposición legalmente aceptables, considerando sus objetivos de protección a la salud de la población y los ecosistemas. Es por ello que en el estudio se ha utilizado la comparación referencial con normas vigentes y



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



del mismo modo, se recomienda avanzar en mejoras de normativas por cuanto la existencia de normas ambientales de calidad asegura la obligatoriedad de realizar monitoreos de largo tiempo y además, establece criterios específicos para la medición y evaluación que deben ser indicadores de situaciones de protección de la salud de la población y los ecosistemas.

Todas las propuestas para la gestión ambiental, tampoco excluyen acciones de disminución de emisiones incluidas en Acuerdos de Producción Limpia y otras herramientas de gestión disponibles.

El presente informe describe, los datos obtenidos de la exposición a contaminantes en el aire, tanto SO₂ como compuestos orgánicos volátiles (BTEX) y metales presentes en el aire y en el polvo. Además, toda la información experimental obtenida en muestras de aguas superficiales, sedimentos y suelo superficial, proveniente de ensayos acreditados y con evidencia de aseguramiento de la calidad de los resultados, ha sido entregada a la PUCV como soporte para la consultoría de evaluación de riesgo a la salud y los ecosistemas terrestres.

Este documento consta de un Resumen Ejecutivo donde se describe, en relativamente pocas páginas, el contexto del estudio, los principales resultados según los aspectos contenidos en los objetivos de las bases de licitación además de las recomendaciones de gestión asociadas a cada uno de ellos. El Resumen Ejecutivo pretende entregar una visión sintetizada tanto del problema de estudio como de los resultados y de las recomendaciones que de ellos se derivan.

El documento además consta de una primera parte de presentación, donde los capítulos 1, 2 y 3 se dedican a introducción, presentación de la zona de estudio y un capítulo de objetivos respectivamente. En el capítulo 4 se describen las generalidades de exposición a contaminantes ambientales, considerando las definiciones, los escenarios de exposición y los algoritmos para estimar las dosis en cada uno de dichos escenarios. En el capítulo 5 se hace una reseña de la información que existía al momento de abordar el estudio. En el capítulo 6 se desarrolla la propuesta preliminar de modelo conceptual de incidencia de sustancias potencialmente contaminantes que pueden producir efectos negativos en las matrices ambientales de la zona de estudio. Este modelo conceptual es general y puede representarse de diferentes formas según los aportes de las otras consultorías que abordan consideraciones adicionales en la zona de estudio. En los capítulos siguientes se aborda, para cada uno de los contaminantes de interés tanto el muestreo, los métodos de análisis químicos, los resultados de los análisis a partir de los cuales se derivan los contaminantes de interés para los que se describen los respectivos perfiles de toxicidad; posteriormente se calculan las dosis de exposición por cada uno de los escenarios estudiados. Finaliza cada capítulo con conclusiones parciales y la propuesta de medidas de gestión que derivan de dichas conclusiones. Esto se describe en los capítulos 7 para el caso de gases (dióxido de azufre-SO₂) y de compuestos orgánicos volátiles: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX); capítulo 8 para el caso de material



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



particulado fino (MP 2,5) y metales en filtros impactados con material particulado fino y capítulo 9 para el caso del material particulado sedimentable (MPS). En el capítulo 7, además, se presenta información acerca de la modelación de dispersión de SO₂ en ciclos diarios y durante eventos de altas concentraciones, considerando las fuentes emisoras establecidas en la zona, como soporte para comprender las mediciones experimentales y la evaluación de dosis de exposición aguda a este contaminante.

En el capítulo 10 se presenta el resumen de resultados y conclusiones generales mientras que en el capítulo 11 se aborda la propuesta de recomendaciones para la gestión ambiental por cada uno de los contaminantes estudiados.

Al final del documento se entrega el listado de Referencias Bibliográficas utilizadas.

El documento contiene también un conjunto de Anexos que entregan detalles sobre algunos aspectos específicos y que complementan la información principal. Estos son:

Anexos 1 y 2:	Informes Análisis Calidad del Aire y Meteorología.
Anexo 3-1:	Inventario de emisiones
Anexo 3-2:	Modelo de dispersión (SO ₂)
Anexo 4:	Planes de Muestreo
Anexo 5:	Informes de Laboratorio-Análisis de BTEX
Anexo 6:	Resultados del Monitoreo continuo de MP2,5 y otros parámetros en las estaciones instaladas por CENMA para el desarrollo del estudio
Anexo 7:	Informes de Laboratorio-Análisis de gravimetría de filtros y metales pesados en filtros impactados por MP2,5
Anexo 8:	Informes de Laboratorio-Análisis de Material Particulado Sedimentable
Anexo 9:	Justificación de ubicación de estaciones de MPS-BTEX.
Anexo 10:	Perfil de toxicidad de metales
Anexo 11:	Hallazgos respecto de metales pesados en otras matrices ambientales: agua superficial, sedimentos fluviales y suelo superficial



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



INDICE GENERAL.

PROLOGO:	3
INDICE GENERAL	7
RESUMEN EJECUTIVO	10
CAPITULO 1.- INTRODUCCION	23
CAPITULO 2.- PRESENTACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.	24
CAPITULO 3.- OBJETIVOS	28
CAPITULO 4: EXPOSICION A CONTAMINANTES AMBIENTALES.	31
4.1.- Generalidades de la exposición a contaminantes ambientales	31
4.1.1 Vías y rutas de exposición	32
4.1.2 Punto de contacto o punto de exposición entre contaminante y receptor	38
4.1.3 Concentración representativa del contaminante en el punto de contacto	40
4.2 Escenarios de exposición y receptores seleccionados	44
4.3 Factores de Exposición Humana	48
4.4 Algoritmos para estimación de dosis interna	48
CAPITULO 5.- RECOPIACION, SISTEMATIZACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION EXISTENTE	53
5.1.- Información histórica de calidad del aire.	53
5.2.- Niveles de metales en MP10 a partir de resultados históricos en filtros.	56
CAPITULO 6.-PROPUESTA PRELIMINAR DE MODELO CONCEPTUAL DE INCIDENCIA DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES QUE PUEDEN PRODUCIR EFECTOS NEGATIVOS EN LAS MATRICES AMBIENTALES AIRE, SUELO, AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA.	60
6.1.- Generalidades acerca del Modelo conceptual del problema de contaminación.	60
6.2.- Propuesta de Modelo conceptual del problema de contaminación para la zona de estudio.	62
CAPITULO 7: DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂) y COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES: BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO, XILENO (BTEX) EN AIRE.	66
7.0 PRESENTACION DEL CAPITULO.	66
7.1. DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂).	68
7.1.1.1- Antecedentes generales de la presencia de SO ₂ en la zona de estudio.	68
7.1.1.2 Actualización de inventario de emisiones para SO ₂ y modelo de dispersión de contaminantes.	69
7.1.1.3.- Modelación de la dispersión de SO ₂ .	69
7.1.2.- Mediciones en estaciones CENMA. Diseño del muestreo.	80
7.1.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.	80
7.1.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.	82
7.1.3- Análisis químico.	83



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.1.4- Resultados.	83
7.1.5.- Selección de contaminantes de interés.	87
7.1.5.1 Contaminantes positivamente identificados.	87
7.1.5.2 Perfil de toxicidad.	87
7.1.6 Dosis de exposición aguda: comparación con AEGL.	89
7.1.7 Conclusiones parciales sobre dióxido de azufre.	110
7.1.8.- Propuesta de medidas de gestión respecto del dióxido de azufre.	111
7.2.- BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO, XILENOS (BTEX).	112
7.2.1- Antecedentes generales de la presencia de BTEX en la zona de estudio.	112
7.2.2.- Mediciones en estaciones CENMA. Diseño del muestreo.	113
7.2.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.	113
7.2.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.	115
7.2.3- Análisis químico.	116
7.2.4- Resultados.	117
7.2.5.- Selección de contaminantes de interés.	121
7.2.5.1 Contaminantes positivamente identificados.	121
7.2.5.2 Perfil de toxicidad.	121
7.2.5.3 Dosis de exposición crónica.	127
7.2.6 Conclusiones parciales respecto de BTEX.	142
7.2.7.- Propuesta de medidas de gestión respecto de BTEX.	142
CAPITULO 8: MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2,5) Y METALES EN FILTROS	143
8.1- Antecedentes generales de la presencia de material particulado (MP2,5) con contenido de metales en la zona de estudio	143
8.2 Diseño del muestreo	143
8.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo	144
8.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.	145
8.3- Análisis químico.	146
8.4- Resultados.	147
8.5.- Selección de contaminantes de interés.	157
8.5.1 Contaminantes positivamente identificados	157
8.5.2 Perfil de toxicidad	157
8.6 Dosis de exposición	158
8.7 Conclusiones parciales	167
8.8.- Propuesta de medidas de gestión	168
CAPITULO 9: MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS)	169
9.1- Antecedentes generales de la presencia de material particulado sedimentable (MPS) o polvo grueso en la zona de estudio.	169
9.2.- Diseño del muestreo.	169
9.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.	170
9.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.	171
9.3- Análisis químico.	172
9.4- Resultados.	174
9.5.- Selección de contaminantes de interés.	183
9.5.1 Contaminantes positivamente identificados.	183



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



9.5.2 Perfil de toxicidad.	194
9.6 Dosis de exposición.	209
9.7 Conclusiones parciales.	240
9.8.- Propuesta de medidas de gestión	241
CAPITULO 10: RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES	243
CAPITULO 11: RECOMENDACIONES PARA LA GESTION AMBIENTAL	251
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	255
ANEXOS	259



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



RESUMEN EJECUTIVO:

En este estudio se evaluó la exposición de los receptores humanos y ecológicos de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví a contaminantes en el aire y polvo, según metodología del Ministerio de Medio Ambiente para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, incorporando criterios adicionales de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para fines similares.

La exposición a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el ambiente, consiste en el proceso mediante el cual las personas o el ecosistema están en contacto con una sustancia o agente tóxico, en condiciones tales que dicha sustancia o agente tóxico pueda ser incorporado en los mecanismos fisiológicos que provoquen alteraciones metabólicas conducentes a situaciones de riesgo, pasando así a constituirse el contaminante en el ambiente en una dosis interna. O sea, la exposición es uno de los componentes del riesgo conjuntamente con la fuente de sustancias con capacidad para generar efectos tóxicos y la presencia de receptores.

De manera simplificada, el proceso de estimación de dosis para la caracterización de la exposición seguido en este estudio, con base en la metodología de evaluación de riesgos a la salud descrita por la USEPA y según los principios de la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, puede representarse como se indica en la siguiente figura.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

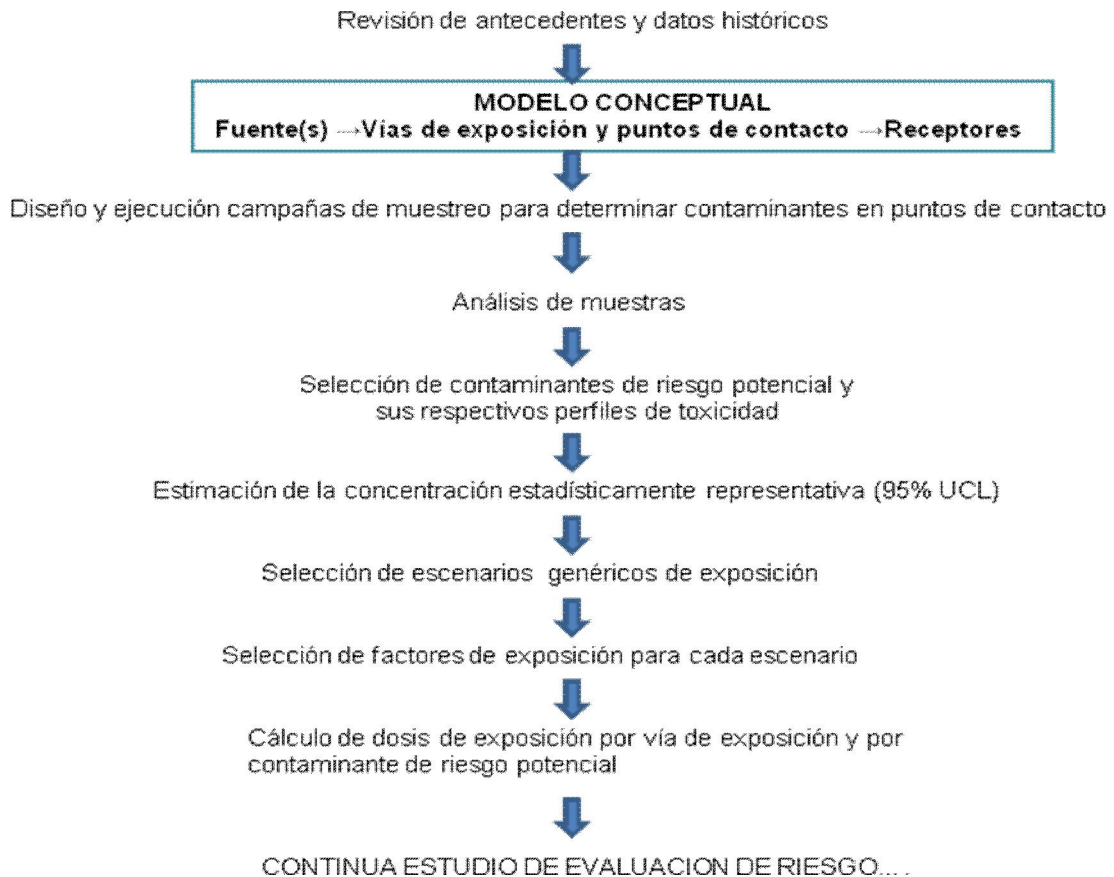


Figura i- Representación esquemática de los pasos para estimar exposición a contaminantes ambientales seguidos en este estudio. (Fuente: Elaboración propia).

La zona se caracteriza por un clima templado, cálido lluvioso, con vientos predominantes en dirección mar-valle durante el día y valle-mar durante la noche. Además, se presentan nieblas matinales y lloviznas débiles que producen baja amplitud térmica diaria y anual; la humedad atmosférica es alta, alcanzando un valor promedio de 82% y el 80% de la precipitación anual ocurre entre los meses de mayo a agosto.

Se desarrolló un modelo conceptual, que con base en la información existente, describe las relaciones posibles de presuntos contaminantes genéricos en el aire y en el polvo, desde las fuentes industriales hasta los receptores de interés. Los presuntos contaminantes en el aire y en el polvo pueden ser transportados pasivamente hasta los puntos de contacto con los receptores de las comunidades aledañas así como seguir otros destinos ambientales tales como los suelos superficiales o las aguas. Aunque estos contaminantes pueden provenir de una o varias fuentes puntuales o de fuentes areales, el objetivo mismo de estudiar la



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



exposición es evaluar las dosis que con mayor probabilidad puedan estar en contacto con receptores de interés. Por consiguiente, no es una evaluación de cumplimiento normativo ni tampoco un inventario de emisiones de contaminantes.

A partir de la información preliminar entregada por los antecedentes de licitación se conoció tempranamente que existe preocupación de que las emisiones aéreas provenientes de las actividades industriales que se desarrollan en la zona puedan afectar a los núcleos poblados de la misma. Para la estimación de las dosis de exposición crónica, se diseñaron **nueve escenarios de exposición** considerando las vías de exposición que incluyen como rutas las siguientes: inhalación de gases, inhalación de partículas, ingestión accidental de partículas y contacto dérmico con partículas. Para la exposición aguda por dióxido de azufre (SO₂), se compararon las concentraciones encontradas con los niveles guía de exposición aguda –denominados AEGL–, desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

La toma de muestras y las mediciones en terreno se organizaron cumpliendo requerimientos de representatividad poblacional concordante con el objetivo del estudio: adquirir la información de la concentración de los potenciales contaminantes en los sectores más próximos a los receptores de interés. Durante más de 9 meses, se desarrolló un despliegue experimental que abarcó la instalación de estaciones de monitoreo continuo en tres sectores de toda la zona para mediciones de material particulado fino (MP2,5) y parámetros de condición meteorológica así como las concentraciones de dióxido de azufre. También se obtuvieron muestras discretas de Material Particulado Sedimentable (MPS) y compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos: BTEX) en 20 puntos distribuidos en toda el área. Como complemento a la información ambiental se obtuvieron también 95 muestras puntuales de suelo superficial y 26 muestras de agua superficial y sedimentos fluviales en 13 puntos como información complementaria.

A partir de las concentraciones medidas para 940 muestras y 17360 resultados experimentales, se seleccionaron contaminantes de interés para los cuales se desarrolló la evaluación de exposición. Las conclusiones por contaminante efectivamente detectado así como las recomendaciones para la gestión de cada uno, se pueden expresar como sigue:

Dióxido de azufre (SO₂)

La modelación de la dispersión de dióxido de azufre demuestra que los aportes de las fuentes puntuales de las empresas Aga, Gasmar y Oxiquim es prácticamente despreciable en comparación con el resto de las fuentes. En el sector de Concón, la refinería de ENAP contribuye a la presencia de SO₂ en la comuna. Sin embargo, los mayores aportes provienen indiscutiblemente de las fuentes areales y puntuales de Codelco Ventanas, del Puerto de Ventanas y de AES Gener.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



La influencia de niveles intermedios de dióxido de azufre (en el orden de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; o sea, en niveles próximos al valor AEGL-1 descrito como la concentración que provoca molestia en la población y efectos pasajeros; o sea, perceptibles) se mantiene fundamentalmente sobre la bahía durante las horas de la noche pero durante el día, se desplaza sobre la comuna de Puchuncaví, llegando incluso a la comuna de Quintero en algunas condiciones de viento favorables para ello. El sector de La Greda recibe la influencia sostenida de las mayores concentraciones modeladas de dióxido de azufre.

Del mismo modo, la modelación evidenció que las estaciones que monitorean SO_2 en el sector, no siempre coinciden con el área de influencia de la pluma de dispersión por lo que, eventualmente, puede que no registren las concentraciones existentes y, para el caso de los eventos de alta concentración de SO_2 , puede ser que los registren de manera parcial o incompleta.

La modelación de algunos de los eventos de altas concentraciones registrados en la zona entre enero y junio de 2012, permite ratificar la importancia de las condiciones meteorológicas para el manejo de estos eventos. La modelación está realizada considerando las condiciones normales de emisión y revisando las condiciones meteorológicas en días específicos. Por consiguiente, esta modelación describe la trayectoria de los contaminantes, no necesariamente, las condiciones de emisión que originaron uno u otro episodio.

Las concentraciones medidas en las estaciones existentes en la zona y en las estaciones Cenma, respecto de las normas primaria y secundaria de calidad para SO_2 , indican que ninguna estación se encuentra en condiciones de latencia, lo que puede estar influenciado por la ubicación relativa de las mismas, como se indicó anteriormente.

Las concentraciones absolutas de SO_2 medidas en la Nueva Escuela La Greda son relativamente bajas pero destaca que existen concentraciones medibles durante todo el día, por lo que esta zona no puede considerarse como libre de la influencia de estas emisiones gaseosas provenientes del complejo industrial, aunque los niveles son menores que los existentes en el sector donde se ubicaba la antigua escuela.

En repetidas ocasiones durante el año 2012, se superaron valores de alerta de tipo AEGL-2, tanto en las estaciones Cenma como en las estaciones de la red existente en la zona.

Los receptores humanos de la zona de estudio, se encuentran expuestos a relativamente altas concentraciones, de corta duración (exposición aguda), que puede afectar su salud con el incremento de enfermedades respiratorias. Por consiguiente, es posible formular las siguientes recomendaciones:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



1. **RESPECTO DE LA RED DE ESTACIONES DE MEDICION DE CALIDAD DE AIRE:** Se valora positivamente la cantidad de estaciones que existen en la zona. Sin embargo, se proponen las siguientes mejoras:
 - **Instalar nuevas estaciones adicionales** a las existentes, **deseablemente** operadas por entidades públicas. La cantidad y ubicación de dichas estaciones deberá estudiarse en función de la factibilidad técnica y logística de su instalación. Como recomendación inicial, se propone al menos instalar nuevas estaciones en el sector de la Nueva Escuela de La Greda y en el sector de Horcón.
 - Realizar **auditorías externas documentadas** a las estaciones de monitoreo verificando sus calibraciones y operación.
2. **RESPECTO DE LOS EVENTOS DE ALTAS CONCENTRACIONES DE SO₂ Y CORTA DURACION:** En la zona se producen eventos de altas concentraciones de SO₂, de corta duración, provenientes de la actividad industrial y con fuerte incidencia de las condiciones meteorológicas, que cambian bruscamente en la zona. En estas condiciones, se recomienda avanzar en la modelación de estos eventos para utilizar esta herramienta con carácter predictivo y anticipativo, de manera de mejorar la gestión de estos eventos, con relación a la operación de las empresas industriales coordinada por las condiciones meteorológicas y con la supervisión de la autoridad competente. Este sistema supone una cooperación público-privada, con avance tecnológico que tienda a disminuir la frecuencia de eventos de altas concentraciones de SO₂ y corta duración.
3. **RESPECTO DE LA NORMATIVA:** La existencia de normativa de calidad primaria y secundaria para SO₂, ha permitido generar una cantidad importante de mediciones. Sin embargo, al presente se recomienda avanzar en la revisión de la normativa existente, especialmente en los aspectos relacionados con la frecuencia de obtención de los valores y su evaluación estadística, para detectar tempranamente la presencia de altas concentraciones de este contaminante.
4. **RESPECTO DE LA CAPACITACION AMBIENTAL DEL PERSONAL:** Considerando las condiciones de la zona respecto de los niveles de SO₂, es posible recomendar la capacitación especializada en este tema, para residentes en la zona, autoridades locales, profesores, dirigentes vecinales, operarios industriales y otros.
5. **RESPECTO DE LOS PLANES DE EVACUACION EN SITUACIONES DE EMERGENCIA POR SO₂:** Se deben revisar los planes de evacuación en situaciones de emergencia por SO₂, considerando la extensión del área de influencia de las concentraciones de este gas en todo el sector.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



6. **RESPECTO DEL AISLAMIENTO DE LOS RECEPTORES DE LA INFLUENCIA DEL SO₂:** Es innegable que existen concentraciones de SO₂ que afectan a la población de la zona, de todas las comunas, aunque con mayor grado en Puchuncaví y Quintero, seguidos por Concón. Por consiguiente, se propone avanzar en la formulación de alternativas tecnológicas que mejoren el aislamiento de las viviendas e instalaciones públicas como colegios, jardines infantiles e instituciones de salud, a través de sistemas que permitan captar los contenidos de SO₂ atmosférico, retenerlos y disminuir su interacción intradomiciliaria con los receptores humanos. Esta solución puede constituir un desafío tecnológico importante considerando la reactividad del SO₂. Por lo que se propone generar un Fondo de Innovación que licite a concurso las mejores alternativas para la "Mitigación de los efectos del SO₂ sobre las personas y las plantas".
7. **RESPECTO DE LA EXPOSICION LABORAL:** Si bien este estudio, no consideró la exposición laboral de manera explícita para ninguno de los contaminantes, es recomendable que se revisen, mejoren y/o implementen protocolos tendientes a proteger a los trabajadores de las distintas fuentes de las emisiones de SO₂.

Compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos: BTEX)

Las concentraciones promedio detectadas en cada una de las comunas, durante 7 meses de toma de muestras con frecuencia de 14 días de exposición de los tubos pasivos corresponden a:

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Benceno (µg/m ³)	1,93	1,60	1,59
Tolueno (µg/m ³)	8,98	7,61	8,34
Etilbenceno (µg/m ³)	2,74	2,14	2,45
Xilenos (µg/m ³)	7,48	5,81	7,26

Estas concentraciones son relativamente menores que los niveles de contaminantes basados en riesgo, correspondientes a 3,0 µg/m³ para benceno; 5000 µg/m³ para tolueno; 1000 µg/m³ para etilbenceno y 100 µg/m³ para xilenos.

A pesar de que este estudio constituye el mayor despliegue experimental respecto de toma de muestras y medición de este tipo de compuestos en la zona de estudio, el mismo no constituye una evaluación de riesgo que permita descartar el efecto de estos contaminantes en la salud humana.

En virtud de lo anterior, se recomienda que se continúe el monitoreo de estos analitos (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) especialmente en la comuna de Concón de modo de esclarecer si las concentraciones aparentemente mayores encontradas en este estudio, se mantienen en el tiempo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Estas mediciones debiesen constituir la base para evaluar la significación de las respectivas dosis para efectos en la salud de las personas, y con esa evaluación se podrá avanzar o no en la formulación de normativas específicas para la zona, si hubiese mérito para ello con base en un enfoque basado en riesgo.

Material particulado fino (MP2,5) y de metales en filtros impactados con material particulado fino.

La comparación referencial de los contenidos de MP2,5 con la norma primaria (D.S. N°12/2011) que establece un valor límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio del percentil 98 de las concentraciones diarias durante 3 años y un valor de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio trianual permitió establecer que, durante los nueve meses de medición, en la zona de Concón se superó el límite de la norma para la concentración diaria durante un día mientras que el promedio mensual se superó en los meses de mayo y julio. En la zona de Ventanas, el límite de la norma para concentración diaria se superó tres días mientras que el mayor promedio mensual correspondió al mes de julio.

Las concentraciones medidas en la Nueva Escuela La Greda resultaron menores que las medidas en la zona de Ventanas, aunque para este sector la medición se realizó sólo durante tres meses.

Si bien este estudio no constituye una evaluación del cumplimiento de normativas en el sentido estricto, la comparación referencial con los límites establecidos en las normas primarias es una herramienta metodológica válida por cuanto estas normas establecen los niveles de contaminantes en el ambiente para los cuales existe un riesgo para la vida o salud de la población, de modo que, por debajo de los valores establecidos, se considera que la exposición no representa un riesgo para la población. Este principio ha sido descrito en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Riesgo para la salud de la población en el SEIA desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud y el Servicio de Evaluación Ambiental como integrantes del Gobierno de Chile.

Respecto de la presencia de metales en filtros impactados por material particulado MP 2,5, los metales zinc, cadmio, molibdeno, vanadio y manganeso no fueron detectados en ninguno de los dos sectores durante todo el estudio. Para los metales arsénico, níquel y mercurio, se encontraron valores detectables en menos de cinco días durante el período de estudio, lo que puede vincularse con presencia ocasional en la zona. En estas condiciones no es posible realizar el cálculo de dosis de exposición para estos contaminantes.

Los metales que con mayor frecuencia fueron detectados corresponden a cobre y selenio tanto para el sector de Concón como para el sector de Ventanas, para los cuales se calcularon dosis de ingesta promedio diaria, por inhalación de partículas, las que resultaron mayores en las comunas de Puchuncaví-Quintero comparadas



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



con Concón. Estas dosis consideran también la cantidad de partículas y la proporción de partículas más finas (MP2,5) respecto de la cantidad de partículas de MP10. Lo anterior, en consideración a que la evidencia obtenida por la USEPA indica que es la fracción fina la que con mayor probabilidad induce efectos demostrables en la salud.

Las recomendaciones fundamentales para estos contaminantes se plantean en dos direcciones:

- Aumentar la cobertura de estaciones con capacidad para medición de MP2,5 en la zona, lo que es coherente con el cumplimiento de la norma de calidad para MP2,5.
- Realizar evaluación de riesgo en la salud respecto de las concentraciones de Cu y Se encontradas en los filtros impactados con MP2,5 como soporte para evaluar la continuidad de la medición de la concentración de metales en material particulado.

De manera general, la implementación y consolidación de las normas de emisión de fundiciones y de termoeléctricas debiesen, en el largo plazo, consolidar la disminución de la exposición de los pobladores de esta zona de estudio y de todo el país.

Material particulado sedimentable (MPS): cantidad y contenido de metales.

La determinación de material particulado sedimentable (MPS) en 20 estaciones ubicadas en toda la zona de estudio, durante ocho meses, arrojó cantidades promedio de MPS por comuna que resultaron mayores en Concón (166 mg/m²_d), seguido de Puchuncaví (115 mg/m²_d) y Quintero (96mg/m²_d), respecto de la masa de material particulado sedimentable que sedimenta en un área estándar (1 m²) durante un período de tiempo especificado (1 día en este caso). O sea, en la Comuna de Concón, de manera promedio se deposita más polvo que en el resto de las comunas estudiadas.

Sin embargo, el análisis de composición química del material particulado sedimentable (MPS) arrojó que las mayores concentraciones de metales (Cd, As, Pb, Cu, Ni, Zn, Mn, V, Mo, Ni) se encuentran en la comuna de Puchuncaví, especialmente en el sector de La Greda, Los Maitenes y al interior de Puchuncaví.

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Cd (mg/kg)	1,36	1,95	3,84
As (mg/kg)	45,39	60,94	177,75
Pb (mg/kg)	90,87	133,64	313,90
Cr (mg/kg)	390,04	1515,19	1018,05
Ni (mg/kg)	179,64	543,50	437,59
Zn (mg/kg)	308,49	276,21	709,77
Mn (mg/kg)	467,87	457,94	623,15
V (mg/kg)	135,59	153,87	166,30



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Mo (mg/kg)	13,92	18,92	53,51
Cu (mg/kg)	1961,60	4014,54	13626,87

Aunque esta evaluación no permite establecer inequívocamente la fuente industrial que aporta cada uno de los metales estudiados, la distribución general puede estar relacionada con la movilización de material fino por acción de los vientos.

Las concentraciones de metales encontradas en el MPS en la comuna de Puchuncaví son semejantes a las encontradas en el estudio de la Seremi de Salud en el año 2011.

Se estimaron dosis de ingesta media diaria para varias vías de exposición relacionadas con la presencia de polvo, lo que sin embargo, no permite establecer si estas dosis significan un riesgo para la salud de la población de la zona de estudio. Estas dosis, tampoco permiten descartar efectos sobre los ecosistemas terrestres de este sector.

Se recomiendan las siguientes acciones para la gestión ambiental de los contaminantes metálicos en polvo (MPS) en la zona de estudio:

1. RESPECTO DE LA AFECTACION A LA SALUD DE LA POBLACION Y LOS ECOSISTEMAS:

Se recomienda acometer evaluación de riesgo a la salud y los ecosistemas con los resultados obtenidos en este estudio. Esto porque la mera estimación de las dosis de exposición no permite emitir ningún juicio respecto de su nivel de riesgo y restringe su interpretación.

2. RESPECTO DE LA CONTINUIDAD DE MEDICIONES DE MPS EN LA ZONA:

Se recomienda acometer un Programa de Monitoreo de MPS en la zona de estudio, utilizando los 26 colectores¹ instalados por CENMA, aprovechando la experiencia adquirida en este estudio, tanto en la toma de muestras como para el análisis de las mismas, con duración de **cinco años**, de manera de establecer un diagnóstico fundamentado en mediciones respecto de la presencia de metales en el polvo sedimentable de este sector. Lo anterior, justificado en que la afectación ambiental de la zona a través del sector industrial ha estado sucediendo durante más de 40 años, mientras que el monitoreo efectuado en este proyecto se desarrolló durante 9 meses. Las conclusiones que se pueden obtener de valores correspondientes a 9 meses respecto de un fenómeno que ha sucedido

¹ Corresponden a los 20 colectores instalados para este estudio más los 6 colectores instalados en el borde costero de la Bahía de Quintero, instalados para la consultoría de evaluación de riesgo ecológico acometida por CEA con participación de CENMA, que se encuentra en desarrollo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



durante decenas de años, podrían atribuirse a condiciones poco representativas para la magnitud del fenómeno mismo, si bien, constituyen el mayor despliegue realizado en el sector para estos efectos. La duración de cinco años, a razón de una muestra mensual permitirá obtener una cantidad suficiente de datos para estimar la evolución del polvo en la zona. Además, con la duración de cinco años se debería abarcar alguna combinación que incluya años lluviosos, años secos y años con comportamiento climático normal. Esto porque las lluvias disminuyen los niveles de polvo sedimentable e impiden la obtención de muestras, por lo que en años muy lluviosos se podría obtener 9 muestras y sus respectivos resultados en lugar de los 12 esperados en años secos.

3.- RESPECTO DE MEJORAS NORMATIVAS.

En el mediano plazo, a partir de los antecedentes del estudio de evaluación de riesgo y de nuevas mediciones, se recomienda avanzar en formular normas de calidad ambiental para material particulado sedimentable (MPS) en la zona de estudio. Esto porque, la existencia de normativa es lo que garantiza, en el largo tiempo, la continuidad de las mediciones y es lo que permite activar mecanismos legales para la descontaminación, en caso de que se sobrepasen los niveles de latencia y saturación.

4.- RESPECTO DE LA PREVENCIÓN DE LOS EFECTOS DEL POLVO EN LA SALUD DE LA POBLACION:

En este sentido se recomiendan acciones de diferentes tipos:

- **Por parte de las empresas en el complejo industrial:** mejorar prácticas operacionales tendientes a disminuir la emisión de polvos tales como operación con coberturas en los graneles, humectación de espacios industriales durante operaciones de carga y descarga, mejorar protección de los trabajadores mediante máscaras y extractores de polvo que no emitan al ambiente el polvo industrial extraído, reforestación o encapsulado de las cenizas contenidas en cenizales, entre otras acciones. Estas recomendaciones no modifican los compromisos contraídos en las Resoluciones de Calificación Ambiental, sino que pretenden complementarlas. Las mediciones efectuadas no permiten distinguir fuentes emisoras de polvo, ni tampoco concluir que los niveles encontrados sean constitutivos de riesgo. Sin embargo, lo cierto es que hay polvo, por lo que podrían diseñarse medidas para disminuirlo.
- **Por parte de las autoridades educacionales y de salud:** Considerando que, cualquiera sea la significación del riesgo que estas dosis de exposición puedan representar, existen acciones que disminuyen el riesgo al interrumpir la exposición. En esta dirección se recomiendan algunas acciones que pretenden interrumpir el



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



proceso en que los contaminantes en el polvo sedimentable se conviertan en dosis internas. Específicamente:

- Aumentar las acciones de limpieza de polvo en escuelas y establecimientos de salud (consultorios y postas médicas).
- Acometer campañas intensivas de educación a niños y ancianos respecto de la importancia de lavarse las manos antes de ingerir alimentos.
- Capacitar a madres y educadores de párvulos respecto de lavar las manos a los niños luego de jugar en el suelo o en el jardín.
- **Por parte de las autoridades locales:** Instalar sistemas de lavado de manos en plazas, jardines y espacios públicos para que cualquier persona que se encuentre en el sector, pueda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.

5.- RESPECTO DE LA PREVENCIÓN DE LOS EFECTOS DEL POLVO EN LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES.

Se recomienda estudiar la factibilidad de acometer acciones de protección de cultivos con sistemas tecnológicos que permitan su protección del polvo, generando los fondos para conocer y desarrollar emprendimientos en este sentido.

Otros resultados obtenidos en muestras de suelo, sedimentos fluviales y aguas superficiales fueron entregados como soporte analítico para la consultoría de evaluación de riesgo que desarrolla la PUCV, quienes deberán evaluar la significación que estas concentraciones tienen para la salud de las personas y del ecosistema. Es importante destacar, que **todos** los resultados emitidos respecto de mediciones analíticas desarrolladas tanto en laboratorio como en terreno, han sido sometidos a procesos internos de aseguramiento y control de calidad, para los que se dispone evidencia objetiva de su calidad tanto analítica como ambiental.

De manera general, sin constituir una evaluación de exposición ni de riesgo, las mayores concentraciones de metales en suelo superficial se ubicaron en el sector inmediato a la Bahía de Quintero, entre La Greda y Los Maitenes. En el sector de Concón se encontraron altas concentraciones de V y Cr en suelo superficial. Las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales son bajas para todos los metales estudiados. El Mn fue el metal con mayores contenidos. En las estaciones de los sectores altos de las cuencas estudiadas, se encontraron las mayores concentraciones de cobre en aguas. Los sedimentos fluviales de todas las estaciones presentaron concentraciones medibles de casi todos los metales estudiados, pero la significación del riesgo que estas concentraciones en aguas y sedimentos representan para el ecosistema deberá evaluarse mediante un análisis específico.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



A partir de los valores experimentales obtenidos en este estudio, se puede concluir que la zona se encuentra expuesta a la presencia de contaminantes, con niveles relativamente diferentes para las tres comunas en estudio, tal como se aprecia en la siguiente tabla que resume los valores promedio por contaminante en cada matriz de interés, por comuna:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla resumen de concentraciones promedio por analito por matriz, para cada una de las comunas estudiadas, incluyendo mediciones realizadas en el sector de la Nueva Escuela La Greda, durante el año 2012 (**Basado en mediciones realizadas por CENMA**).

Analito	Matriz	Concón	Quintero	Puchuncaví	Nueva Escuela La Greda
SO ₂ (µg/m ³ N)	Aire	22	-	21	21
Benceno (µg/m ³)	Aire	1,93	1,60	1,59	-
Tolueno (µg/m ³)	Aire	8,98	7,61	8,34	-
Etilbenceno (µg/m ³)	Aire	2,74	2,14	2,45	-
Xileno (µg/m ³)	Aire	7,48	5,81	7,26	-
MP2,5 (µg/m ³)	Aire	15	-	22	9
Cu- MP2,5 (mg/kg)	Polvo respirable	10039,80	-	10840,56	-
Se- MP2,5 (mg/kg)	Polvo respirable	14223,53	-	17055,36	-
MPS total (mg/m ² _d)	Polvo sedimentable	166	96	115	-
Cd (mg/kg)	Polvo sedimentable	1,36	1,95	3,73	-
As (mg/kg)	Polvo sedimentable	45,39	60,94	179,8	-
Pb (mg/kg)	Polvo sedimentable	90,87	133,64	300,42	-
Cr (mg/kg)	Polvo sedimentable	390,04	1515,19	1003,37	-
Ni (mg/kg)	Polvo sedimentable	179,64	543,50	433,72	-
Zn (mg/kg)	Polvo sedimentable	308,49	276,21	712,40	-
Mn (mg/kg)	Polvo sedimentable	467,87	457,94	618,05	-
V (mg/kg)	Polvo sedimentable	135,59	153,87	164,08	-
Mo (mg/kg)	Polvo sedimentable	13,92	18,92	54,30	-
Cu (mg/kg)	Polvo sedimentable	1961,60	4015,54	13726,87	-
As (mg/kg)	Suelo superficial rural	13,5	26,8	50,6	
As (mg/kg)	Suelo superficial urbano	15,9	21,6	30,2	
Zn (mg/kg)	Suelo superficial rural	118	136,4	177,2	
Zn (mg/kg)	Suelo superficial urbano	223,4	132,9	167,0	
Mn (mg/kg)	Suelo superficial rural	1002	1079	947,5	
Mn (mg/kg)	Suelo superficial urbano	1157	917,1	975,5	
V (mg/kg)	Suelo superficial rural	243	218,3	170,9	
V (mg/kg)	Suelo superficial urbano	311,6	197,2	139,2	
Cu (mg/kg)	Suelo superficial rural	148	223,3	705,4	
Cu (mg/kg)	Suelo superficial urbano	140,7	327,1	425,6	



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Las concentraciones promedio de los contaminantes gaseosos (SO₂, Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) son relativamente parecidas entre una comuna y otra, lo que indica que el patrón de vientos y las condiciones meteorológicas son los forzantes del sistema ambiental que condicionan la dispersión de los contaminantes en el sector.

Respecto de los contaminantes en el material particulado fino, su distribución también es relativamente parecida entre las tres comunas.

Para As y Cu el comportamiento promedio en el material particulado sedimentable y en el suelo superficial, sigue la secuencia Puchuncaví > Quintero > Concón lo que corrobora la influencia de los vientos en la dispersión de contaminantes desde el complejo industrial hasta la zona interior de Puchuncaví. Para el resto de los metales no se establecieron patrones específicos.

Estas concentraciones y sus respectivas dosis, según los escenarios de exposición considerados, deberán ser evaluadas para determinar el nivel de riesgo que estos contaminantes suponen en los receptores.

Incluso sin haber desarrollado un análisis de riesgo, la existencia de contaminantes en dosis de ingesta promedio diaria para diferentes escenarios, sugiere que pueden acometerse diferentes medidas de gestión de manera de evitar los posibles puntos de contacto entre los receptores y los contaminantes en las matrices ambientales, lo que significa, intrínsecamente, disminuir el riesgo cualquiera sea el valor de ese riesgo. Por consiguiente, en virtud de los resultados obtenidos, se pueden formular las siguientes recomendaciones para la gestión ambiental de la zona de estudio.

Por el nivel de intervención de la zona y las condiciones de altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos de las lagunas correspondientes al Estero Campiche, se recomienda acometer un proceso de norma secundaria de calidad de aguas combinada con sedimentos para la cuenca del Estero Campiche.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 1.- INTRODUCCION

Las comunas de Puchuncaví y Quintero, se ubican en la costa de la región de Valparaíso, en el territorio que se encuentra al norte de la conurbación que conforman en el eje norte-sur Valparaíso, Viña del Mar. Por su parte la comuna de Concón es un territorio diferenciado y separado radicalmente por el accidente geográfico que constituye el Río Aconcagua, conformando una unidad territorial independiente.

La región de Valparaíso es la tercera más poblada del país, con una población de 1.723.547 habitantes, según resultados preliminares del Censo 2012 (INE, 2012), de los cuales, el 42% se ubica en la provincia de Valparaíso. De acuerdo a dichos resultados preliminares, los habitantes de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví son 37.988, 27.485 y 15.537 respectivamente. Las tres son comunas con variación intercensal positiva siendo Quintero la que más crece con 30,8%, Concón la que menos creció con 18,7% y Puchuncaví creció 21,1 superando el promedio regional de 12,6. Desde el punto de vista del desarrollo económico, en la macrozona integrada por las comunas costeras de Concón, Quintero y Puchuncaví se ubica un porcentaje importante de la actividad industrial de la región, donde se llevan a cabo actividades de distinto tipo. Entre ellas, se encuentra la agricultura, minería, agroindustria, generación de electricidad de tipo termoeléctrica, industria química y manufacturera, fundición de cobre, actividad portuaria, pesquera, inmobiliaria y turismo. Esta última, provoca que la población local aumente considerablemente durante las temporadas estivales, en las que el uso del borde costero se intensifica.

Las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví se han consolidado como una de las zonas industriales más importantes del país, desde el punto de vista de la capacidad industrial instalada, la actividad económica generada, la gran demanda de mano de obra y la generación de empleo asociada a ella. En la zona se encuentran numerosos proyectos con o sin calificación ambiental entre los que se pueden mencionar la central térmica Energía Minera, las refinerías de Petróleos de Concón, la Central Térmica Quintero, la central AES Gener Nueva Ventanas, la central térmica AES Gener Central Campiche, la Central Térmica AES Gener Central Ventana, el proyecto Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural, Oxiquim, y Fundición Ventanas. La ubicación privilegiada en la zona central del país, sumado a su capacidad portuaria, energética, de infraestructura vial y cercanía con centros urbanos que la proveen de mano de obra y servicios asociados, han contribuido a esta consolidación industrial.

En contrapartida estas comunas están altamente intervenidas, dado que el funcionamiento industrial conlleva la generación y liberación de sustancias al ambiente, a través de descargas puntuales de residuos líquidos al mar, emisiones atmosféricas, depositación de cenizas en el suelo, entre otras. Además, en muchos casos su desarrollo puede involucrar la generación de escenarios de riesgo, asociados al transporte de cargas peligrosas, al uso de agroquímicos, a la toxicidad de las sustancias emitidas, entre otros.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 2.- PRESENTACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio abarca el área comprendida entre los paralelos 32° 37' S y 33° 1' S, y entre los meridianos 71° 35' W y 71° 15' 30" W.

En la figura 2.1 se presenta el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que ilustra el relieve que caracteriza esta zona, principalmente la Cordillera de la Costa y los accidentes locales relevantes tales como los cerros Colorado, Cordillera y Mauco, las Lomas de la Canela y Los Altos del Francés que alcanza los 1.144 m.s.n.m y es la mayor elevación de la zona.

Geomorfológicamente se presenta una situación particular ya que la planicie litoral queda encajonada por el norte desde el Cerro Colorado hasta el Cerro Mauco por el sur, lo que hace una gran e importante diferencia con el resto del área hacia el sur del río Aconcagua.

Se distinguen tres cuencas hidrográficas: La Ligua-Aconcagua, Río Aconcagua y costera entre Aconcagua y Maipo, todas ellas de tipo exorreico.

En términos generales, el clima es templado, cálido lluvioso y, dada su ubicación geográfica costera, cuenta con vientos predominantes en dirección mar-valle durante el día y valle-mar durante la noche. Dentro de las características principales que lo describen se encuentra la alta nubosidad presente a lo largo de todo el año (nieblas matinales y lloviznas débiles), produciendo un efecto de baja amplitud térmica diaria y anual. Debido a la cercanía del mar, la humedad atmosférica es alta, alcanzando un valor promedio de 82%. Otra particularidad de este clima es que se producen 7 a 3 meses secos, concentrándose el 80% de la precipitación anual en los meses de mayo a agosto.

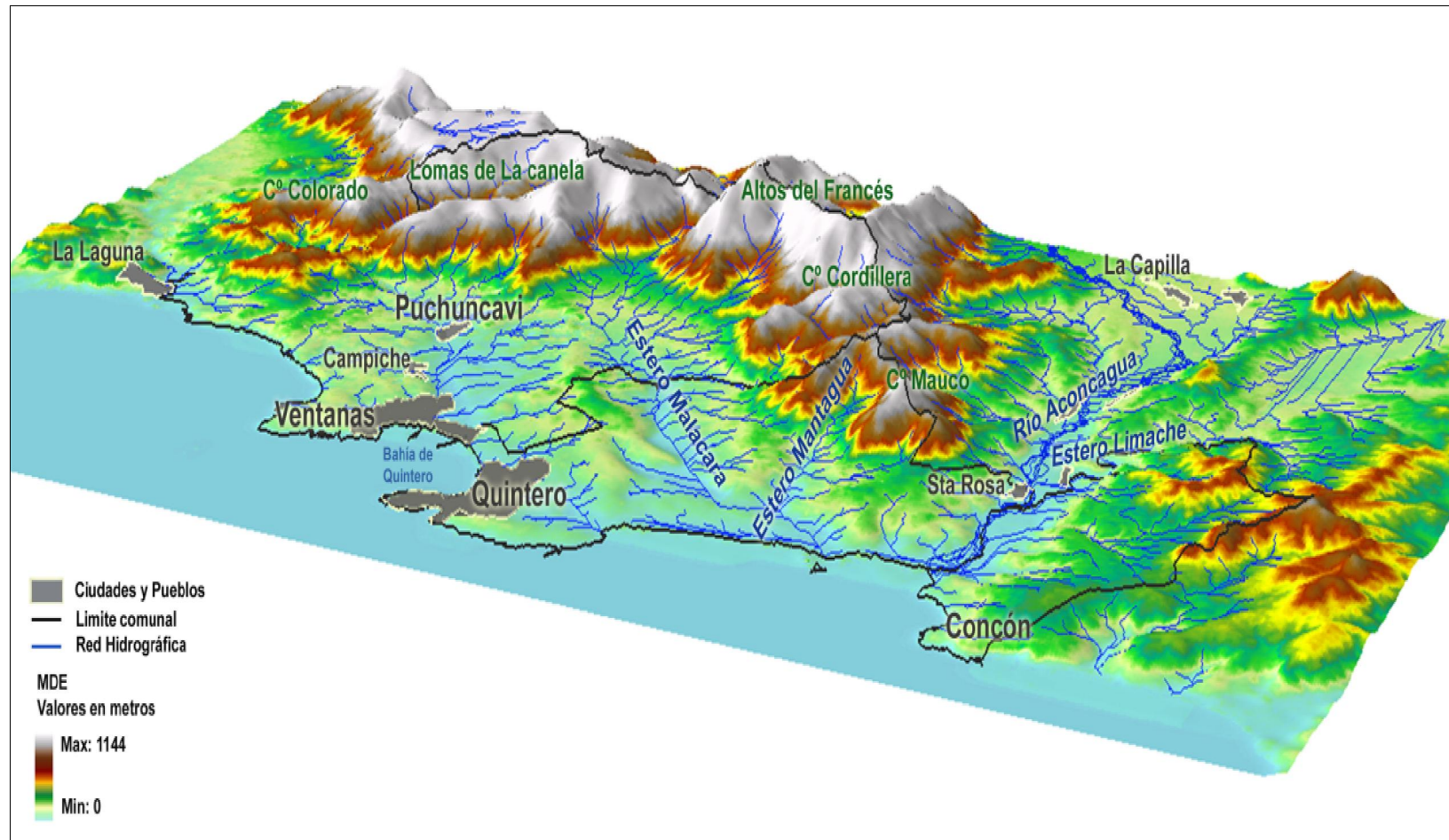


Figura 2.1. Modelo Digital de Elevaciones y red Hidrográfica zona de estudio. (Fuente: Elaboración propia).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



El sector industrial de las comunas, está regulado por el Plan Intercomunal Valparaíso, instrumento de planificación encomendado a la Secretaria Regional de Vivienda y Urbanismo. Este instrumento, contempla el documento "Modificación Plan Intercomunal de Valparaíso, Zonas Industriales Peligrosas y Adyacentes - Comunas de Viña del Mar, Quintero y Puchuncaví", el cual establece condiciones para el sector ubicado al poniente de la vía F30E desde el estero Campiche al sur. Por otra parte, en la zona costera, en el pasado se desarrollaron actividades de exportación de productos agrícolas y fueron el centro de la minería del cobre y oro que se explotaba en valles y quebradas de la costa central.

La comuna de Puchuncaví es un importante polo de desarrollo industrial y constituye el más importante respecto a desarrollo energético. Proyectos de interés nacional como la Planta de Gas Natural Licuado (GNL) y las Centrales Térmicas, son parte de la base estratégica en la política energética y económica de la región y el país.

Por otra parte, Concón representa el segundo cordón industrial de importancia. En este sector cohabitan actividades de índole turística, habitacional y empresas tales como, la Refinería de Petróleo de ENAP, plantas de envasado de gas licuado, Industria Química BASF, y otras de menor tamaño.

En términos generales, se puede distinguir en la zona de estudio las siguientes actividades:

- Actividad Portuaria: operación del Puerto de Ventanas y Quintero, donde se efectúa carga de granos, clinker, combustible, asfaltos, concentrado de cobre y productos químicos, gas natural y petcoke;
- Actividad Turística: Desarrollo de actividades recreacionales y turísticas en la franja costera, deportes náuticos;
- Inmobiliaria e infraestructura hotelera: Desarrollo de proyectos inmobiliarios de primera, segunda y hasta tercera residencia;
- Actividad Agrícola: Desarrollo de una agricultura de mercado y de subsistencia;
- Energética: Instalación y operación de centrales térmicas, con 4 unidades operativas;
- Industrial: Fundición de cobre, procesos de hormigones, asfaltos, fábricas de ladrillos;
- Refinería de petróleos, industria química, etc.;
- Pesca artesanal.

La multiplicidad de actividades productivas, cuya ubicación relativa se ilustra en la figura 2.2, que se realizan en este territorio convierte a esta zona en un lugar extraordinariamente sensible y vulnerable desde el punto de vista ambiental. En este contexto, existe una legítima preocupación, tanto de las autoridades como de sus habitantes, por los diversos impactos que genera la actividad industrial en el territorio y la posible afectación a sus residentes.

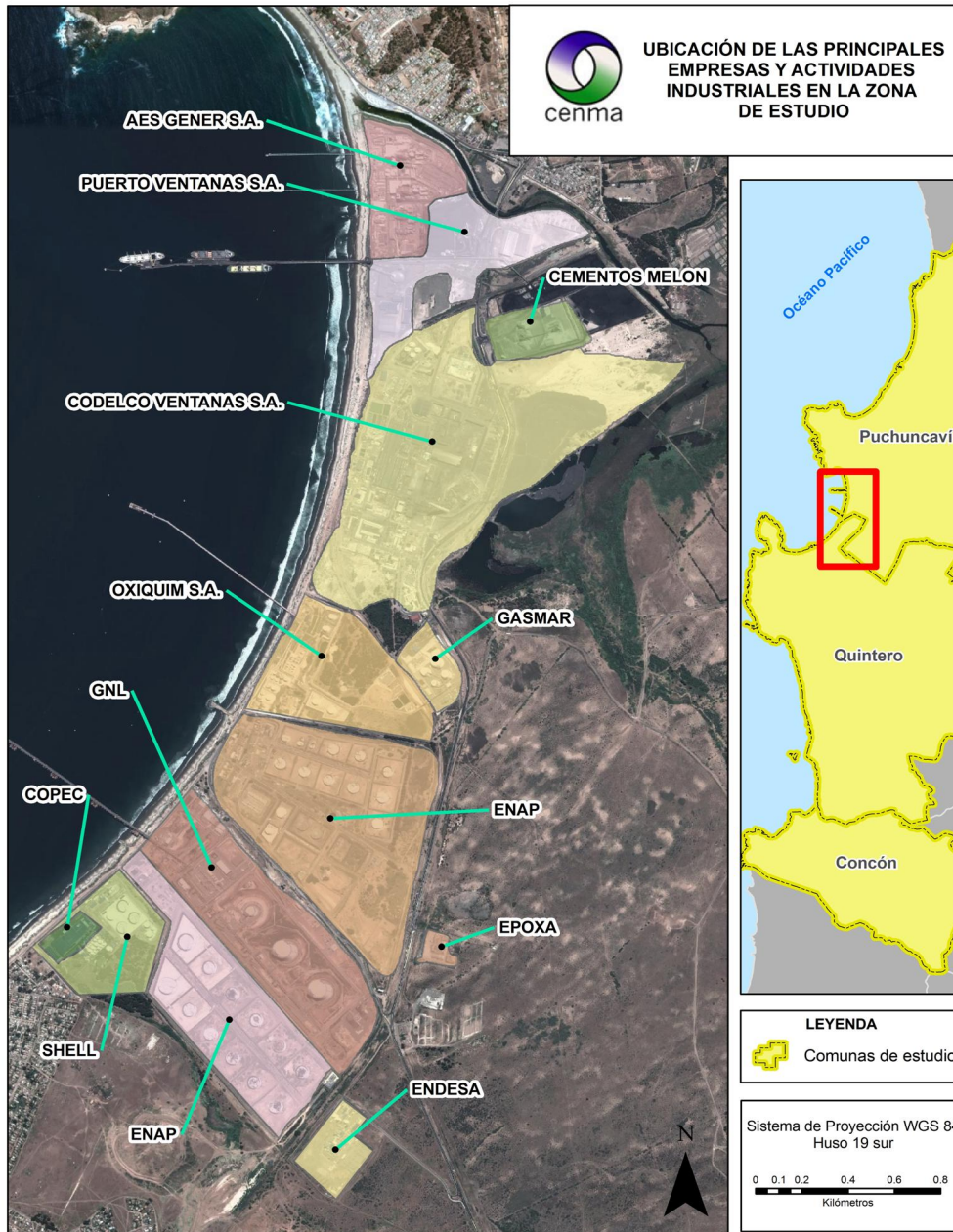


Figura 2.2. Ubicación de las principales empresas y actividades industriales (Fuente: Elaboración Propia).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



CAPITULO 3.- OBJETIVOS

De acuerdo a las bases técnicas de la licitación del presente proyecto, los objetivos del mismo fueron:

Objetivo General:

Evaluar la exposición, para la salud de la población y los ecosistemas, a la presencia de sustancias y contaminantes en el aire y polvo de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (en adelante "área de estudio"), con el fin de establecer mecanismos y herramientas de gestión integradas, eficientes y ambientalmente sustentables.

Objetivos Específicos:

1. Recolectar, sistematizar y analizar la información existente.
2. Participar en la definición del modelo conceptual de incidencia de sustancias potencialmente contaminantes que puedan producir efectos negativos en las matrices ambientales aire, suelo, agua, sedimento y biota.
3. Determinar la concentración representativa de metales en el material particulado y de compuestos orgánicos volátiles en aire y polvo sedimentable.
4. Determinar la exposición a que está expuesta la población del área de estudio, a través del aire y el polvo.
5. Proponer medidas de gestión orientadas a la atenuación del riesgo.

Para cumplimentar estos objetivos se desarrollaron varias actividades de los tipos generales que se indican a continuación:

- **Revisión de antecedentes e información histórica en gabinete:** estas actividades en su conjunto permitieron profundizar en las características de la zona y actualizar el estado del arte sobre el problema en estudio así como los requerimientos de información para acometer estudio de exposición a contaminantes ambientales.
- **Planificación y cálculos en gabinete:** consistieron en la planificación de los diseños para la toma de muestras ambientales en diferentes matrices.
- **Ejecución de campañas de muestreo y medición en terreno:** consistieron en la instalación de diferentes instrumentos en terreno para la medición continua y también para la obtención de muestras discretas



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



- **Análisis en laboratorio:** consistió en la realización de análisis químico a 940 muestras para la obtención de 17360 resultados experimentales, con sus correspondientes programas de control y aseguramiento de la calidad, los que constituyen el soporte experimental fundamental de este estudio y del conjunto de las consultorías en ejecución en la zona de estudio. La información más detallada acerca del alcance de las determinaciones analíticas desarrolladas para este proyecto se presenta en la tabla 3.1.
- **Procesamiento estadístico de los resultados:** consistió en la elaboración de tablas, gráficos y todo el ordenamiento de los resultados experimentales y simulados para realizar evaluación estadística mediante estadística descriptiva general y también mediante el programa ProUCL a fin de determinar las concentraciones estadísticamente representativas de cada uno de los analitos considerados.
- **Revisión de las características de toxicidad de los analitos considerados en el estudio en gabinete:** incluyó la búsqueda de información relacionada con toxicidad en bases de datos.
- **Selección y desarrollo de escenarios de exposición en gabinete:** incluyó la conformación de escenarios hipotéticos genéricos de exposición, la selección de los factores de exposición correspondientes a cada escenario y el cálculo de las dosis de exposición
- **Integración e interpretación de la información en gabinete:** corresponde a la integración final de los resultados en mapas, gráficos resúmenes y su interpretación. Incluyendo la comparación referencial con normativa nacional vigente.
- **Elaboración, revisión y corrección de informes:** incluye el desarrollo, revisión y corrección de informes parciales y de este Informe Final.
- **Presentación parcial de resultados** ante contraparte técnica y otras consultorías en ejecución en la zona.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 3.1. Parámetros determinados por CENMA en los diferentes componentes ambientales para este estudio.

DETERMINACION	PARÁMETRO	COMPONENTE AMBIENTAL			
		AIRE	SUELO	AGUA	SEDIMENTOS FLUVIALES
MEDICIONES	Concentración horaria de SO ₂	✓			
	Concentración horaria de MP _{2,5}	✓			
	Masa de MP _{2,5} y concentración de metales en material particulado en filtros impactados con 24 horas de exposición	✓			
	Compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos: BTEX)	✓			
	Masa de material particulado sedimentable (MPS), medida según fracción soluble, fracción insoluble y masa total; y concentración de metales en la fracción soluble y en la fracción insoluble del MPS	✓			
	Concentración de metales totales (presentada en Anexo 11)		✓	✓	
MODELACION	Concentración horaria de SO ₂ (detalles presentados en Anexo 3-1)	✓			

Estas determinaciones con sus respectivas metodologías de muestreo y análisis se presentan conjuntamente con los resultados experimentales correspondientes a los diferentes capítulos del informe.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



CAPITULO 4: EXPOSICION A CONTAMINANTES AMBIENTALES.

4.1.- Generalidades de la exposición a contaminantes ambientales

Se entiende como caracterización de la exposición al proceso de estimación de la dosis interna, esto es calcular la cantidad de contaminante que ingresa al organismo durante el contacto físico de la matriz ambiental contaminada y por una o más rutas de exposición, durante un tiempo y frecuencia determinada, y bajo las circunstancias en que ocurre la exposición.

De manera simplificada, el proceso de estimación de dosis para la caracterización de la exposición seguido en este estudio, con base en la metodología de evaluación de riesgos a la salud descrita por la USEPA y según los principios de la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, puede representarse como se indica en la figura 4.1.



Figura 4.1.- Representación esquemática de los pasos para estimar exposición a contaminantes ambientales seguidos en este estudio. (Fuente: Elaboración propia).



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Los estudios de exposición incluyen las siguientes actividades genéricas:

- a. **Revisión de antecedentes** diversos acerca de los usos pasados, presente, y futuro (si corresponde) de la zona de estudio, incluyendo fuentes de contaminantes pasadas o presentes, testimonios de episodios de afectación a las personas o ecosistemas, alcances territoriales y temporales de la contaminación potencial, acciones emprendidas, evolución de los requerimientos legales, entre otros.
- b. **Identificación de aspectos generales desde antecedentes**, tales como:
 1. Contaminantes de Preocupación Potencial según los antecedentes aportados y por los usos pasados de la zona de estudio.
 2. Posibles mecanismos de migración y transporte,
 3. Posible destino ambiental de los contaminantes, independientemente de los receptores potenciales directos (aguas subterráneas, aire, polvo).
 4. Posibles puntos de contacto entre contaminantes y receptores de interés.
 5. Formulación de escenarios de exposición incluyendo receptores genéricos de interés, incluyendo la información procedente de antecedentes y de los usos actuales y futuros de la zona de estudios.
- c. **Formulación de un Modelo Conceptual del Problema de Contaminación.** Consiste en describir de manera escrita o gráfica la secuencia de los contaminantes desde la fuente (o fuentes) hasta los receptores genéricos de interés, según la secuencia FUENTE → LIBERACIÓN → MIGRACIÓN → PUNTO DE CONTACTO → RECEPTOR
- d. **Determinación de la concentración representativa** de cada contaminante de interés potencial en cada punto de contacto (puede incluir muestreo y análisis, simulación o datos históricos y su posterior evaluación estadística).
- e. **Identificación de factores de exposición** humanos para cada receptor y ruta de exposición que ocurren en los puntos de contacto, incluyendo frecuencia, duración, y tiempo de las exposiciones.
- f. **Estimación de las dosis** de cada contaminante por cada vía de exposición para cada receptor de interés.
- g. **Verificación de la consistencia** de la evidencia y los supuestos utilizados.

4.1.1 Vías y rutas de exposición

Una **vía** de exposición es el **camino ambiental** recorrido por un contaminante desde su origen en una fuente (primaria o secundaria) ambiental hasta el punto de contacto, donde sucede físicamente el contacto con el receptor humano. Por consiguiente, las vías de exposición se conforman de varios componentes (dentro de los que se encuentran las rutas) que se encuentran concatenados o unidos por procesos, como se ilustra en la figura 4.2.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Los componentes de una vía de exposición son:

- **La existencia de una (o varias) fuente(s) de contaminante(s):** si no existe fuente, no hay exposición. Se entiende que la fuente emite sustancias que tienen posibilidad de producir efectos adversos en la salud de las personas. O sea, no se considera fuente si las sustancias emitidas no han sido clasificadas como tóxicas o si no hay evidencia de su toxicidad en humanos.
- **Un contaminante con concentración detectable en la matriz ambiental:** para que existe exposición hay que encontrar el contaminante en concentración detectable en la matriz correspondiente. O sea, no existe exposición para contaminantes que no hayan sido detectados, y en consecuencia, si un contaminante no es detectado en la matriz ambiental de interés, se interrumpe la evaluación de la exposición. Por consiguiente, es importante hacer un buen diseño experimental para estar lo más seguro posible de que si no se encuentra el contaminante en concentraciones detectables, ello se deba a que no exista este contaminante en la matriz estudiada y no porque las muestras hayan sido mal tomadas, mal conservadas o mal medidas.
- **Un punto de contacto o lugar físico para que se produzca la entrada del contaminante al cuerpo humano.** Para que exista exposición tiene que existir un lugar de contacto, independientemente de la toxicidad de los contaminantes mismos. Por ejemplo, si una sustancia peligrosa es almacenada en condiciones de confinamiento, no existe exposición porque no existe punto de contacto.

Los procesos genéricos de una vía de exposición son:

- **La liberación, transporte y destino ambiental de los contaminantes.** Esto significa que los contaminantes tienen que ser liberados en la fuente por algún proceso, transportarse y llegar hasta algún destino. Por ejemplo, un contaminante aunque sea peligroso, si está confinado en la fuente, no representa exposición.
- **La probabilidad temporal y espacial de que ocurra el contacto.** Esto significa que tiene que existir posibilidad en tiempo y espacio de que ocurra el contacto. Por ejemplo, es poco probable que un niño esté en contacto con suelo contaminado que se encuentran a tres metros de profundidad, porque los niños no acostumbran a excavar tres metros para jugar con tierra, sino que más bien, juegan con la tierra que se encuentra superficial y no con la profunda.

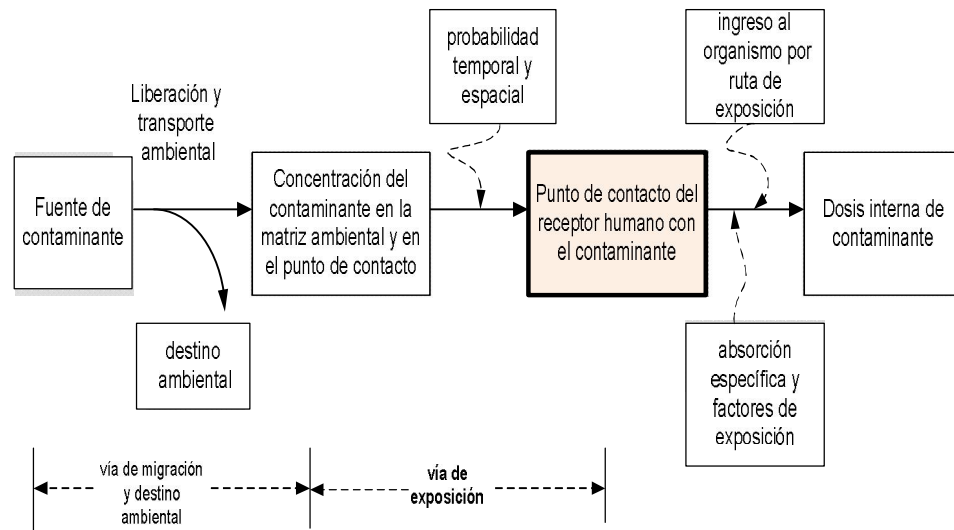


Figura 4.2. Componentes (fuente de contaminante, concentración en la matriz ambiental y el punto de contacto) y **procesos genéricos** (la liberación, transporte y destino ambiental de los contaminantes y la probabilidad temporal y espacial de que ocurra el contacto) de una vía de exposición.

La Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR) ha definido una vía de exposición como la ruta que sigue una sustancia desde la fuente hasta el lugar donde sucede el contacto. Tal como ya se explicó, una vía de exposición completa contiene los tres componentes y los dos procesos descritos. Del mismo modo, la Agencia de Protección de los Estados Unidos (USEPA), en 1989, había definido la vía de exposición como el curso o camino que toma una sustancia o agente físico desde una fuente hasta el organismo expuesto.

En la legislación chilena de años recientes han aparecido varias definiciones semejantes (aunque no tan detalladas) de lo que se entiende por vía de exposición.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 4.1.- Definiciones de vías y rutas de exposición según diferentes documentos de uso en la legislación ambiental chilena.

<p>GUÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN EN EL SEIA.</p> <p>Editor: Servicio de Evaluación Ambiental</p> <p>ISBN:978-956-9076-06-0 2012</p>	<p>En el Capítulo EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (página 39), se indica lo siguiente:</p> <p>Una ruta de exposición se define como el proceso por el cual una persona se ve expuesta a contaminantes que se originan en alguna fuente de contaminación.</p> <p>La exposición tiene lugar cuando existe una ruta de exposición completa, la que ocurre cuando todos los elementos siguientes están presentes: Una fuente de contaminante, por ejemplo, una chimenea o derrame de combustible. Un mecanismo de salida o liberación del contaminante; Medios para que se desplace el contaminante, como las aguas subterráneas, el suelo y el subsuelo, el agua superficial, la atmósfera, los sedimentos y la biota, y mecanismos de transporte; Un punto de exposición o un lugar específico en el cual la población entra en contacto con el contaminante; Una vía de exposición o manera en que los contaminantes se introducen o entran en contacto con el cuerpo. Para contaminantes químicos éstas son inhalación (p. ej., gases y partículas en suspensión), ingestión (p. ej., suelo, polvo, agua, alimentos) y contacto dérmico (p. ej., suelo, baño en agua); y Una población receptora que esté expuesta o potencialmente expuesta a los contaminantes.</p> <p>Una ruta de exposición potencial es aquella a la que le falta uno o más de los elementos anteriores, pero la información disponible indica que la exposición es probable. Una ruta de exposición es incompleta cuando faltan uno o más elementos y la información disponible indica que no se prevé que haya exposición.</p> <p>La determinación de las rutas de exposición completas o potencialmente completas se hace en base al modelo conceptual del emplazamiento así como a los contaminantes identificados (Identificación del Peligro).</p> <p>Sólo las rutas de exposición que sean completas o potencialmente completas serán posteriormente consideradas en el proceso de evaluación del riesgo.</p>
---	--



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



<p>Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial pre-sencia de con-taminantes, elaborada por Fundación Chile para el Ministerio de Medio Ambiente, 2012</p>	<p>Página 15: Glosario:</p> <p>Ruta de exposición: Trayectoria que sigue la sustancia tóxica, desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones y/o biota previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos (Res. Ex. No 1690/2011)</p> <p>Vía de exposición: Mecanismo por medio del cual un contaminante entra al organismo (ingestión, inhalación, contacto dérmico). (Res. Ex. No 1690/2011)</p> <p>Página 82: "Identificación de vías de exposición".</p> <p>Es importante determinar si cada vía de exposición ha ocurrido en el pasado, está ocurriendo en el presente o se espera que ocurra en el futuro. Es posible que uno o más elementos de una vía de exposición no existan o no se logren identificar en el problema de contaminación. Se pueden identificar tres tipos de vías de exposición: completa, potencial o incompleta.</p> <p>Una vía de exposición se considera completa y el receptor se considera expuesto si hay evidencia de que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Todos los elementos de una vía de exposición existen, han existido o van a existir (en un tiempo cercano). • Todos los elementos de la vía de exposición están conectados. • Los contaminantes están presentes en el medio ambiental de contacto. • Los contaminantes están presentes en el punto de exposición. <p>Se recomienda que las vías de exposición potenciales sean analizadas separadamente y la contribución relativa a la exposición total sea estimada.</p> <p>Nota: Aunque este texto corresponde a las definiciones entregadas por la USEPA, la Guía no indica cuáles son los "elementos de una vía de exposición" y en todo el epígrafe no se refiere</p>
---	---



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



	a "ruta" sino a vías de exposición.
Resolución Exenta No 1690 de 2011, Aprueba Metodología para la Identificación y evaluación preliminar de suelos abandonados con potencial presencia de con-taminantes.	Se define ruta de exposición como la trayectoria que sigue la sustancia tóxica desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones y/o biota previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos.
Guía Para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Reparación o Recuperación de Terrenos que Contengan Contaminantes, 2007	<p>...una ruta de exposición está conformada por los siguientes componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Una fuente de contaminantes: el terreno o sitio en el que existe presencia de contaminantes. b) Una vía de transporte de los contaminantes: el medio o componente natural o artificial a través del cual se pueden movilizar o migrar los contaminantes c) Un receptor: el (los) componente(s) del medio ambiente susceptible(s) de ser afectado(s) debido a la exposición a los contaminantes.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Aunque estas definiciones entre sí son diferentes en detalle y alcance, ninguna corresponde exactamente a la entregada por las agencias ambientales estadounidenses. La que más se acerca, aunque no es completa en detalles, es la que se entrega en la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, elaborada por Fundación Chile para el Ministerio de Medio Ambiente, 2012.

En documentos en lengua castellana, sin embargo, se identifican como sinónimos las palabras “vías de exposición” con “rutas de exposición”.

En este estudio, no obstante, se utilizaron las definiciones utilizadas por la USEPA y la ASTDR, que corresponden al texto desarrollado en la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes. En todos los casos, se consideraron únicamente vías completas de exposición.

Respecto de las rutas de exposición (entendidas como los puntos de ingreso de los contaminantes al interior del organismo) las mismas están asociadas principalmente con tres funciones corpóreas que se describen a continuación:

- **Por la vía respiratoria:** en el tracto respiratorio (nariz, boca, pulmones) el contaminante penetra la membrana que recubre los bronquios, entrando a la sangre. Para el caso estudiado, por la vía respiratoria podrían ingresar compuestos volátiles, y aerosoles suspendidos en el aire. El material particulado de tamaño mayor a 5 o 10 μm es retenido en la porción superior de la vía respiratoria y redirigidas al tracto gastrointestinal.
- **Por la vía oral:** la sustancia atraviesa la pared gastrointestinal, principalmente en el estómago e intestinos desde el lumen al sistema porta. Mientras la sustancia se encuentre en el lumen del tracto gastrointestinal sin ser absorbido, no hay exposición. Por la vía oral puede ingresar material no consolidado movilizado como polvo o suelo, ingeridos de modo accidental.
- **Por la piel:** la exposición por la superficie externa del organismo ocurre cuando la sustancia penetra la piel e ingresa a la circulación. En el caso presente, se estimó que la piel podría ser afectada por contacto directo con el material no consolidado movilizado como polvo o con suelos.

4.1.2 Punto de contacto o punto de exposición entre contaminante y receptor

Para que exista exposición, deben concurrir simultáneamente el contaminante en una concentración que pueda ser cuantificable, en una matriz ambiental identificable (aire, agua, suelo, o un alimento) y un receptor humano. Además debe haber una probabilidad cierta de ocurrencia temporal y espacial del contacto físico entre el contaminante y el receptor humano, es decir el punto de contacto entre un contaminante y el receptor humano debe ser plausible y medible. Es en este punto



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



donde ocurre la exposición en función de la duración, magnitud, biodisponibilidad, y absorción de cada contaminante. El punto de contacto, entonces, es el lugar (real o hipotético) donde ocurre (o puede ocurrir) el contacto de un contaminante, típicamente presente en una matriz ambiental (aire, agua, suelo) con el organismo, por una ruta de exposición (oral, dérmica, respiración).

La Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, define como puntos de exposición (equivalente a puntos de contacto), como los “lugares donde es posible encontrar presencia de contaminantes y donde los receptores, a través de alguna vía (o ruta) pueden entrar en contacto con los medios contaminados (medios de contacto).

Identificar los puntos potenciales de contacto entre los contaminantes y los receptores es una etapa crucial de estudios de exposición.

Para identificar estos puntos de contacto se deben considerar todos los aportes desde los antecedentes, acorde a la descripción del fenómeno ambiental en estudio. Esto es, considerar los patrones meteorológicos y su aporte a la dispersión de contaminantes para seleccionar las zonas donde con mayor probabilidad se desplacen los mismos según la circulación de las masas de aire.

Para este estudio, se han identificado los siguientes puntos donde existe mayor probabilidad de que los contaminantes tengan contacto con receptores humanos genéricos



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 4.2. Puntos de contacto identificados para receptores humanos genéricos en este estudio.

Ruta de exposición	Punto de contacto	Ejemplos de punto de contacto
Inhalación, ingestión	Cualquier lugar donde los receptores respiran y durante ese proceso, inhalan partículas, algunas de las cuales van a los pulmones y otras al estómago.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aire de una habitación residencial. ➤ Aire de la sala de clases.
Inhalación	Cualquier lugar donde los receptores respiran y durante ese proceso, inhalan gases o compuestos volátiles, que van a los pulmones.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aire de una habitación residencial. ➤ Aire de la sala de clases.
Ingestión, contacto dérmico	Cualquier lugar donde se tiene contacto directo con suelos y polvos por lo que los contaminantes puede adsorberse por la piel, tales como sitios donde poner las manos en el suelo, tocar objetos con polvo; o llevarse a la boca objetos sucios o las manos sucias.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Áreas de juego al aire libre, tales como resbalines. ➤ Salas de juego donde los juguetes se encuentran en el piso o en el suelo. ➤ Lugares de comida al aire libre, donde el polvo puede adherirse a los alimentos que se consumen crudos. ➤ Lugares donde se ingieren alimentos sin lavarse las manos (independientemente de que sea un lugar comercial o residencial).

4.1.3 Concentración representativa del contaminante en el punto de contacto

En estudio de exposición es muy importante estimar o determinar la concentración representativa de cada contaminante en cada matriz ambiental para cada punto de exposición. Esto incluye, determinaciones en el aire, en aguas superficiales, aguas subterráneas, suelos, diversos alimentos (frutas, carnes, verduras, productos lácteos), juguetes infantiles diseñados para llevarse a la boca u otras matrices que puedan contener el contaminante.

Para este estudio se han seleccionado los contaminantes genéricos de interés, según las rutas de exposición y los puntos potenciales de contacto, que se describen en la tabla 4.3.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 4.3. Contaminantes genéricos de interés en los puntos de contacto asociados a las diferentes rutas de exposición con su correspondiente matriz analítica.

Ruta de exposición	Puntos de contacto	Contaminantes genéricos de interés en el punto de contacto	Matriz analítica
Inhalación, ingestión	Cualquier lugar donde los receptores respiran y durante ese proceso, inhalan partículas, algunas de las cuales van a los pulmones y otras al estómago.	Concentración de partículas en el aire ($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)	Material particulado MP 10
		Concentración de contaminantes no volátiles (metales) en las partículas (mg/kg)	
		Concentración de partículas en el aire ($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)	Material particulado MP 2,5
		Concentración de contaminantes no volátiles (metales) en las partículas (mg/kg)	
		Cantidad de partículas sedimentadas en un área determinada en un período determinado ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot 30\text{d}$)	Material particulado grueso (sedimentable o polvo grueso, MPS).
		Concentración de contaminantes no volátiles (metales) en las partículas (mg/kg)	
Inhalación	Cualquier lugar donde los receptores respiran y durante ese proceso, inhalan gases o compuestos volátiles, que van a los pulmones.	Gases y compuestos volátiles ($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)	Aire ambiental
Ingestión, contacto dérmico	Cualquier lugar donde se tiene contacto directo con suelos y polvos (poner las manos en el suelo, tocar objetos con polvo) y llevarse a la boca objetos sucios o las manos sucias.	Cantidad de partículas sedimentadas en un área determinada en un período determinado ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot 30\text{d}$)	Material particulado grueso (sedimentable o polvo grueso, MPS).
		Concentración de contaminantes no volátiles (metales) en las partículas (mg/kg)	
		Contaminantes no volátiles (metales) en suelos	Suelo superficial



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La estimación de la concentración representativa de cada contaminante en cada matriz ambiental para cada punto de contacto tiene dos partes principales:

- (a) toma de muestra y análisis químico de los contaminantes que puedan estar presentes en las matrices ambientales identificadas como potencialmente contaminadas o de interés, y
- (b) análisis estadístico de los resultados para estimar la concentración que sea representativa de los valores obtenidos.

Del mismo modo, es importante expresar la concentración en unidades que tengan relación con el contacto, consumo, ó exposición. Por ej., un contaminante como gas o vapor en aire se expresa en miligramos por metro cúbico normalizado de aire ($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$).

La determinación de la concentración del contaminante en el punto de contacto se puede llevar a cabo mediante toma de muestras y análisis químico en los puntos de contacto hipotéticos, o mediante modelos matemáticos que describen el movimiento de los contaminantes en el medio ambiente.

Las ventajas y desventajas de cada una de estas variantes se pueden resumir como sigue.

Muestreo y análisis químico: Esta variante está indicada para situaciones presentes o de un pasado o un futuro cercano, ya que los contaminantes pueden sufrir cambios de concentración debido a la migración ambiental o degradación química. Requiere tiempo, personal, instrumentación, equipo, recursos, además de cumplir los requerimientos específicos para obtener muestras representativas y resultados analíticos confiables.

Mediante modelos matemáticos: Esta variante está indicada para situaciones pasadas o en un futuro, permitiendo hacer predicciones. Se puede utilizar en situaciones donde no sea posible tomar muestras y donde existan modelos desarrollados y validados. El uso de modelos inapropiados puede llevar a resultados con poco sentido práctico. Los resultados de la modelación están afectados por incertidumbre asociada con inexactitudes del modelo matemático. La información disponible también puede ser usada para modelar una futura migración ambiental.

En este estudio se utilizaron los resultados obtenidos de muestreo y análisis químico para los cálculos de dosis de exposición. Sin embargo, los resultados de la modelación de dispersión de contaminantes se utilizaron para apoyar la interpretación de los resultados en el sentido de condiciones genéricas de exposición.

Las actividades en esta fase incluyeron:



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



- **Para el muestreo de medios ambientales:**
 - selección de estrategia de muestreo según contaminantes de interés, selección de la frecuencia de toma de muestras, ubicación de estaciones de muestreo, condiciones de transporte y conservación de las muestras, diseño de elementos de control de calidad en el muestreo.
 - Instalación de equipos en terreno para obtener información continua y muestras puntuales según se detalla en los capítulos correspondientes de este informe.
 - Ejecución de las campañas de muestreo según se detalla en los capítulos correspondientes de este informe.
- **Para el análisis químico de muestras ambientales:**
 - Aplicación de elementos de aseguramiento de calidad de los resultados: identificación inequívoca de muestras, uso de reactivos e insumos verificados con calidad conocida, uso de instrumentos y equipos calibrados y verificados, personal entrenado y capacitado para la ejecución de los ensayos, supervisión técnica del trabajo y de la emisión de informes de análisis.
 - Utilización de protocolos validados de análisis, que incluyen –cada uno– sus correspondientes elementos de calidad: análisis de muestras blancos de matriz para detectar contaminación intralaboratorio, análisis de muestras fortificadas para evaluar recuperación analítica, análisis de muestras duplicadas para evaluar repetibilidad, participación en evaluaciones externas.
 - Elaboración de informes de análisis con resultados verificados e información trazable.
- **Para la evaluación estadística de los valores:**
 - Ordenamiento de los datos en tablas según matrices y analitos de interés.
 - Exploración de la distribución estadística de los datos obtenidos.
 - Cálculo de estadígrafos descriptivos generales: valor mínimo, valor máximo, valor promedio, mediana.
 - Cálculo del valor estadísticamente representativo de cada contaminante en cada matriz; cálculo del 95% nivel superior de confianza del promedio de las concentraciones detectadas que incluye el tratamiento previo de datos censurados o valores no detectados.

Posterior al contacto del contaminante con el receptor, la exposición ocurre cuando el contaminante ingresa al organismo (por una ruta de exposición, atraviesa una membrana de intercambio en el sistema gastrointestinal, los bronquios, o por la dermis), y pasa a ser una ***dosis interna***.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



4.2 Escenarios de exposición y receptores seleccionados

La Guía Metodológica para la gestión de suelos con presencia de contaminantes considera como "escenario de exposición" al área física que comprende el lugar en el cual se derraman o emiten los tóxicos al ambiente, se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios contaminantes. De esta definición se entiende que un escenario de exposición debe contener la definición de un lugar o espacio físico concreto donde puedan (al menos hipotéticamente) coexistir unos receptores genéricos (adultos, niños, escolares, trabajadores) con una fuente de contaminantes conectados mediante una vía de exposición. Para esto se seleccionan los receptores genéricos de interés según los usos actuales, pasados o futuros del área de estudios.

Los receptores genéricos de interés son aquellos que presentan mayor susceptibilidad, mayor exposición o que presentan alguna característica que los hace vulnerables a la exposición de los contaminantes estudiados. Los escenarios de exposición pueden ser reales o hipotéticos, y constituyen el supuesto fundamental de un estudio de exposición (y de riesgo a la salud).

Los escenarios seleccionados son:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 4.4.- Descripción de los escenarios genéricos de exposición

	Zona de exposición	Receptor genérico	Actividades que efectúa el receptor en la zona de exposición	Duración de la exposición	Condiciones de la exposición	Observaciones adicionales
Esce-nario 1	Comuna de Puchuncaví	Adulto (18-70 años)	Trabaja en la comuna durante 200 días por año	30 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta el tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial
Esce-nario 2	Comuna de Puchuncaví	Niños (1-18 años)	Viven y estudian en la comuna durante 250 días por año	18 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
Esce-nario 3	Comuna de Puchuncaví	Adulto (18-70 años)	Trabaja en actividades al aire libre en la comuna durante 365 días por año	50 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con	Considera que el trabajo se realiza todos los días sin descanso.
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



					polvos	
Esce- nario 4	Comuna de Quintero	Adulto (18-70 años)	Trabaja en la comuna durante 200 días por año	30 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta el tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial
Esce- nario 5	Comuna de Quintero	Niños (1-18 años)	Viven y estudian en la comuna durante 250 días por año	18 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
Esce- nario 6	Comuna de Quintero	Adulto (18-70 años)	Trabaja en actividades al aire libre en la comuna durante 365 días por año	50 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Considera que el trabajo se realiza todos los días sin descanso.
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial
Esce- nario 7	Comuna de Concón	Adulto (18-70 años)	Trabaja en la comuna durante 200 días por año	30 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta el tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Esce- nario 8	Comuna de Concón	Niños (1-18 años)	Viven y estudian en la comuna durante 250 días por año	18 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Se descuenta tiempo de vacaciones pasadas fuera de la comuna y días de lluvia en que no hay polvo
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
Esce- nario 9	Comuna de Concón	Adulto (18-70 años)	Trabaja en actividades al aire libre en la comuna durante 365 días por año	50 años	No utiliza equipos de protección personal (respiradores, guantes, botas) por lo que su piel y su nariz están en contacto con polvos	Considera que el trabajo se realiza todos los días sin descanso.
						No considera hábitos de vida que puedan aportar contaminantes como fumar.
						No considera exposición laboral industrial



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



4.3 Factores de Exposición Humana.

Los factores de exposición humana (FEH) son variables que describen características biológicas y fisiológicas del receptor humano y que están relacionadas con el ingreso de sustancias químicas al organismo, expresadas por unidad de tiempo. Los FEH incluyen parámetros tales como el volumen de aire inspirado por unidad de tiempo, agua ingerida por día, tasa diaria de alimento ingerido, superficie dérmica de cada parte del cuerpo, absorción dérmica por día, y peso corpóreo.

Para este estudio, se utilizó información de los factores de exposición humana extraída del documento Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. EPA /600/R-090/052F, donde aparece información apropiada para desarrollar el estudio, con validación internacional.

Para la selección de los factores de exposición hay que considerar la duración, frecuencia, y largo del contacto, que se refieren al tiempo durante el cual la sustancia está en contacto con el límite exterior del organismo. Para sustancias que ingresan al organismo por la vía respiratoria, se supone que la exposición es inmediata y por lo tanto el tiempo de contacto es igual a la duración de la exposición. Típicamente la exposición se expresa en horas/día.

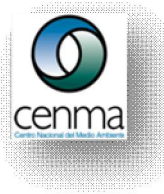
El valor numérico de los factores de exposición, los factores temporales y el peso corporal dependen de las circunstancias en que ocurre la exposición. Para el escenario de exposición de niños expuestos a contaminantes mientras se encuentran en un colegio, los volúmenes de respiración por hora, superficie dérmica expuesta, e ingestión de agua son valores específicos para una determinada edad de niños, que habitualmente comprenden valores representativos de ambos sexos.

Los valores usados se describen en cada una de las tablas de exposición desarrolladas para las tres comunas.

4.4 Algoritmos para estimación de dosis interna.

La exposición de un receptor genérico a un contaminante en las condiciones de un escenario definido, se expresa en términos de dosis/ingesta del mismo a través de cada una de las rutas de exposición que sean relevantes para el escenario en cuestión.

La ingesta media diaria es la mejor estimación posible de la exposición media a lo largo de un tiempo determinado. Esto significa que no considera episodios excepcionales de alta contaminación y se supone que todos los días se siguen rutinas semejantes



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La fórmula genérica para calcular la ingesta media diaria de un contaminante en las condiciones de un escenario de exposición es la siguiente:

$$I = \frac{C * TC}{P} * \frac{TE}{PE}$$

Donde:

I = Ingesta media diaria

C = concentración representativa de la exposición

TC= tasa de contacto

P = peso corporal del receptor

TE = tiempo de exposición

PE= período de exposición

Para las diferentes vías de exposición, se han definido fórmulas específicas que adecúan los componentes de esta ecuación a las condiciones de cada matriz y analito, incluyendo además varios factores de ajuste.

4.4.1 Algoritmos de dosis interna

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de dosis internas según las diferentes vías de exposición.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La fórmula genérica para calcular la ingesta media diaria de un contaminante en las condiciones de un escenario de exposición es la siguiente:

$$I = \frac{C * TC}{P} * \frac{TE}{PE}$$

Donde:

I = Ingesta media diaria

C = concentración representativa de la exposición

TC= tasa de contacto

P = peso corporal del receptor

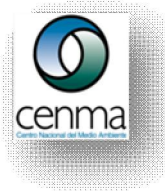
TE = tiempo de exposición

PE= período de exposición

Para las diferentes vías de exposición, se han definido fórmulas específicas que adecúan los componentes de esta ecuación a las condiciones de cada matriz y analito, incluyendo además varios factores de ajuste.

4.4.1 Algoritmos de dosis interna

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de dosis internas según las diferentes vías de exposición.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 4.5.- Fórmulas para el cálculo de la ingesta media diaria para diferentes vías de exposición relevantes para este estudio.

Vía de exposición	Fórmula para el cálculo de la ingesta media diaria	Condiciones de exposición a que se aplica
Inhalación de partículas	$I_p = 24 * 10^{-6} * \frac{C_{pa} * F_{10} * C_{10} * T_{Ia}}{P} * \frac{T_E}{P_E}$	Situaciones de inhalación de partículas de suelo o polvo con presencia de contaminantes.
Inhalación de vapores o gases	$I_v = 24 * \frac{C_a * T_{Ia}}{P} * \frac{T_E}{P_E}$	Puede suceder en ambiente exterior e interior. También puede originarse en exposición a la presencia de contaminantes volátiles en el suelo y aguas subterráneas
Contacto dérmico con suelo	$I_{ds} = 10^{-6} * \frac{C_s * S_c * AD * ABS}{P} * \frac{T_E}{P_E}$	Actividades que transcurren en el exterior y en el interior, asumiendo que las partículas de suelo se movilizan en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.
Ingestión accidental de suelo	$I = 10^{-6} * \frac{C_s T_{Is}}{P} * \frac{T_E}{P_E}$	Actividades que transcurren en el exterior y en el interior, asumiendo que las partículas de suelo se movilizan en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

Esta etapa consiste en estimar la cantidad de contaminante presente en la matriz ambiental que puede ser absorbida al interior del organismo. A continuación se describen las fórmulas y sus términos para calcular la dosis ingerida según Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, MMA, utilizados en este estudio, para vías de exposición específicas:

Ingestión de suelo

La ingestión de suelo está asociada a diversas actividades que generalmente tienen lugar en el ambiente exterior pero también puede ocurrir en ambientes interiores, siempre que sea efectivo asumir que se produce la movilización de partículas de suelo contaminado en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



La expresión siguiente permite calcular la ingesta media diaria asociada a la ingestión accidental (o voluntaria, en el caso de niños) de suelo o polvo con presencia de contaminantes:

$$I = 10^{-6} * \frac{C_s T I_s}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I = Ingesta media diaria de contaminante debido a ingestión de suelo o polvo con presencia de contaminantes (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

T I_s = Tasa de ingestión de suelo o polvo contaminado (mg/día)

P = Peso corporal (kg)

T E = Tiempo de exposición (día)

P E = Periodo de exposición (día)

Inhalación de Partículas

La expresión siguiente permite calcular las ingestas asociadas a la inhalación de partículas de suelo o polvo con presencia de contaminantes.

$$I_p = 24 * 10^{-6} * \frac{C_{pa} * F_{10} * C_{10} * T I_a}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_p = Ingesta media diaria de contaminante debido a inhalación de partículas en el aire (mg/kg·día)

C_{pa} = Concentración de partículas en el aire (mg/m³N).

F₁₀ = Fracción de partículas respirables (< 10 μm - adimensional).

C₁₀ = Concentración del contaminante en las partículas respirables (mg/kg)

T I_a = Tasa de inhalación de aire (m³/h N)

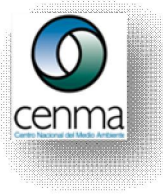
P = Peso corporal (kg)

T E = Tiempo de exposición (día)

P E = Período de exposición (día)

Inhalación de Vapores o Gases

La inhalación de vapores puede tener lugar tanto en un ambiente exterior como interior. Las situaciones que dan lugar a este tipo de exposición pueden estar ligadas a la presencia de contaminantes volátiles en el suelo, en las aguas subterráneas y en las fases no disueltas que aparecen en las aguas subterráneas



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



tras su saturación (fase libre). En un ambiente interior, hay que considerar además la exposición durante el baño/ducha, si las circunstancias del caso así lo ameritan.

Para calcular las ingestas por inhalación de contaminantes en fase de gaseosa se puede emplear la siguiente ecuación:

$$I_v = 24 * \frac{C_a * TI_a}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_v = Ingesta media diaria de contaminante debido a inhalación de vapores o gases del aire (mg/kg·día)

C_a = Concentración del contaminante en el aire (mg/m³N)

TI_a = Tasa de inhalación de aire (m³/h N)

P = Peso corporal (kg)

TE = Tiempo de exposición (día)

PE = Período de exposición (día)

Contacto Dérmico con Suelo

La exposición por contacto dérmico con suelo con presencia de contaminantes puede tener lugar tanto en ambientes exteriores como interiores. El segundo supuesto se considerará siempre que sea posible asumir que se produce la movilización de partículas de suelo con presencia de contaminantes en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

La dosis absorbida por contacto dérmico con suelo con presencia de contaminantes puede estimarse mediante la expresión siguiente:

$$I_{ds} = 10^{-6} * \frac{C_s * S_c * AD * ABS}{P} * \frac{T_E}{P_E}$$

Donde:

I_{ds} = Dosis absorbida media diaria debido a contacto dérmico con polvo o suelo con presencia de contaminantes (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

S_c = Superficie corporal expuesta (cm²/día)

AD = Factor de adherencia suelo-piel (mg/cm²)



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



ABS = Factor de absorción dérmica (adimensional)

P = Peso corporal (kg)

TE = Tiempo de exposición (día)

PE = Período de exposición (día)

CAPITULO 5.- RECOPIACION, SISTEMATIZACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION EXISTENTE.

La zona de estudios se caracteriza por un clima de tipo templado de verano seco, con temperaturas moderadas, sin nieve y casi sin heladas. La precipitación media anual oscila entre 200 a 300 mm, alcanzando hasta 400 mm en la zona del río Aconcagua. Estas se concentran en dos a tres meses, siendo intensas y constantes. La temperatura y humedad están influenciadas por el dominio marítimo de la zona, dando paso a precipitaciones en forma de lluvia y neblinas de baja altura que llegan hasta la vertiente occidental de la cordillera de la costa. La temperatura media anual es de 14,8°C, presentando una variación térmica de 5,4°C y mínimas entre 8,6°C y 9,2°C (Cosio *et al.*, 2007).

5.1.- Información histórica de calidad del aire.

A partir de los datos meteorológicos recibidos de la contraparte técnica de este proyecto, se generó el análisis estadístico que permitió dilucidar el comportamiento del viento de las diferentes estaciones pertenecientes a la red de monitoreo emplazadas en la zona, en base al criterio de similitud de estas.

La comparación entre estaciones se realizó según la función de distribución de datos empíricos de dirección de viento, mediante la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras independientes, cuyos resultados se presentan resumidamente en la tabla a continuación.

Tabla 5.1.- Comparación estadística para las estaciones Puchuncaví, Los Maitenes, Sur y La Greda según prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Estaciones	Puchuncaví	Los Maitenes	Sur	La Greda	Quintero
Puchuncaví		D= 0,169 p< 0,05	D= 0,199 p<0,05	D=0,1568 p<0,05	D=0,2965 P<0,05
Los Maitenes			D= 0,1080 p<0,05	D=0,1311 p<0,05	D=0,2055 p<0,05
Sur				D=0,0901 p<0,05	D=0,1454 p<0,05
La Greda					D=0,2115 p<0,05



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



De acuerdo con los resultados, se puede inferir que todas las estaciones difieren significativamente entre sí en cuanto a su función de distribución en la dirección del viento. Esto debido a que el estadígrafo de la prueba supera los 0,1, y la probabilidad (p) es menor a 0,05. En la figura a continuación se presenta la comparación gráfica de la distribución acumulada para los datos de dirección del viento para varios pares de estaciones. A partir de esta representación es posible inferir que el patrón de la dirección del viento en el área de estudio es totalmente diferente en todas las estaciones de monitoreo, por lo cual, el o los contaminantes potenciales se moverán en direcciones diferentes y es de esperar que se encuentren en diferentes concentraciones en toda la zona de estudio.

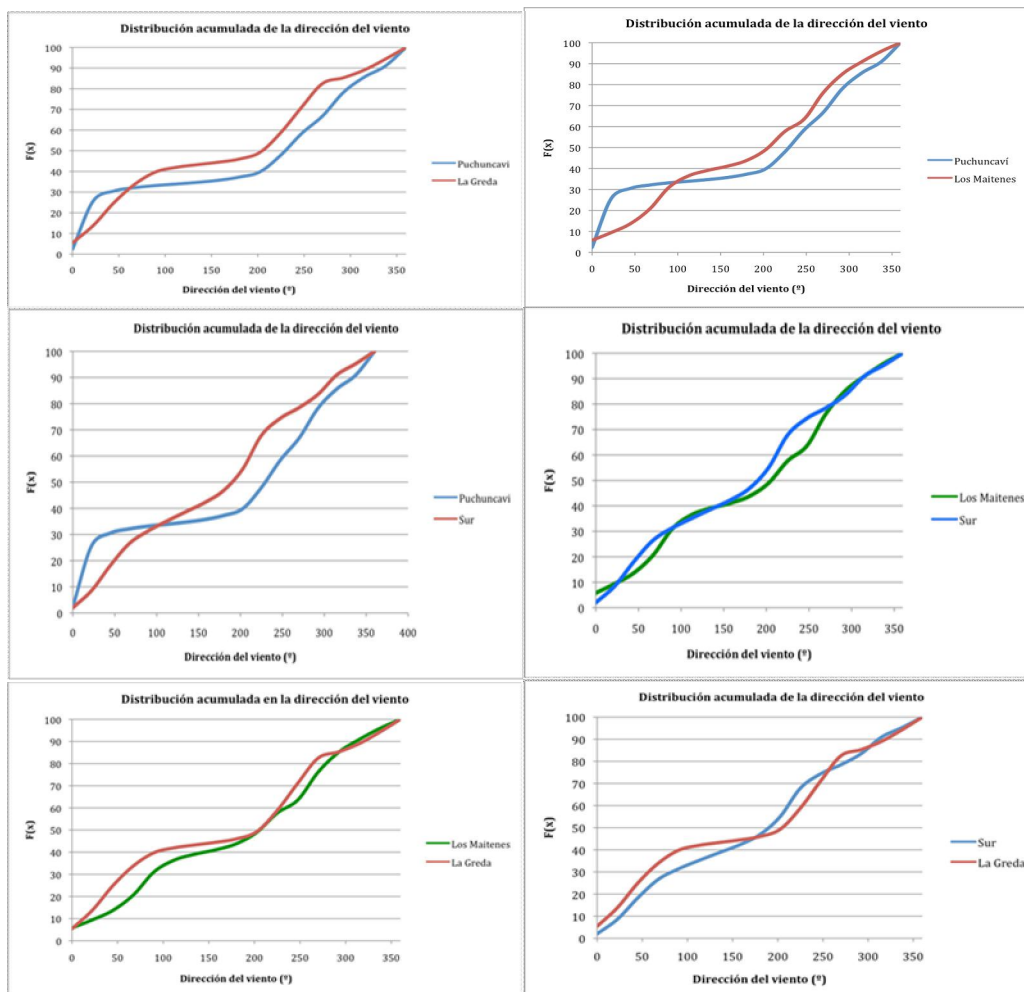


Figura 5.1. Comparación de la distribución acumulada para los datos de dirección de viento para pares de estaciones de monitoreo en la zona de estudio.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Se desarrolló el análisis de información meteorológica y de calidad de aire utilizando la información proveniente de las redes de monitoreo existentes en la región, facilitadas a CENMA por la contraparte técnica de este proyecto.

La información trabajada incluyó datos meteorológicos y de calidad del aire de las redes de monitoreo de CODELCO Puchuncaví, ENAP Concón y Red GNL Quintero. Además se incluyó información y análisis meteorológico para las variables SO₂, velocidad del viento y material particulado en las estaciones donde fue posible encontrar información (La Greda, Puchuncaví, Los Maitenes, Concón y Colmo) tomando en cuenta el período Enero-Junio del año 2012. Además, se caracterizaron los patrones de ocurrencia de incrementos en las concentraciones de SO₂ con datos recogidos de la estación La Greda. Ambos análisis se realizaron con datos recopilados de Airviro para el período enero-diciembre de 2012. Los resultados de estas evaluaciones se presentan en los **Anexos 1 y 2** de este informe.

En el Informe Final del estudio “Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso. Implementación de un Modelo Atmosférico”, desarrollado por UNTEC, Fundación para la Transferencia Tecnológica en junio de 2012, se constata que “en la zona Puchuncaví/Quintero existe un gran número de fuentes emisoras. Mientras las mediciones de calidad del aire muestran que el problema principal de la zona misma es el SO₂, también existen emisiones importantes de NOx y PM”. Del mismo modo, se constata que “dadas las fuentes importantes de SO₂ en la Región Valparaíso, este contaminante sigue siendo un problema ambiental en la zona. Específicamente, las zonas de Concón y Puchuncaví/Quintero cuentan con fuentes industriales de este contaminante”.

En el citado informe de diagnóstico del plan de gestión atmosférica regional, se menciona que “en la estación GNL, se nota el impacto del forzamiento sinóptico predominante del anticiclón a través de una componente del sur durante la noche/madrugada, pero también durante el día. Esta característica se explica por la mayor exposición del flujo sobre el mar por la ubicación de la estación en la “península” de Quintero. En términos de concentraciones de SO₂, cada una de las tres estaciones tiene un comportamiento único:”

Y continúa explicando que “en la estación Los Maitenes, al contrario de la estación Sur, las concentraciones son muy bajas durante la noche y sólo se registran aumentos durante las 09:00 – 18:00, con un máximo promedio a las 11:00 un poco menos de 150 µg/m³ y el percentil 90 a la misma hora de aproximadamente 340 µg/m³ (está fuera del rango del gráfico). El comienzo del aumento coincide con el régimen diurno de la dirección del viento predominante del oeste. Esta dirección del viento se mantiene hasta aproximadamente las 18:00. La probable causa de que las concentraciones empiezan a disminuir –a pesar de que la dirección del viento se mantiene- es el aumento en turbulencia (y la altura de capa límite) lo que tiene como consecuencia una dilución de contaminantes”.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Respecto de comportamiento estacional, se consigna que “el comportamiento a escala estacional de las concentraciones nocturno/madrugada nuevamente se puede explicar a través de la estabilidad atmosférica. Sin embargo, no es el caso para el comportamiento durante justamente la fase transición madrugada/día que más bien muestra concentraciones más altas durante los meses cálidos del año. No se tiene explicación a este fenómeno en esta instancia”.

Del mismo modo, “en la estación Los Maitenes, según la figura 8.10, se observa un fenómeno similar al de la estación Sur respecto de las concentraciones elevadas que, en este caso; se producen durante el régimen diurno y que también exhiben sus valores máximos durante los meses noviembre-enero y marzo-abril (el régimen nocturno muestra los máximos durante los meses de invierno). En este caso, se puede observar que la dirección de viento también muestra una cierta variabilidad estacional justamente en las horas en que se producen los máximos diarios: en los meses noviembre-abril la dirección tiene una leve componente del norte mientras en los otros meses es casi zonal (del oeste). Esto podría ser un indicador que la variable responsable para estos ciclos estacionales con máximos en los meses noviembre-enero y marzo-abril es justamente un pequeño cambio en la dirección del viento”.

Como cierre de este aspecto, el informe concluye que “la dirección de viento es una de las variables claves para las concentraciones de SO₂ junto con la estabilidad atmosférica.”

5.2.- Niveles de metales en MP10 a partir de resultados históricos en filtros.

Respecto de las concentraciones de metales en filtros, se procesaron resultados de metales en filtros de material particulado MP10, provenientes de las estaciones de la red de monitoreo atmosférico de Codelco-Gener, específicamente las estaciones Puchuncaví, La Greda, Los Maitenes, Valle Alegre y Sur. Además se evaluaron datos de metales encontrados en el Material Particulado MP10 para las estaciones Colmo, Concón y Junta de Vecinos pertenecientes a la red de monitoreo de Enap.

De acuerdo con las Bases Técnicas de Licitación para este proyecto, los metales de primera prioridad establecidos son mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd), mientras que como segunda prioridad se establecieron cobre (Cu), vanadio (V), selenio (Se), níquel (Ni).

Las concentraciones de los metales selenio, arsénico, plomo, cobre, mercurio, vanadio, cadmio, níquel, cromo y molibdeno, expresadas en µg/m³, entre los años 2006-2009 y 2009-2010, se rescribieron en ng/m³, para una mejor comprensión del documento.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La metodología utilizada para la evaluación de esta información consistió en la constatación inicial de la presencia de metales pesados en material particulado atmosférico analizado en la zona con anterioridad al presente estudio. Esta información sirve como antecedente para considerar la presencia de metales pesados individuales en material atmosférico durante la selección de los contaminantes de interés potencial. También esta información fue considerada en la selección de los metales que se cuantifican en el material particulado sedimentable (MPS) y en el material particulado MP2,5, lo que constituye un aporte a la información ambiental disponible, por cuanto no existen antecedentes de mediciones de MPS en la zona de estudio y las mediciones de MP2,5 se realizan en puntos que carecen de información previa.

Los datos históricos, que se presentan en tablas resumidas a continuación, corresponden a la concentración de metales en filtros de MP10, provenientes de las estaciones ubicadas en la zona de estudio, entre los años 2006 y 2010.

Tabla 5.2 – Estadística descriptiva de los valores de concentraciones ng/m³N de selenio (Se), medido en filtros MP 10.

Selenio 2009-2010					
	Puchuncaví	Los Maitenes	La Greda	Valle Alegre	Sur
n	158	159	162	146	144
Máximo	134,00	622,00	589,39	290,00	388,26
Mínimo	1,00	0,60	0,60	0,61	1,20
Rango	133,00	621,40	588,79	289,39	387,06
Percentil					
10	2	3,57	2,38	8,67	16,32
20	3,63	6,93	4,00	2,43	5,59
30	5,00	10,00	6,00	4,85	8,00
40	7,84	15,16	9,00	6,63	11,00
50	11,23	25,00	10,63	10,87	18,83
60	15,82	34,61	15,19	14,98	23,52
70	24,13	49,32	23,00	19,82	33,51
80	31,20	71,40	36,85	25,00	50,82
90	45,27	108,93	73,50	39,78	96,59
95	60,27	158,74	99,49	69,93	156,43

Las mayores concentraciones de selenio en material particulado MP10 se encontraron en las estaciones Los Maitenes, La Greda y Sur.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 5.3 – Estadística descriptiva de los valores de concentraciones $\text{ng/m}^3\text{N}$ de arsénico (As), medido en filtros MP 10.

Arsénico 2009-2010					
	Puchuncaví	Los Maitenes	La Greda	Valle Alegre	Sur
n	162	159	163	154	142
Máximo	240,00	650,00	364,25	242,18	520,00
Mínimo	2,00	1,18	6,00	2,37	0,00
Rango	238,00	648,82	358,25	239,81	520,00
Percentil					
10	8,82	10	9,55	8,06	34,90
20	11,34	15,95	12,38	11,00	16,03
30	15,99	25,85	16,90	17,04	30,10
40	21,72	42,13	27,13	24,52	41,77
50	31,00	56,50	31,40	30,34	51,00
60	37,56	72,94	40,68	34,69	61,92
70	45,47	100,60	51,48	42,00	78,71
80	51,69	160,00	60,59	51,76	102,72
90	70,20	219,10	103,70	90,01	179,29
95	89,94	261,30	130,45	201,50	292,95

Las mayores concentraciones de arsénico se encontraron en las estaciones Los Maitenes, Sur y La Greda.

Tabla 5.4 – Estadística descriptiva de los valores de concentraciones $\text{ng/m}^3\text{N}$ de plomo (Pb), medido en filtros MP 10.

Plomo 2009-2010					
	Puchuncaví	Los Maitenes	La Greda	Valle Alegre	Sur
n	199	190	192	192	155
Máximo	268,00	390,92	300,00	287,00	580,00
Mínimo	1,00	1,19	1,00	1,00	1,00
Rango	267,00	389,73	299,00	286,00	579,00
Percentil					
10	5,32	10,00	9,52	7,19	9,45
20	10,00	20,00	12,97	10,98	18,47
30	13,83	28,52	17,34	16,44	22,00
40	20,00	48,00	26,97	23,00	32,60
50	34,72	80,00	45,19	40,00	42,62
60	40,00	102,27	60,00	50,00	55,13
70	55,00	170,00	88,00	70,00	63,41
80	55,00	170,00	88,00	70,00	82,87
90	81,38	280,00	150,27	184,79	134,60
95	108,05	390,92	260,00	287,00	249,89



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Al igual que para el arsénico, las mayores concentraciones de plomo se encontraron en las estaciones Sur, Los Maitenes y La Greda.

Tabla 5.5 – Estadística descriptiva de los valores de concentraciones $\text{ng}/\text{m}^3\text{N}$ de cobre (Cu), medido en filtros MP 10

Cobre 2009-2010					
	Puchuncaví	Los Maitenes	La Greda	Valle Alegre	Sur
n	152	151	151	150	148
Máximo	473,34	1983,00	4118,00	886,89	1645,97
Mínimo	10,00	34,00	32,35	12,00	11,76
Rango	463,34	1949,00	4085,65	874,89	1634,22
Percentil					
10	38,48	85,76	89,47	35,15	36,81
20	49,80	161,50	138,21	54,09	63,20
30	62,66	207,90	169,39	68,39	104,91
40	93,60	251,73	227,60	84,15	128,33
50	124,60	329,50	329,72	97,00	168,27
60	146,94	406,87	437,10	119,37	192,30
70	186,09	523,00	640,60	147,53	230,23
80	237,90	681,17	964,60	176,70	270,87
90	341,51	1029,00	1905,93	225,02	512,30
95	451,17	1883,85	3912,10	310,01	716,94

Las mayores concentraciones de cobre se encontraron en la estación La Greda, seguida de la estación Los Maitenes.

Para los metales Hg, Cd, V, Ni la información de sus contenidos en filtros de MP10, es aislada, lo que dificulta un análisis de la misma y parece indicar una presencia esporádica en la zona de estudio.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 6.-PROPUESTA PRELIMINAR DE MODELO CONCEPTUAL DE INCIDENCIA DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES QUE PUEDEN PRODUCIR EFECTOS NEGATIVOS EN LAS MATRICES AMBIENTALES AIRE, SUELO, AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA.

6.1.- Generalidades acerca del Modelo conceptual del problema de contaminación.

Para estimar la exposición de los receptores humanos de la zona afectada, se requiere: caracterizar la contaminación y caracterizar la exposición, es decir, responder a las preguntas: ¿de qué manera se ponen en contacto las personas con los contaminantes? y, ¿cuánto contaminante entra al organismo?

La concepción más general acerca de la exposición a contaminantes aéreos provenientes de las fuentes emisoras se describe en la figura 6.1 a continuación.

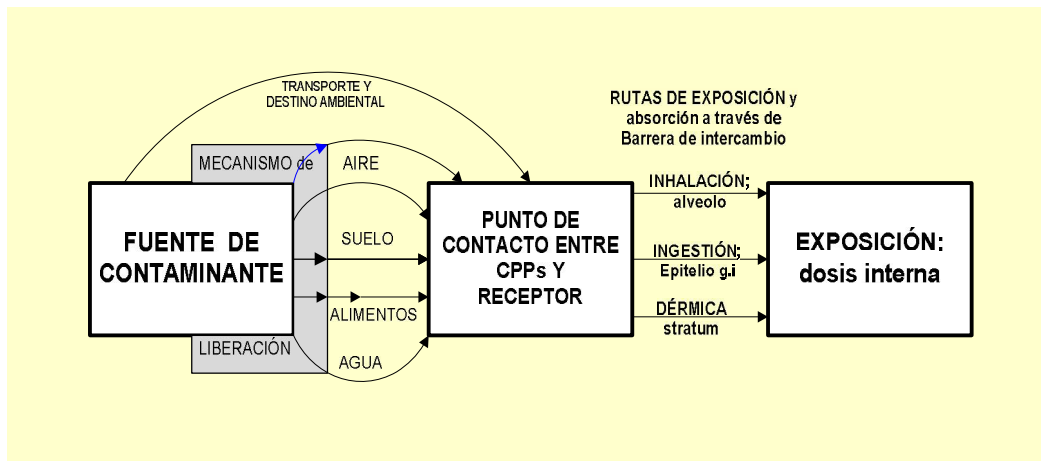


Figura 6.1.- Esquema genérico de la exposición a contaminantes genéricos emitidos al aire por las fuentes emisoras.

Se utiliza un modelo conceptual del problema de contaminación (MCPC), como elemento ordenador coherente de la información recolectada y mejorada, para la organización de la evidencia, el análisis de los datos, e interpretación de resultados, para facilitar la planificación y ejecución del trabajo.

Según la metodología de la USEPA y de acuerdo también con la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes desarrollada por Fundación Chile para el MMA, el **modelo conceptual (para un problema de contaminación, MCPC)** puede definirse como “el relato escrito y/o representación gráfica de los procesos físicos, químicos, y biológicos que



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



determinan el transporte de contaminantes desde la fuente a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él”.

El esfuerzo de describir un MCPC se realiza para:

- Integrar y organizar la información de antecedentes provenientes de diversas fuentes (estudios previos conteniendo resultados de análisis, información de catastros, información hidrológica, geológica, de uso de suelo, inventarios de emisiones, densidad poblacional, distribución etaria) que contribuyan a esclarecer la presencia de contaminantes en la zona de estudio.
- Formular hipótesis con fundamento científico acerca de los posibles procesos de liberación de contaminantes, migración ambiental, destino ambiental, y exposición de los receptores.
- Postular las vías y rutas de exposición de los receptores de preocupación (adultos residentes, adultos trabajadores, niños residentes, adolescentes, trabajador no agrícola, agricultor, pescador de subsistencia, escolares que no viven en la zona de estudio, etc).
- Ayudar a identificar el alcance genérico y los requerimientos de muestreo y análisis incluyendo la existencia o necesidad de determinar niveles background, facilitando instrucciones específicas al personal que desarrolla el muestreo acerca de información específica de la zona de estudio.
- Organizar y comunicar información tanto al equipo de trabajo y como a otros interesados: autoridades, representantes de los potenciales receptores, personas en general, medios de comunicación,
- Identificar la necesidad de datos e información adicional que pueda completarse con nuevos muestreos, simulaciones, análisis de data histórica, encuestas.

La complejidad de un MCPC debe ser consistente con la complejidad del problema bajo estudio y de la evidencia disponible. El desarrollo de un MCPC es típicamente iterativo. Se prepara una versión inicial al comienzo del proyecto, la que se va refinando y revisando mientras transcurre el estudio, a fin de incorporar nueva información del problema. El modelo final debe contener suficiente información como para apoyar el desarrollo de escenarios de exposición presentes y futuros.

La información conceptual para el desarrollo de un MCPC se encuentra en numerosos documentos que se incluyen entre las referencias bibliográficas de este informe.

Un MCPC bien definido contiene suficiente información para:

- (1) identificar las fuentes de contaminación,
- (2) determinar la naturaleza y extensión de la contaminación,
- (3) identificar las características de destino y transporte predominantes del problema,



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



- (4) identificar vías de exposición potenciales, e
 (5) identificar receptores potenciales que pueden estar afectados por la contaminación.

Las preocupaciones de los riesgos ecológicos son diferentes de los riesgos a la salud humana, como p.ej., respecto a las vías de migración ambiental, rutas de exposición, y receptores ambientales. Una diferencia crítica es la naturaleza de los receptores ecológicos, que son extremadamente variados y de biología menos conocida que la especie humana. Estas diferencias son suficientes como para garantizar descripciones separadas del modelo conceptual que considera humanos y biota.

6.2.- Propuesta de Modelo conceptual del problema de contaminación para la zona de estudio.

Para el desarrollo de este trabajo, y considerando que la evolución del modelo conceptual es un proceso iterativo, se comenzó esbozando un modelo conceptual que es general para toda la zona. Esto significa, que en principio, la primera aproximación presentada en la figura 6.2 considera que la zona de estudio conformada por las tres comunas es una zona de exposición única.

Este enfoque permitió realizar un despliegue y análisis de información semejante para las tres comunas en cuanto a la organización de las campañas de terreno.

Una vez que se obtuvieron los resultados, como parte del proceso, el mismo modelo conceptual fue evaluado separadamente para cada una de las comunas, como se describe en los capítulos a continuación.

Además, es importante destacar que en la zona de estudio se encuentran en desarrollo otras consultorías por lo que, pueden abordarse otras formulaciones de modelos conceptuales, con algunas modificaciones de la presentada en este informe.

Modelo conceptual genérico de fuentes, migración, y puntos de contacto a contaminantes ambientales para Con-cón, Quintero y Puchuncaví
Modelo v.10 - 20130114

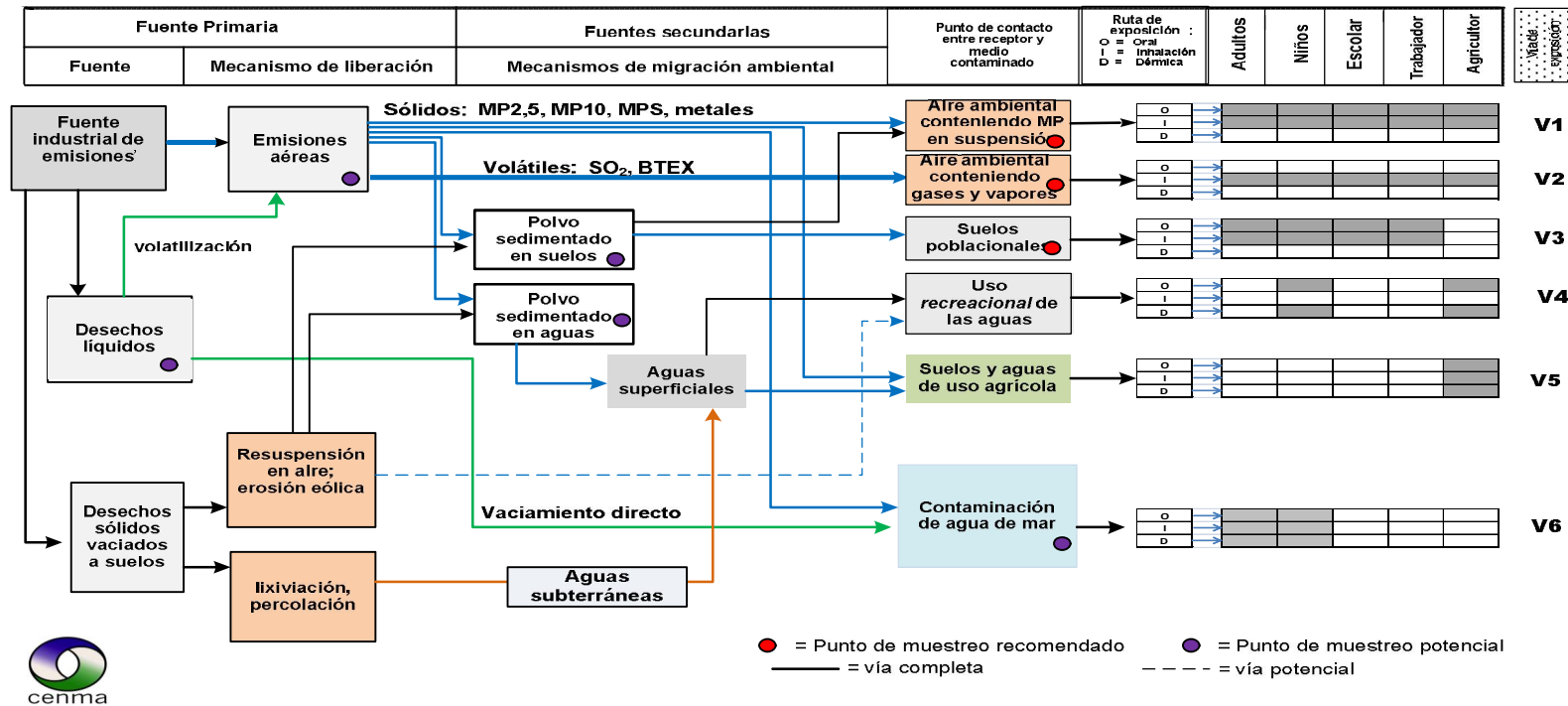
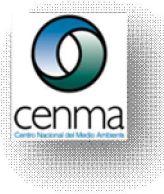


Figura 6.2 Modelo conceptual del problema de contaminación.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Este modelo conceptual ilustra cómo las instalaciones industriales genéricas (actuales o futuras) ubicadas en la zona de estudio como un todo, generan emisiones aéreas, desechos sólidos, y desechos líquidos.

Las emisiones de sólidos en suspensión en el aire y los gases y vapores en el aire pueden ser transportados pasivamente hasta los puntos de contacto con los receptores de las comunidades aledañas. Parte del material particulado en suspensión aérea puede depositarse en suelos urbanos o rurales, o en aguas superficiales, que finalmente puede llegar a suelos agrícolas en forma de sedimento, o potencialmente hasta aguas de uso recreacional (lagunas, arroyos). Las aguas de uso agrícola se postula que provienen de aguas superficiales contaminadas con material particulado aéreo, y/o de aguas subterráneas contaminadas por lixiviación de desechos sólidos vaciados a suelos.

Se asume que los desechos líquidos se descargan al mar sin tratamiento, causando contaminación de las aguas y biota. Algunos componentes volátiles presentes en los desechos líquidos podrían volatilizarse y contribuir a las emisiones aéreas.

Los desechos sólidos pueden contribuir con material resuspendido por el viento, o pueden ser incorrectamente depositados de manera que van a sufrir lixiviación por la lluvia y de este modo transportar contaminantes solubles hasta las aguas subterráneas.

A partir de la información preliminar entregada por los antecedentes de licitación se conoció tempranamente que existe preocupación de que las emisiones aéreas provenientes del complejo industrial y presuntamente conteniendo sustancias como metales pesados en el material particulado, polvo y compuestos orgánicos volátiles entre otras sustancias peligrosas, puedan afectar a los núcleos poblados de las comunas en la zona de estudios. Sobre esta base, se planteó obtener muestras de diversos componentes ambientales, para acometer una selección preliminar de contaminantes de preocupación potencial (CPPs) sobre la base de sospecha de ser un factor causante de problemas de salud, y considerando los requerimientos analíticos para su medición, obtención de muestras y significado ambiental del resultado obtenido, acorde con el tiempo y presupuesto del estudio.

Respecto de las vías de exposición para los receptores genéricos en estudio, se ha considerado que las relevantes son:

- las emisiones aéreas de sólidos (MP, metales, MPS) y compuestos orgánicos volátiles (BTEX) por las vías de inhalación y la oral (indirectamente)
- el contacto directo con aguas y suelos superficiales en actividades agropecuarias.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Este informe describe, principalmente, los datos obtenidos de la exposición a contaminantes presentes en el aire y en el polvo. Sin embargo, la información experimental obtenida en suelos, aguas superficiales y sedimentos fluviales ha sido entregada a la PUCV como soporte para la consultoría de evaluación de riesgo a la salud y los ecosistemas terrestres.

Los archivos contenidos en el **Anexo 4** incluyen todos los planes de muestreo para el desarrollo de las campañas experimentales acometidas durante este proyecto.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 7: DIOXIDO DE AZUFRE (SO₂) y COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES: BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO, XILENO (BTEX) EN AIRE.

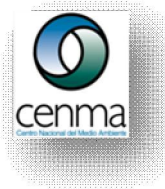
7.0 PRESENTACION DEL CAPITULO.

Este capítulo se refiere a los contaminantes de tipo gas y compuestos volátiles estudiados en el aire. Para ello, se seleccionaron el dióxido de azufre (SO₂) como representante de los gases y la familia Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos (BTEX) como representante de los compuestos orgánicos volátiles.

Los contenidos de este capítulo se describen entonces, según la secuencia detallada en la figura 7.1, que describe la aplicación general a los contaminantes específicos.

NOTA: A continuación se detallan los epígrafes en que aparecen descritos los principales hitos de la figura 7.1:

- Inventario de emisiones: presentado en el epígrafe 7.1.1.2 y detallado en Anexo 3-1.
- Modelación de dispersión SO₂, aparece descrita en el epígrafe 7.1.1.3
- Mediciones estaciones CENMA (para SO₂) se presentan en epígrafes 7.1.2 a 7.1.4.
- Contaminante de riesgo potencial (para SO₂), descrito en epígrafe 7.1.5
- Perfil de toxicidad (para SO₂), descrito en epígrafe 7.1.5.2
- Dosis de exposición aguda: comparación con AEGL, descrito en epígrafe 7.1.6
- Mediciones estaciones CENMA (para BTEX) se presentan en epígrafes 7.2.2 a 7.2.4.
- Contaminante de riesgo potencial (para BTEX), descrito en epígrafe 7.2.5
- Perfil de toxicidad (para BTEX), descrito en epígrafe 7.2.5.2
- Dosis de exposición crónica, descrito en epígrafe 7.2.6



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

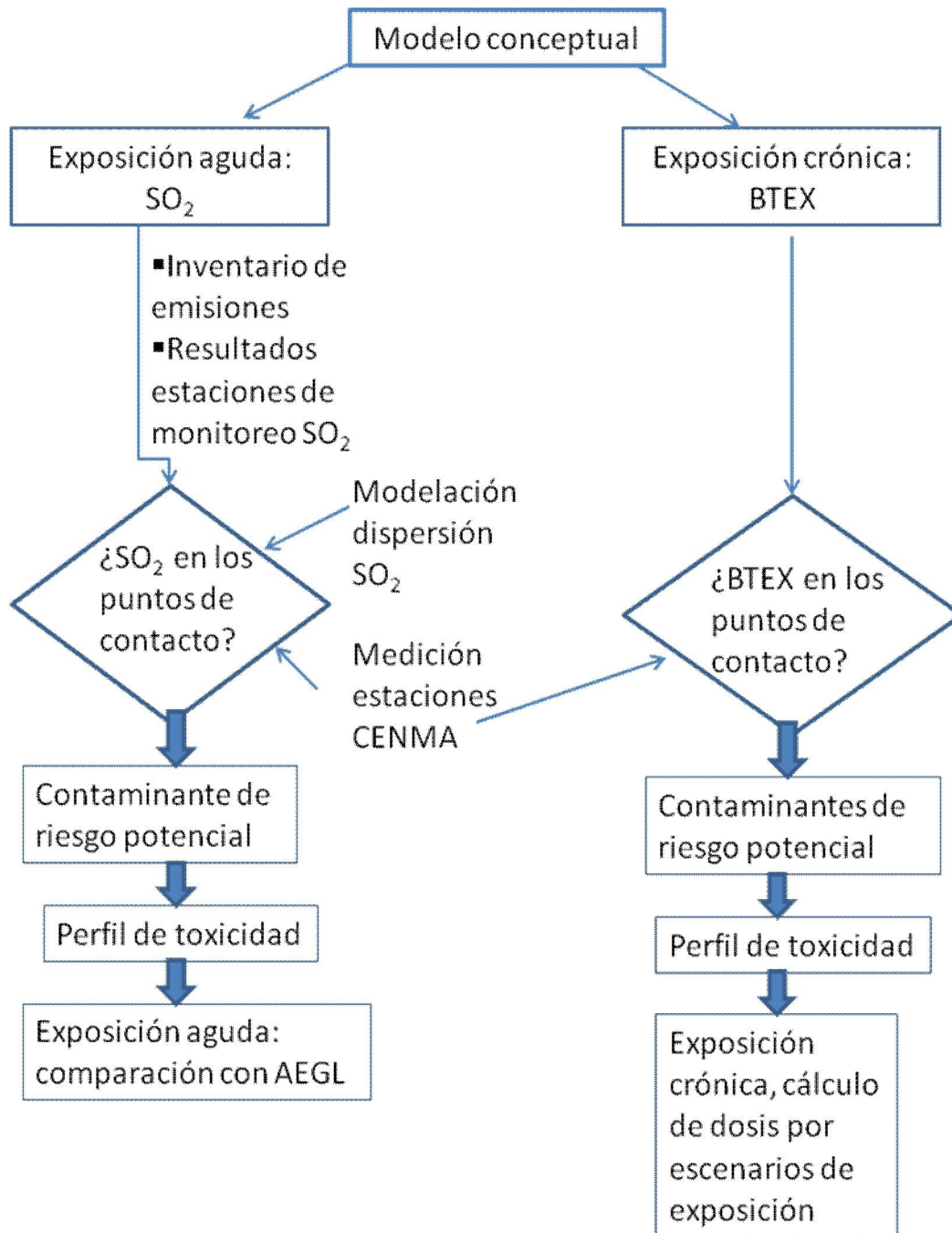


Figura 7.1.- Secuencia general que presenta los contenidos del Capítulo 7 de este informe.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.1. DIOXIDO DE AZUFRE (SO₂).

7.1.1.1- Antecedentes generales de la presencia de SO₂ en la zona de estudio.

El dióxido de azufre es un importante broncoconstrictor desde los primeros minutos de exposición y su efecto aumenta con la actividad física, con la hiperventilación, al respirar aire frío y seco y en personas con hiperreactividad bronquial. La exposición a este contaminante puede producir efectos agudos y crónicos sobre la salud de las personas. El SO₂ se origina de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles (petróleos combustibles, gasolina, petróleo diesel, carbón) de la fundición de minerales que contienen azufre y de otros procesos industriales. (DS No 113 de 6 de agosto de 2012, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Establece Norma Primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO₂)).

El SO₂ es un contaminante gaseoso con reconocido efecto sobre la vegetación y sobre los materiales expuestos a este contaminante (DS No 22 de 2009, Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Establece norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso (SO₂)).

Existe actualmente una declaración de zona saturada por SO₂ y MP10 en el área circundante al complejo industrial Las Ventanas, declarada por el D.S. N°346/94 de Ministerio de Agricultura. Por su parte, el DS No 252 de 1992, del Ministerio de Minería aprobó el plan de descontaminación del complejo industrial Las Ventanas.

Según el “Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso Implementación de un Modelo Atmosférico”, es evidente que el complejo industrial es el responsable de las concentraciones de SO₂. El último inventario de emisiones (2008) indica tasas de emisiones muy altas para CODELCO Fundición Ventanas (68,1% del total en la zona) y AES Gener (30,7% del total en la zona)”, indicando que “es muy difícil cuantificar la responsabilidad de cada una de las empresas en cada una de las estaciones de monitoreo (incluyendo episodios de muy altas concentraciones)”.

Este informe también señala que las concentraciones mayores de SO₂ en la estación GNL ocurren principalmente durante la noche/madrugada. Durante ese periodo la dirección de viento predominante en la estación GNL es desde el sur hacia el norte. Sin embargo, también existe la posibilidad de cualquier otra dirección. Por el otro lado, el viento desde la zona de las emisiones mismas (por parte de las fuentes emisoras Fundición CODELCO Ventanas y AES Gener) es predominantemente desde el continente hacia el mar (o sea, desde las fuentes principales de SO₂ hacia Quintero). Sin embargo, no es suficiente que exista ese flujo desde las fuentes hacia Quintero, sino que, es necesario también que se presente una atmósfera estable para que se produzcan concentraciones elevadas”.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.1.1.2 Actualización de inventario de emisiones para SO₂ y modelo de dispersión de contaminantes.

Como parte de este estudio, se desarrolló la actualización del inventario de emisiones de SO₂ considerando un número reducido de fuentes, que explican al menos el 99,5% de las emisiones de SO₂ en las comunas de interés del estudio, basado en el inventario base 2007. Los detalles de la metodología, consideraciones y resultados de esta actualización se presentan en el **Anexo 4**.

Respecto de la actualización de las fuentes, para el año 2012, se mantiene la presencia predominante de Codelco División Ventanas y de AESGener como las principales industrias emisoras. Por consiguiente, se no esperan grandes cambios en la zona respecto de emisiones de SO₂ pues una única fuente es responsable de más de la mitad de las emisiones, tal como se muestra en la figura 7.2.

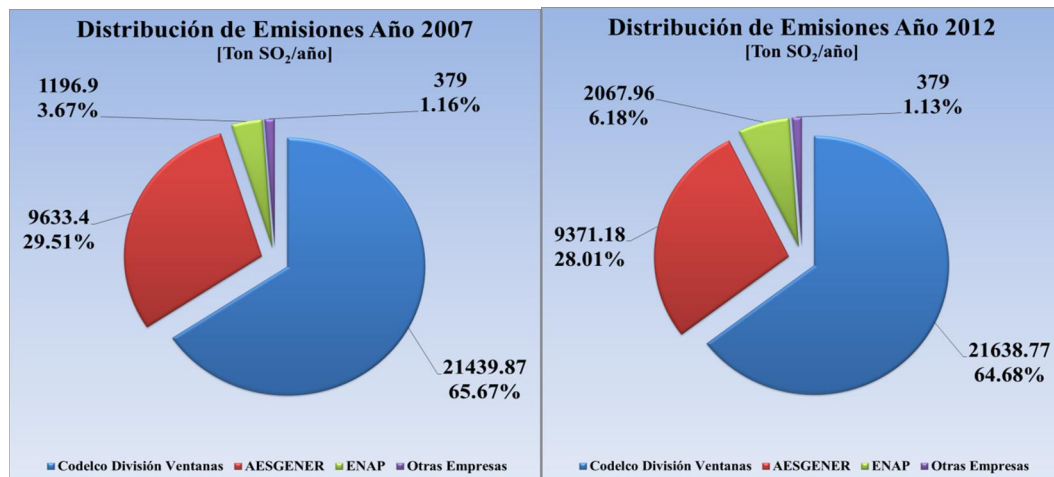


Figura 7.2.- Distribución de emisiones (ton SO₂/año) entre las principales industrias ubicadas en la zona de estudio, comparando los aportes al año 2007 y 2012.

La actualización del inventario adoleció de dificultades semejantes a las descritas en el estudio de UNTEC previamente citado.

7.1.1.3.- Modelación de la dispersión de SO₂.

La modelación de la dispersión de SO₂ se efectuó para fuentes independientes, considerando las siguientes condiciones²:

² Las letras en mayúsculas al inicio, corresponden a la identificación de cada una de las fuentes en los gráficos.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



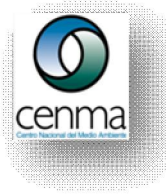
- ADV- Áreas Codelco División Ventanas, considera 2 fuentes areales, con tasa de emisión constante.
- AES – Aesgener, considera 3 fuentes puntuales, con tasa de emisión obtenida a partir de series de tiempo.
- AGA – Aga, considera 1 fuente puntual, con tasa de emisión constante.
- BGM – Gasmar, considera 1 fuente puntual, con tasa de emisión constante.
- ENAP –ENAP, considera 28 fuentes puntuales con tasa de emisión constante para todas.
- OXI – Oxiquim, considera 1 fuente puntual, con tasa de emisión constante.
- PDV - Puntuales Codelco División Ventanas, considera 6 fuentes puntuales con tasa de emisión constante para todas.
- PVEN - Puerto Ventanas, considera 1 fuente puntual, con tasa de emisión constante.

La modelación consideró ciclos horarios, para el período enero/2012 a junio/2012, para cada una de las fuentes por separado.

Los detalles de cada uno de los ciclos pueden verse en las presentaciones contenidas en el **Anexo 3-1**.

De manera general, los aportes de las fuentes Aga, Gasmar y Oxiquim son prácticamente despreciables. En Concón, la fuente ENAP tiene una contribución pequeña al SO₂ mientras que las fuentes con mayor aporte son las que se encuentran en el sector de Puchuncaví-Quintero.

A modo de ejemplo se presenta la imagen para la hora 9:00 am del mes de Marzo de 2012.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

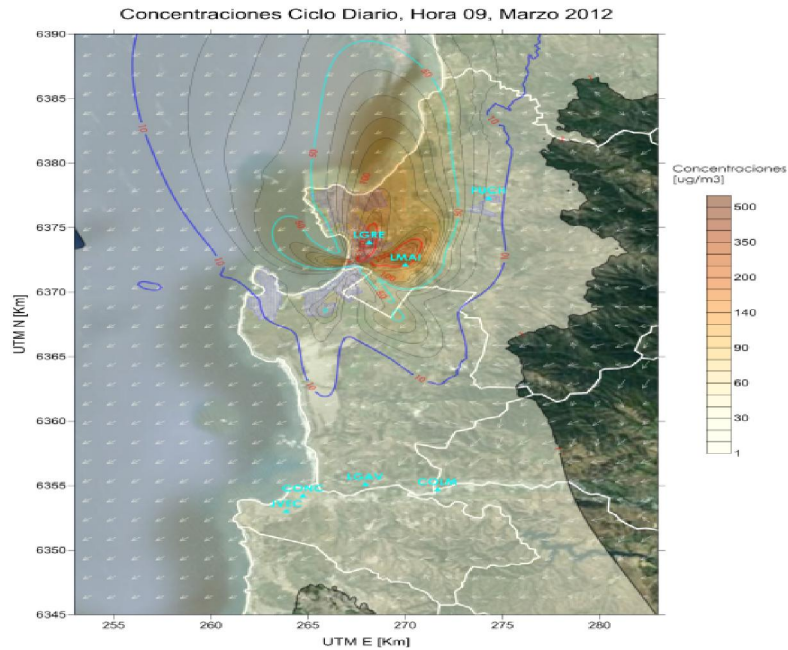


Figura 7.3 Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente ADV- Áreas Codelco División Ventanas

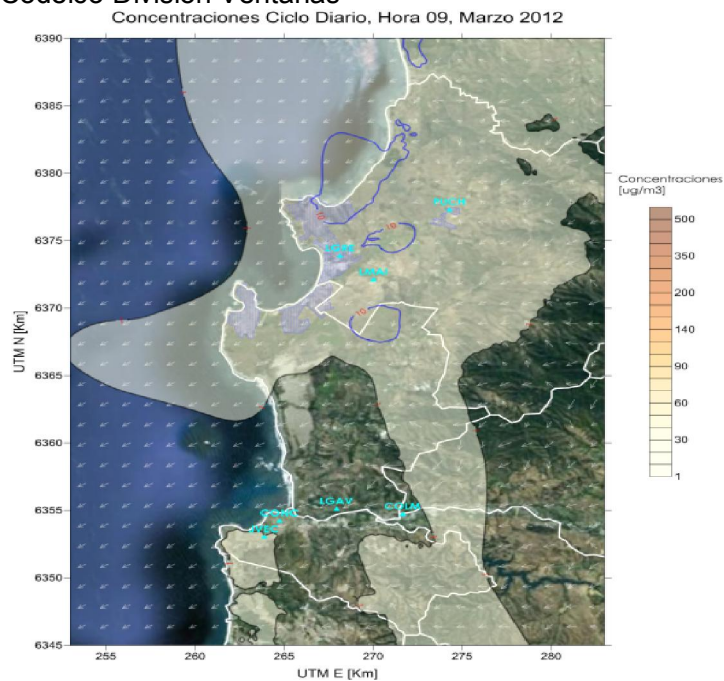


Figura 7.4. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente AES – Aesgener.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

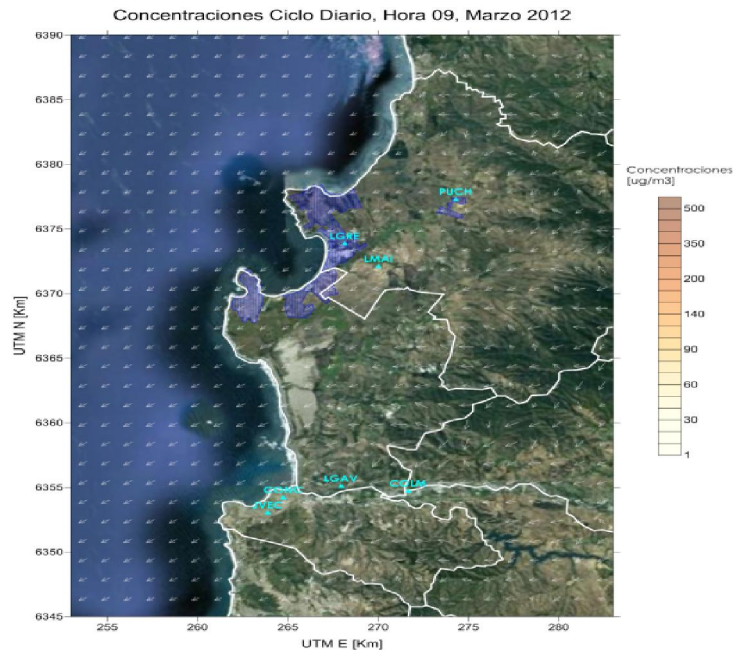


Figura 7.5. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente AGA – Aga.

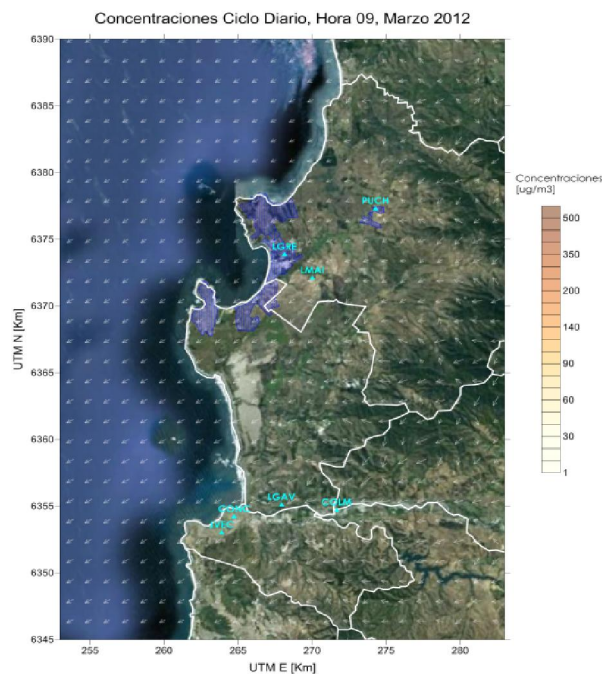
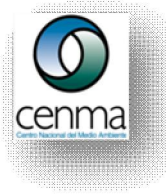


Figura 7.6. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente BGM – Gasmar



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

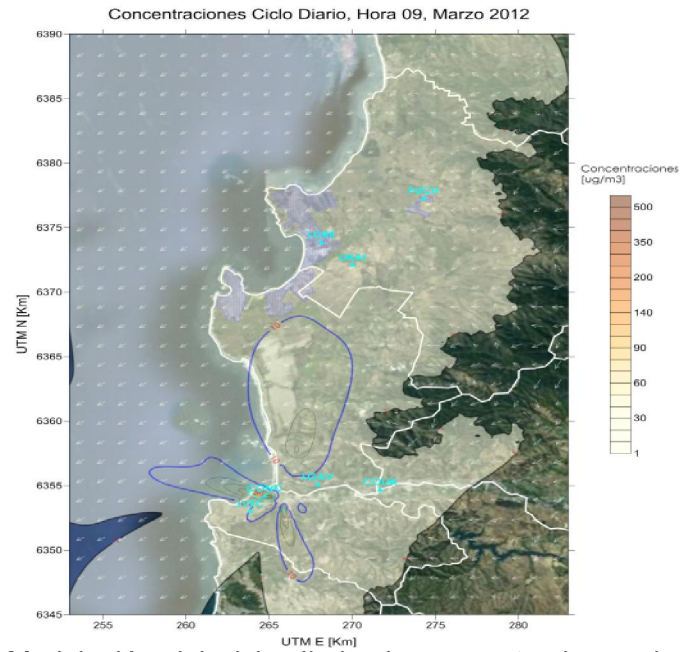


Figura 7.7. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente ENAP –ENAP

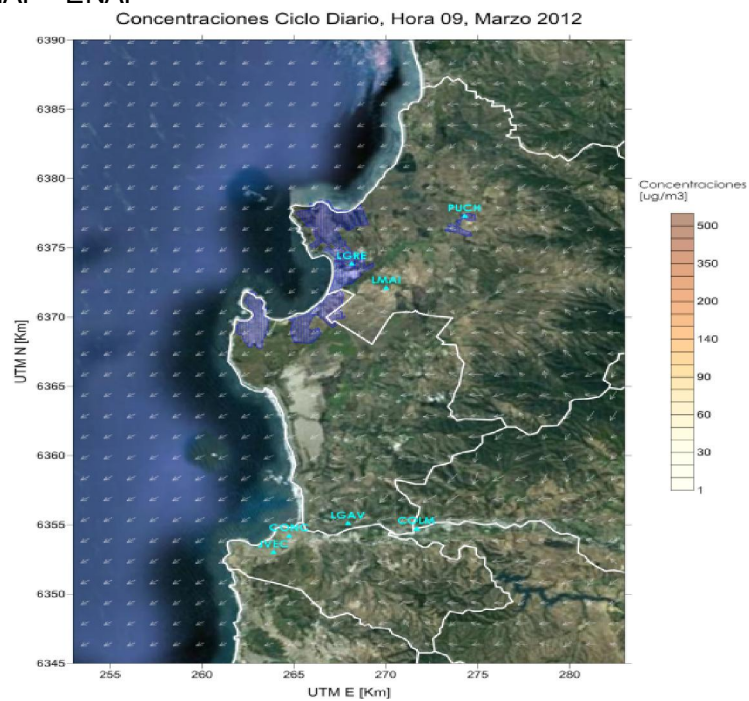


Figura 7.8. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente OXI – Oxiqum.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

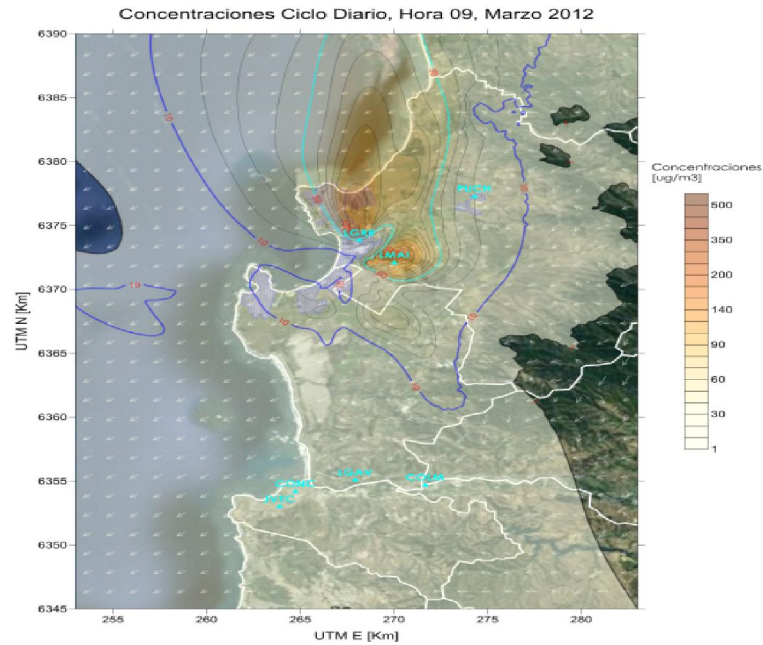


Figura 7.9. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente PDV - Puntuales Codelco División Ventanas.

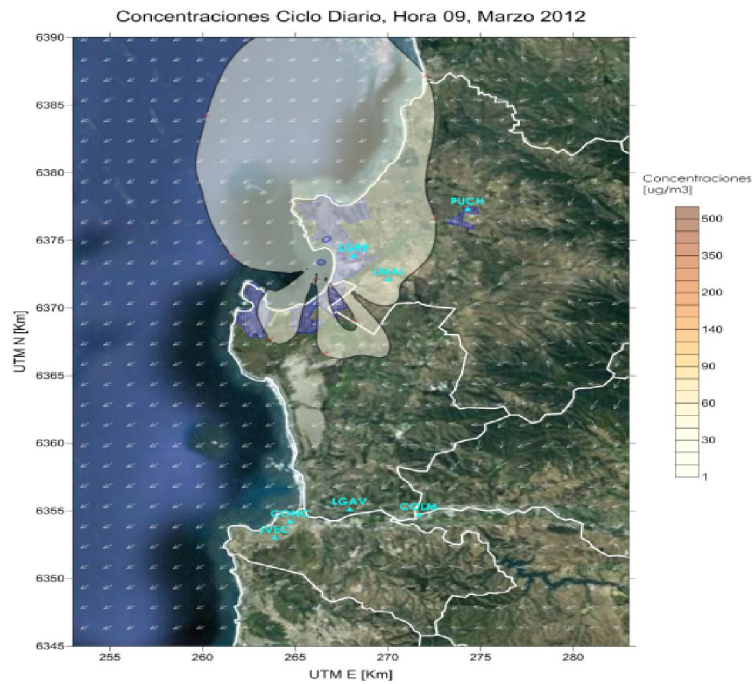


Figura 7.10. Modelación del ciclo diario de concentraciones de SO₂ para la fuente PVEN - Puerto Ventanas



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Del mismo modo, se modelaron algunos de los eventos de altas concentraciones de SO₂, considerando todas las fuentes integradas, lo que se entrega en forma de presentaciones Power Point en el **Anexo 3-1**, para una mejor visualización de los resultados.

A modo de ejemplo, se presenta aquí la modelación del episodio ocurrido el 4 de junio de 2012.

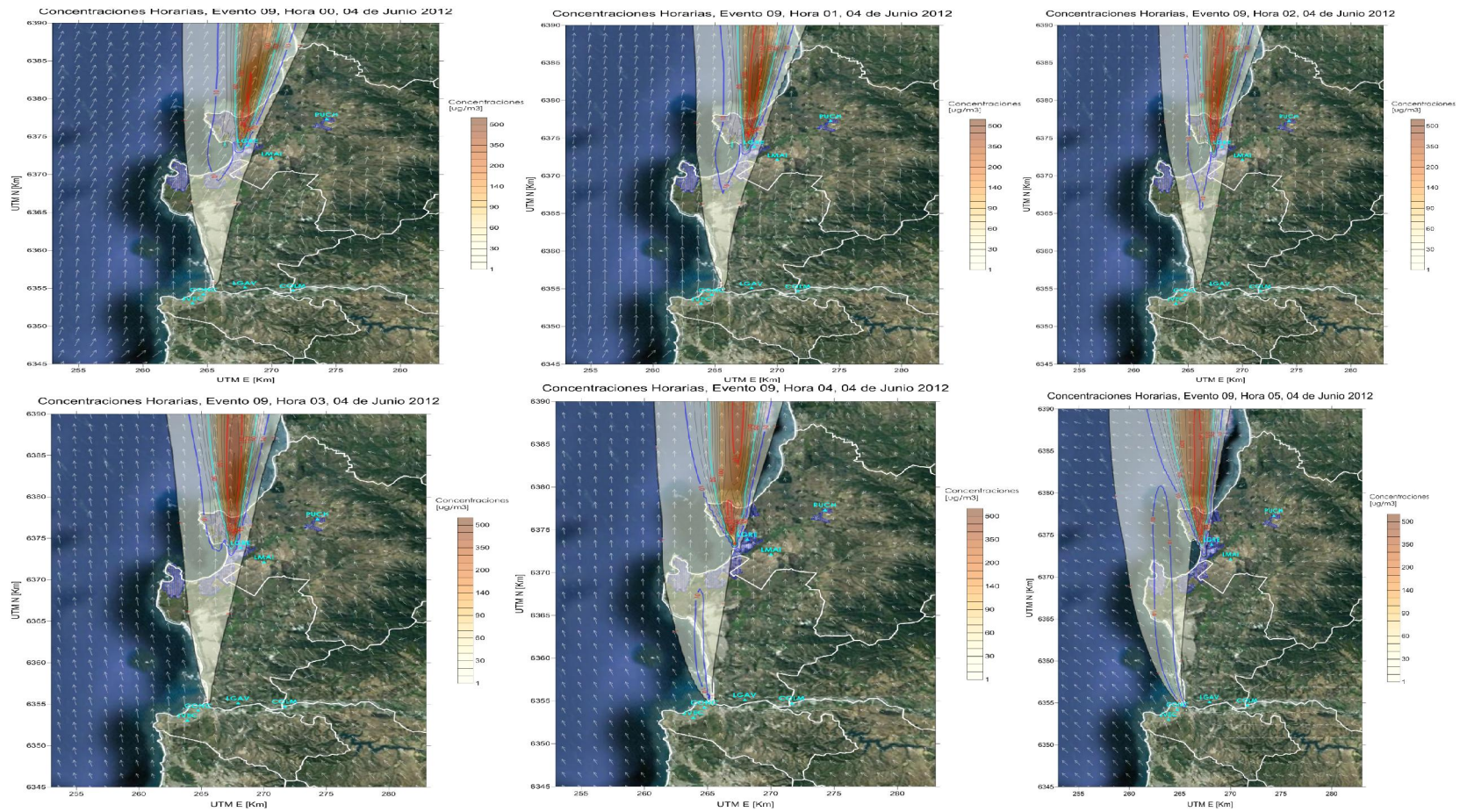


Figura 7.11: Modelación evento de alta concentración de SO₂, ocurrido el día 4 de junio de 2012, horas 0 a 5.

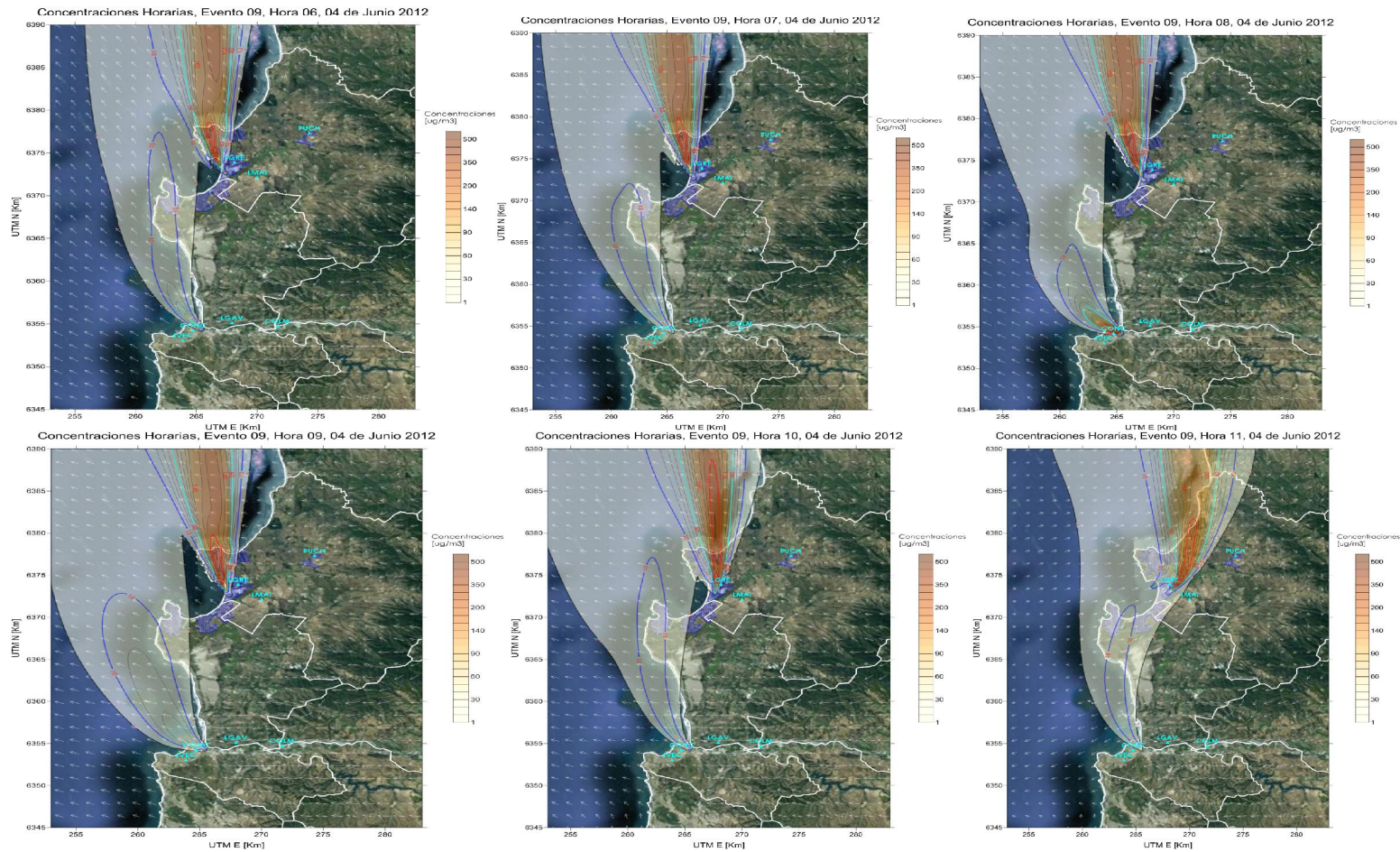


Figura 7.12: Modelación evento de alta concentración de SO₂, ocurrido el día 4 de junio de 2012, horas 6 a 11.

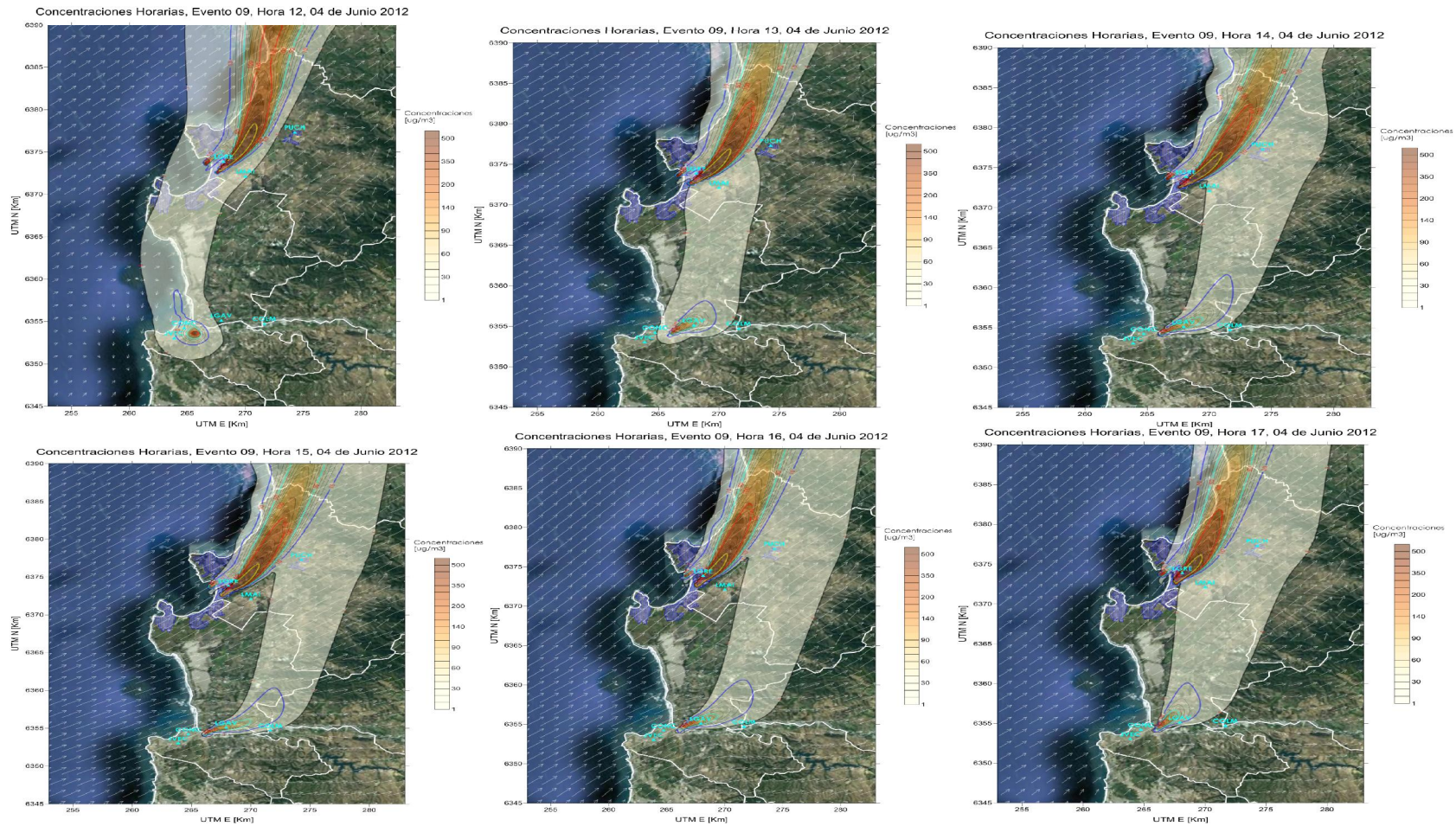


Figura 7.13: Modelación evento de alta concentración de SO₂, ocurrido el día 4 de junio de 2012, horas 12 a 17.

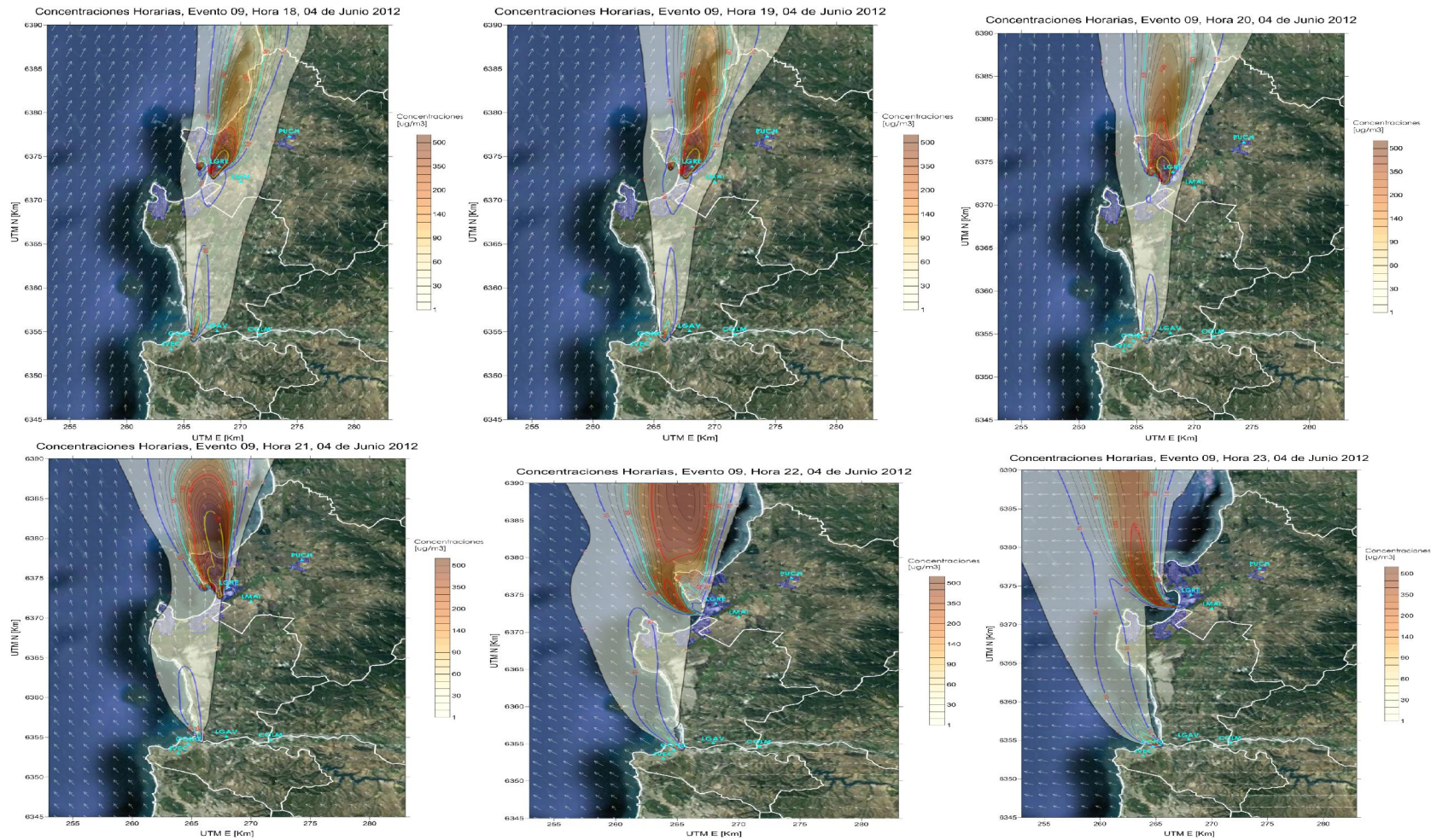


Figura 7.14: Modelado evento de alta concentración de SO₂, ocurrido el día 4 de junio de 2012, horas 18 a 23.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Estos resultados demuestran que durante las diferentes horas, la incidencia de las zonas de mayores concentraciones de SO₂ se ubica sobre la bahía de Quintero y la zona marina en general, y en otras horas, entre las 11 y las 17 horas para este ejemplo, se ubica sobre tierra, en la comuna de Puchuncaví. En las figuras se destaca también la ubicación de las estaciones de monitoreo de SO₂, lo que evidencia que durante varios momentos, las mayores concentraciones de SO₂ no alcanzan las estaciones de monitoreo, lo que pudiera explicar que los eventos no siempre sean detectados en toda su extensión y duración. Estos resultados, igualmente, ratifican la incidencia de las condiciones meteorológicas y de viento en la dispersión del dióxido de azufre emitido por las empresas del complejo industrial Ventanas.

Todos los detalles de esta modelación se presentan en el **Anexo 3-1** de este informe.

7.1.2.- Mediciones en estaciones CENMA. Diseño del muestreo.

El muestreo de SO₂ se realizó en forma continua, en estaciones de monitoreo instaladas por Cenma para este estudio. Del mismo modo, se consideró información disponible de estaciones existentes en la zona, que miden de manera continua el contenido de este contaminante, como se describe a continuación.

7.1.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.

En la zona de estudio existen dos redes de monitoreo de calidad de aire, las que miden concentraciones de contaminantes, conjuntamente con variables asociadas al viento como su dirección e intensidad, humedad relativa y temperatura. En la zona industrial de Ventanas operan seis estaciones de monitoreo pertenecientes entre las empresas Codelco y Aes Gener (Estación La Greda, Estación Los Maitenes (en línea), Estación Puchuncaví (en línea), Estación Quintero AES, Estación Sur y Estación Valle Alegre).

La comuna de Concón cuenta con cinco estaciones de medición, red de monitoreo perteneciente a ENAP: Colmo, Concón sur, Concón Urbana Fija, Junta de Vecinos y Las Gaviotas.

La estación GNL Quintero es de propiedad de la empresa GNL y está situada en la comuna de Quintero. La ubicación geográfica de las estaciones, conjuntamente con las estaciones CENMA instaladas para este estudio, se presentan en la figura 7.15

La localización de puntos de monitoreo tuvo como objetivo principal obtener información para la evaluación de la exposición ambiental a contaminantes. Por una parte, la posición de la red existente fue definida por la autoridad a través de



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



estudios preexistentes (resoluciones de calificación ambiental aprobadas). Por otra parte, la localización de la red CENMA se decidió principalmente por su representación poblacional y por la necesidad de tener una base de datos que permita comparar la exposición futura de estudiantes en la Nueva Escuela La Greda, además de todos los criterios técnicos propios de las estaciones de calidad del aire.

La ubicación también consideró aspectos como el suministro de energía para el buen funcionamiento de las estaciones. Los criterios seguidos para la definición de los lugares de muestreo, fueron:

- Mediciones en lugares no cubiertos por las estaciones de monitoreo históricas instaladas en la región, según requerimiento de las Bases Técnicas de Licitación..
- Priorizar por zonas con población expuesta a emisiones de las principales fuentes contaminantes en Concón y Puchuncaví.
- Cumplir los criterios de representatividad poblacional, es decir el D.S.59/1998 que incluye:
 - Presencia de al menos un área edificada habitada en un círculo de radio de 2 km, contados desde la ubicación de la estación.
 - Ubicada a más de 15m de la calle o avenida más cercana.
 - Ubicada a más de 50m de la calle o avenida que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día.
 - Ubicada a más de 50m de la salida de un sistema de calefacción o de otras fuentes fijas similares.
- Cumplir los criterios de representatividad poblacional para MP2,5 establecidos en el D.S. 12/2011 que incluyen considerar la población expuesta en la zona urbana, presencia de desarrollos industriales significativos que produzcan un impacto por emisiones de Material Particulado MP2,5 y volumen del parque automotor.
- Considerar la cercanía a grupos poblacionales, priorizando sectores residenciales, que permita estimar la estimación que puede sufrir la población residente (excepto los puntos destinados para evaluar la exposición que reciben la vegetación y los pastizales).
- Ubicación de fuentes emisoras y dirección predominante de los vientos.
- Complementar información asociada a lugares donde existen mediciones históricas de la calidad del aire.

Las estaciones CENMA instaladas para la medición continua de SO₂ fueron: Estación Consultorio Concón, Estación Hogar Ancianos Ventana y Estación Nueva Escuela La Greda.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La Figura muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo utilizadas para el análisis de exposición ambiental.

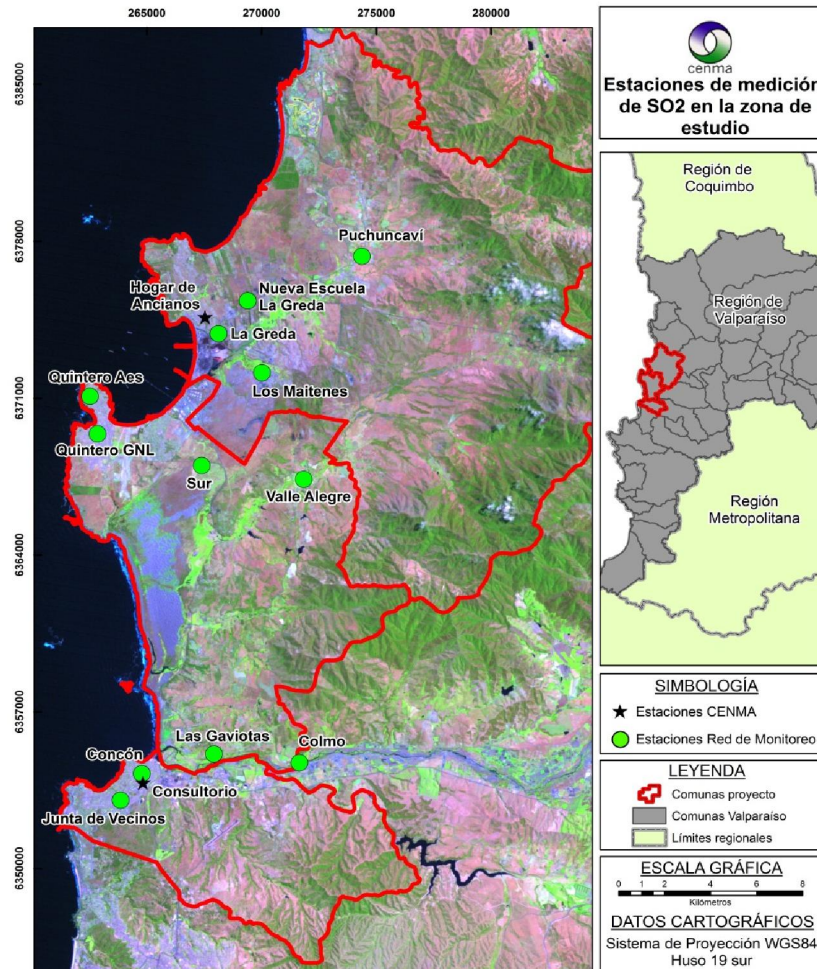


Figura 7.15. Ubicación de las estaciones de monitoreo continuo de SO₂

7.1.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.

La campaña comenzó anticipadamente en el Hogar de Ancianos de Ventanas instalando el monitor de SO₂ a mediados de Abril y a mediados de Marzo en el Centro de Salud Familiar (CESFAM) de Concón, los equipos permanecieron hasta el 31 de diciembre, período mayor al comprometido en los términos de referencia. En la Nueva Escuela La Greda y para tener medición simultánea con MP_{2,5} las mediciones comenzaron el 15 de octubre y finalizaron el 31 de diciembre.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La operación y mantención fue realizada por técnicos de CENMA los cuales dieron cumplimiento a las exigencias del D.S. N° 61/08 del MINSAL y al procedimiento de CENMA PLM-CA-005 “Procedimiento de uso, mantenimiento y calibración de monitores de gases”.

Como parte del control y aseguramiento de calidad se realizaron chequeos de cero/span semanales con diluidores y generadores de aire cero con su calibración al día y gas de calibración protocolo EPA con certificación vigente.

Para la evaluación de resultados se consideraron los valores de enero a diciembre del 2012, considerando los resultados de las tres estaciones instaladas por CENMA y los provenientes de las redes de monitoreo a cargo de AesGener-Codelco y ENAP, contabilizando un total de 16 estaciones. Los datos de las estaciones de las redes fueron adquiridos en la plataforma SINCA, base de datos validada por el MMA para el período Enero-Junio 2012. De estos, se usaron los datos expresados en minutos, cada 5 minutos y en promedios según la información disponible.

7.1.3- Análisis químico

Para la medición de SO₂ se utilizó un monitor continuo que incorpora el método de Fluorescencia ultravioleta aprobado por la USEPA y por la norma de calidad para SO₂ (DS 113/2002). Las concentraciones obtenidas son promedios de 5 minutos, a partir de las cuales se construyeron promedios horarios y diarios.

7.1.4- Resultados

La tabla siguiente resume las concentraciones diarias de SO₂ en Concón, Ventanas y la nueva Escuela La Greda, medidas por las estaciones CENMA:

Tabla 7.1. Resumen de concentraciones diarias de SO₂ marzo-diciembre 2012.

	Concón 21 mar - 31 de dic	Ventanas 11 abr – 31 dic	N Esc. La Greda 11 oct – 31 dic
	SO ₂ [µg/m ³ N]	SO ₂ [µg/m ³ N]	SO ₂ [µg/m ³ N]
Mínimo	1	1	1
Promedio	22	21	21
Máximo	109	135	131

El ciclo diario de SO₂ en la estación CESFAM de Concón muestra la ocurrencia de mayores valores durante la madrugada y horas previas al mediodía, en cambio en la estación Hogar de Ancianos de Ventanas las mayores concentraciones horarias de SO₂ ocurren generalmente entre las 09 y 13h.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



En la estación Nueva Escuela de La Greda, a pesar de contar con datos de apenas tres meses, no se observa una tendencia nítida a mayores valores, sino que los mismos aumentan desde las 9:00 am hasta las 9:00 pm en que vuelven a disminuir.

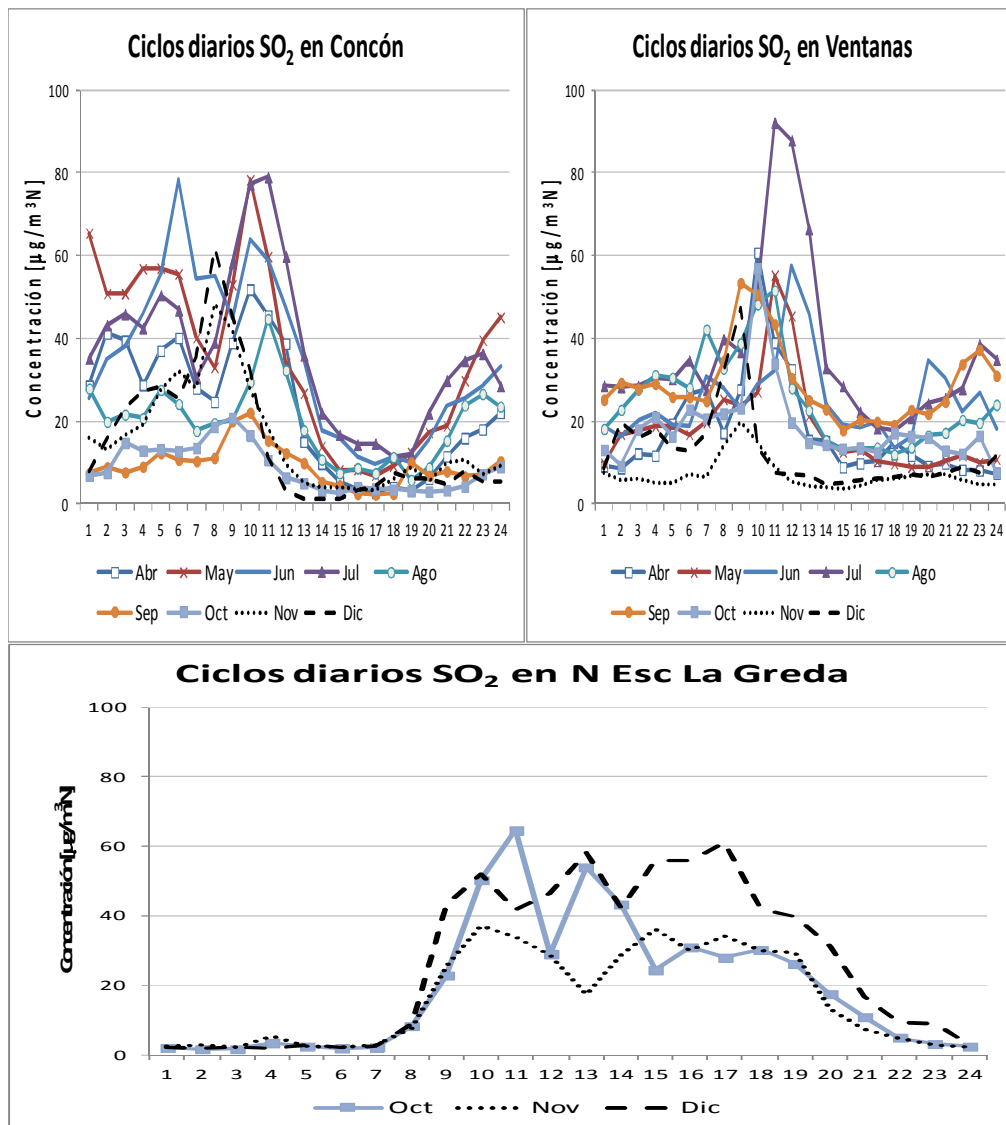


Figura 7.16 Ciclos diarios de SO₂ en estaciones Cenma ubicadas en Concón y en Ventanas (arriba), Abril-Diciembre de 2012 y en la Nueva Escuela La Greda (Octubre-Diciembre de 2012).



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



A continuación se presenta la comparación de los valores obtenidos para SO₂ en las estaciones CENMA con los valores normados para este contaminante según las diferentes normativas vigentes.

Tabla 7.2 Valores promedio, máximos y percentil para la comparación con norma primaria de SO₂, según criterio de cumplimiento diario y anual.

	Concón	Ventanas	Nueva Esc La Greda
	21 mar - 31 de dic 2012	11 abr – 31 dic 2012	11 oct – 31 dic 2012
Máxima horaria µg/m³N	749	574	553
Máxima Diaria µg/m³N	109	135	131
Percentil 99 conc 24h µg/m³N	93	74	99
Promedio Período µg/m³N	22	21	21
% de cumplimiento diario	37	30	40
% de cumplimiento anual	28	26	26

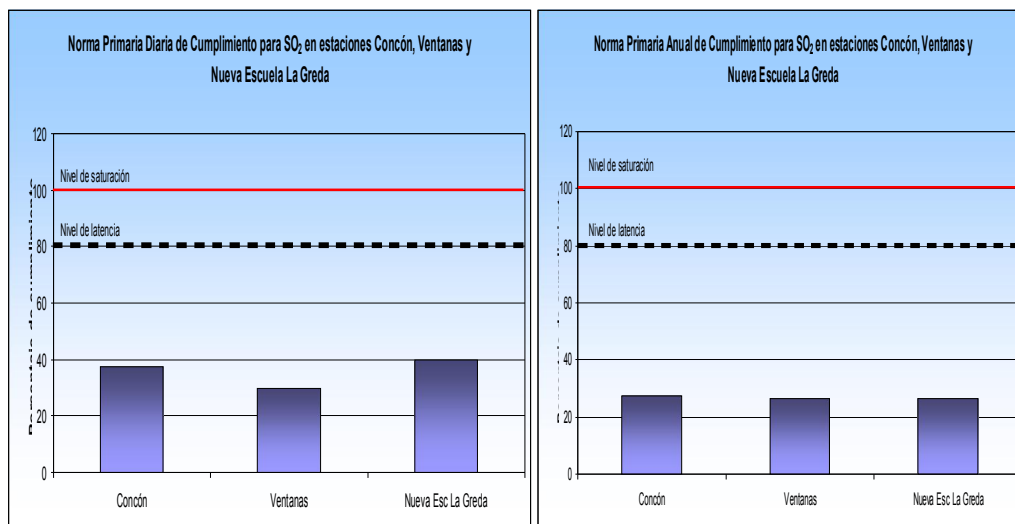


Figura 7.17- Comparación de los valores obtenidos en las estaciones CENMA con los niveles de saturación y latencia para la norma primaria horaria de SO₂.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 7.3 Valores promedio y percentiles para la comparación con norma secundaria de SO₂, según criterio de cumplimiento horario.

	Concón	Ventanas	Nueva Esc La Greda
	21 mar - 31 de dic	11 abr – 31 dic	11 oct – 31 dic
	[µg/m ³ N]	[µg/m ³ N]	[µg/m ³ N]
Percentil 99,73 conc 1h	348	304	327
Percentil 99,7 conc 24h	108	78	131
Promedio Período	22	21	21
% de cumplimiento 1h	35	30	33

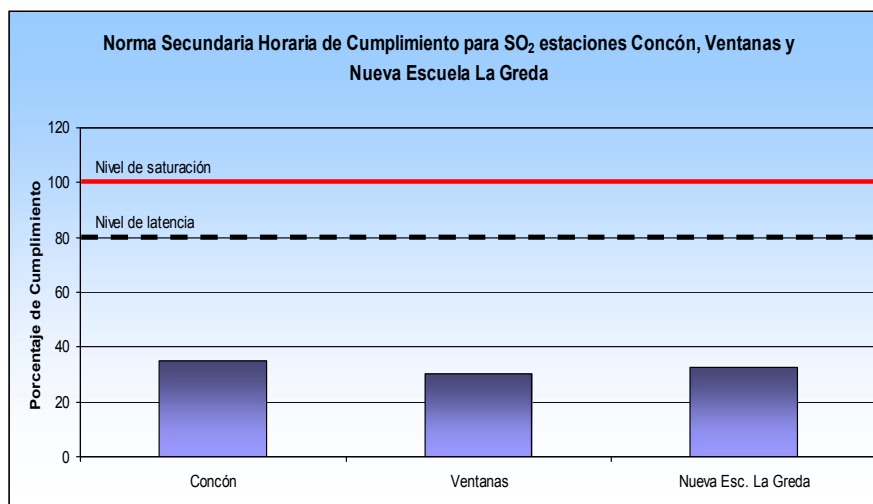


Figura 7.18- Comparación de los valores obtenidos en las estaciones CENMA con los niveles de saturación y latencia para la norma secundaria de SO₂.

La norma primaria para SO₂ (D.S. N°113/2002) establece un valor de 250 µg/m³N para el promedio del percentil 99 de las concentraciones diarias durante 3 años y un valor anual de 80 µg/m³N para el promedio trianual. En Concón, Ventanas y Nueva Escuela La Greda las concentraciones diarias máximas de SO₂ son menores al valor fijado en la norma diaria registrando máximos de 109 µg/m³N, 135 µg/m³N y 131 µg/m³N respectivamente. Para el período de medición el promedio de SO₂ es 22 µg/m³N en Concón, 21 µg/m³N en Ventanas y 21 µg/m³N en Nueva Escuela La Greda, es decir bastante menor al valor fijado en la norma anual.

La norma secundaria de SO₂ (D.S. N°22/2009) establece un valor de 1000 µg/m³N para el percentil 99,7 de las concentraciones horarias, el cual no es superado en



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



ninguna de las estaciones instaladas por CENMA durante el período de medición. El percentil 99,7 de concentraciones horarias fue: 652 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en Concón, 292 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en Ventanas y 316 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ en Nueva Escuela La Greda. Por otro lado, las concentraciones horarias máximas fueron: 749 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a la 01h del 24 de mayo en Concón, 574 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 10h del 24 de abril en Ventanas y 553 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ a las 10h del 16 de octubre en Nueva Escuela La Greda.

En **Anexo 3-2** se adjuntan los gráficos horarios de SO_2 medidos en las estaciones de monitoreo CENMA.

Los archivos contenidos en el **Anexo 4** incluyen todos los planes de muestreo para el desarrollo de las campañas experimentales acometidas durante este proyecto.

7.1.5.- Selección de contaminantes de interés.

7.1.5.1 Contaminantes positivamente identificados.

Para este caso, el contaminante SO_2 fue positivamente identificado en las estaciones Cenma como en las estaciones de las diferentes redes que operan en la zona de estudio, por lo que se ratifica el dióxido de azufre (SO_2) como contaminante de interés para continuar con el estudio de exposición.

7.1.5.2 Perfil de toxicidad

El anhídrido sulfuroso (CAS#: 7446-09-5) es un gas incoloro de olor acre. Bajo presión es un líquido y se disuelve fácilmente en agua.

El anhídrido sulfuroso en el aire se origina principalmente de actividades tales como quema de carbón o aceite en centrales eléctricas o de la fundición del cobre. En la naturaleza, el anhídrido sulfuroso puede ser liberado al aire en erupciones volcánicas.

Cuando se libera al medio ambiente el anhídrido sulfuroso pasa al aire. En el aire, puede convertirse en ácido sulfúrico, anhídrido sulfúrico y sulfatos. El anhídrido sulfuroso se disuelve en agua. Una vez disuelto en agua, el anhídrido sulfuroso puede formar ácido sulfuroso. El anhídrido sulfuroso puede penetrar el suelo, pero no se sabe cómo se mueve en el suelo.

La exposición a niveles de anhídrido sulfuroso muy altos puede ser letal. La exposición a 100 partes de anhídrido sulfuroso por cada millón de partes de aire (100 ppm) se considera de peligro inmediato para la salud y peligro mortal. Algunos mineros que respiraron anhídrido sulfuroso liberado por explosión en una mina de cobre sufrieron quemaduras en la nariz y garganta, dificultad para respirar, y sería obstrucción de las vías respiratorias.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La exposición de larga duración a niveles constantes de anhídrido sulfuroso puede afectar su salud. En algunos trabajadores expuestos a bajos niveles de anhídrido sulfuroso por 20 años o más se observaron alteraciones en la función pulmonar. Sin embargo, estos trabajadores también estuvieron expuestos a otros productos químicos, de manera que las condiciones de salud pueden no haber sido causadas por el anhídrido sulfuroso. También se ha observado que personas con asma son más susceptibles a los efectos respiratorios causados por bajos niveles de anhídrido sulfuroso.

Estudios en animales también han demostrado efectos respiratorios a raíz de respirar anhídrido sulfuroso. En animales expuestos a altas concentraciones de anhídrido sulfuroso se observó disminución de la respiración, inflamación de las vías respiratorias y destrucción de áreas del pulmón.

No hay ningún estudio en que se haya observado claramente efectos carcinogénicos de anhídrido sulfuroso en seres humanos o en animales. Estudios de trabajadores en fundiciones de cobre y en industrias de pulpa y papel no han btenido resultados decisivos ya que los trabajadores estaban también expuestos a arsénico y a otros productos químicos. El único estudio disponible en animales sugiere que el anhídrido sulfuroso puede ser carcinogénico en ratones. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado al anhídrido sulfuroso en el Grupo 3, no clasificable en relación a carcinogenicidad en seres humanos.

Niños que viven en o cerca de actividades altamente industrializadas que producen anhídrido sulfuroso pueden experimentar dificultades para respirar, alteraciones en la habilidad para respirar profundamente y ardor de la nariz y garganta. No se sabe si los niños son más sensibles a estos efectos que los adultos. Sin embargo, los niños pueden estar expuestos a más anhídrido sulfuroso que los adultos porque respiran más aire que éstos en relación a su peso.

Estudios de larga duración que evaluaron un número considerable de niños indican que los niños que han estado expuestos a contaminación de anhídrido sulfuroso pueden sufrir más problemas respiratorios a medida que crecen, pueden tener que ir más a menudo a la sala de emergencia con ataques asmáticos y pueden sufrir más enfermedades respiratorias que otros niños. Los niños con asma pueden ser especialmente sensibles a concentraciones de anhídrido sulfuroso aun más bajas, pero no se sabe si los niños con asma son más sensibles que adultos con asma

La USEPA ha establecido una norma de calidad del aire de 0,03 ppm para exposiciones a anhídrido sulfuroso de larga duración, de 1 año de promedio. En casos de exposición de corta duración, la concentración en el aire no debe exceder 0,14 ppm durante un período de 24 horas más de una vez al año. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



ocupacional de exposición de 2 ppm durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas semanales.

7.1.6 Dosis de exposición aguda: comparación con AEGL.

Existen varios criterios de toxicidad para estimar los riesgos de una exposición de corto plazo a ciertos contaminantes ambientales gaseosos. Los valores de exposición umbral seleccionado para la protección del público en general y de receptores susceptibles son los denominados Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs, en inglés).

Numerosos contaminantes aéreos pueden causar efectos en la salud después de una exposición aguda o de corto plazo que puede durar pocos minutos o varios días. Los métodos para estudiar la dosis-respuesta de exposiciones agudas son en general similares a la metodología para exposiciones crónicas, y requieren la identificación de un “efecto crítico”, determinación de un NOAEL o valor comparable para tal efecto, y aplicación de factores de incertidumbre.

En el presente estudio se siguió el criterio de comparar los valores medidos con los **Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs)**, del inglés Acute Exposure Guideline Levels, desarrollados por el National Research Council, USA) como valores más relevantes y aplicables para su uso para los casos de emisiones aéreas de corto plazo aplicables a la población en general.

Los **Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs)** representan valores de exposición umbrales o techo de corto plazo que tienen el propósito de proteger al público en general, incluyendo a individuos susceptibles o sensibles, pero no a individuos hipersusceptibles o hipersensibles y pueden ser aplicados a períodos de exposición de emergencia que pueden ocurrir infrecuentemente en la vida de una persona (NRC, 2010).

Los AEGLs fueron desarrollados primariamente para proveer una guía en situaciones donde puede haber una exposición rara, típicamente accidental a una sustancia química en particular que puede incluir al público general. Los AEGLs están diseñados para proteger a la población en general incluyendo a los ancianos y niños, grupos que generalmente no están considerados en el desarrollo de niveles de exposición en ambiente ocupacional.

El propósito fundamental de haber desarrollado AEGLs fue *estimar niveles guías para exposiciones de corto plazo (no crónicas y repetidas) a concentraciones aéreas de sustancias químicas agudamente tóxicas de alta prioridad.*

Los AEGLs son necesarios para un rango de aplicaciones en planificación de emergencias químicas, y programas de prevención y respuesta.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Los AEGLs representan valores biológicos de referencia para esta población humana definida, y se distinguen por tres grados de severidad en los efectos en la salud, para cuatro períodos de exposición de emergencia (30 minutos, 1 hora, 4 horas, y 8 horas).

Los tres AEGLs son definidos como sigue:

AEGL-1 es la concentración en aire, expresada en partes por millón (ppm) o en miligramos por metro cúbico (mg/m^3) de una sustancia por sobre la cual se predice que la población general, incluyendo personas susceptibles, puede experimentar molestia notable, irritación, o ciertos efectos asintomáticos no sensoriales. Los efectos sin embargo no son discapacitantes y son pasajeros y reversibles cuando cesa la exposición.

AEGL-2 es la concentración en aire, expresada en partes por millón (ppm) o en miligramos por metro cúbico (mg/m^3) de una sustancia por sobre la cual se predice que la población general, incluyendo personas susceptibles, puede experimentar efectos adversos en la salud que son irreversibles o serios, de larga duración o un deterioro en la habilidad para escapar.

AEGL-3 es la concentración en aire, expresada en partes por millón (ppm) o en miligramos por metro cúbico (mg/m^3) de una sustancia por sobre la cual se predice que la población general, incluyendo personas susceptibles, puede experimentar efectos en la salud que ponen en peligro la vida o pueden causar la muerte.

Concentraciones en aire por debajo un AEGL-1 representan niveles de exposición que pueden producir moderado y progresivamente aumentando y no discapacitante, olor, sabor, e irritación sensorial o ciertos efectos asintomáticos no sensoriales. Con cada aumento en la concentración aérea, hay un progresivo aumento en la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos descritos para cada AEGL específico. Aunque los valores AEGL representan umbrales para el público en general, incluyendo subpoblaciones susceptibles, tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades, se admite que individuos sujetos a respuestas únicas o idiosincráticas pueden experimentar los efectos descritos a concentraciones por debajo de cada AEGL respectivo.

Los valores de AEGLs para el dióxido de azufre (SO_2), se describen a continuación.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 7.4. Valores AEGL para el dióxido de azufre (SO₂).

Clasificación	10 min	30 min	1 h	4 h	8 h	Punto crítico de referencia
AEGL-1	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	0.20 ppm	NOEL de broncoconstricción
No discapacitante	0.52 mg/m ³	0.52 mg/m ³	0.52 mg/m ³	0.52 mg/m ³	0.52 mg/m ³	en asmáticos en ejercicio
AEGL-2	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	0.75 ppm	Broncoconstricción moderada
Discapacitante	1.95 mg/m ³	1.95 mg/m ³	1.95 mg/m ³	1.95 mg/m ³	1.95 mg/m ³	en asmáticos ejercitando
AEGL-3	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm	30 ppm	BMCLC05 en ratas después de
Letalidad	78 mg/m ³	78 mg/m ³	78 mg/m ³	78 mg/m ³	78 mg/m ³	4 h exposición
El valor del AEGL-1 es constante para todos los puntos de tiempo porque la broncoconstricción ocurre dentro de 10 min y aumenta mínimamente o se resuelve después de los 10 min de exposición.						
Ref: NRC, 2010						

Nótese que la concentración de SO₂ desde los 10 minutos de exposición es la misma hasta las 8 horas. Esto porque la broncoconstricción ocurre dentro de 10 minutos y aumenta mínimamente o se resuelve después de los 10 minutos de exposición. Así, un AEGL-3 de 30 ppm SO₂ es esencialmente letal a los 10 minutos de exposición.

Los resultados del monitoreo ambiental de SO₂ se compararon con el valor umbral AEGL-1 (0,20 ppm = 0,52 mg/m³) o con el umbral AEGL-2 (0,75 ppm = 1,95 mg/m³) y se analiza la duración de estos peaks (desde 10 minutos a mayor).

La estimación de los riesgos por exposición al SO₂ se lleva a cabo por comparación de la concentración aérea y la duración del peak de SO₂ con los **Niveles Guía de Exposición Aguda (AEGLs)** explicados anteriormente.

En un primer análisis, se identificaron los valores de SO₂ que exceden los AEGL-1 de 200 ppb (0,52 mg/m³), y en un segundo análisis se buscaron valores que excedieran un AEGL-2 de 750 ppb (1,95 mg/m³). Los resultados de los valores de SO₂ observados en el monitoreo, fueron graficados a lo largo del tiempo y las concentraciones correspondientes.

Los niveles de SO₂ superaron ligeramente el nivel 200 ppb = 0,20 ppm = 0.52 mg/m³ en varias ocasiones. Estos niveles corresponden a Niveles Guía de Exposición Aguda 1, que representan umbrales de exposición no discapacitante para el público en general y son aplicables para períodos de emergencia que van



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



desde 10 minutos a 8 horas de exposición. Los niveles medidos en aire monitoreado están por bajo los $750 \text{ ppb} = 0,75 \text{ ppm} = 1,95 \text{ mg/m}^3$ correspondientes a un AEGL-2, que representa un umbral de exposición considerado discapacitante para un asmático durante ejercicio.

Un detalle de los registros con alta concentración identificados en Mayo y en Junio 2011 se muestra en las figuras 7.8 y 7.9. En estas figuras, las señales han sido amplificadas para mostrar que el valor máximo está levemente por debajo de 300 ppb , y que la duración fue significativamente más corto que 8 horas en ambos casos.

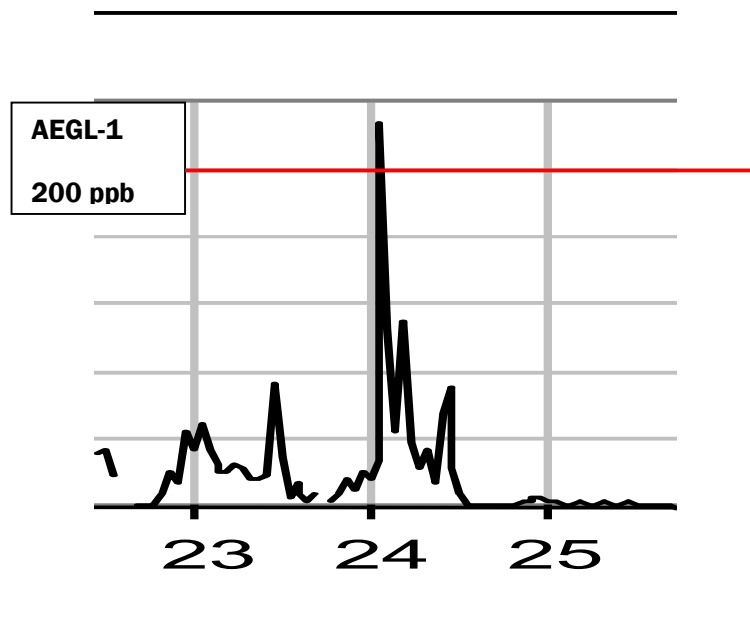
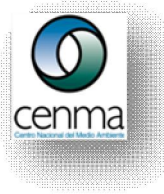


Figura 7.19 Ejemplo de valores horarios de SO₂, mayo de 2011



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

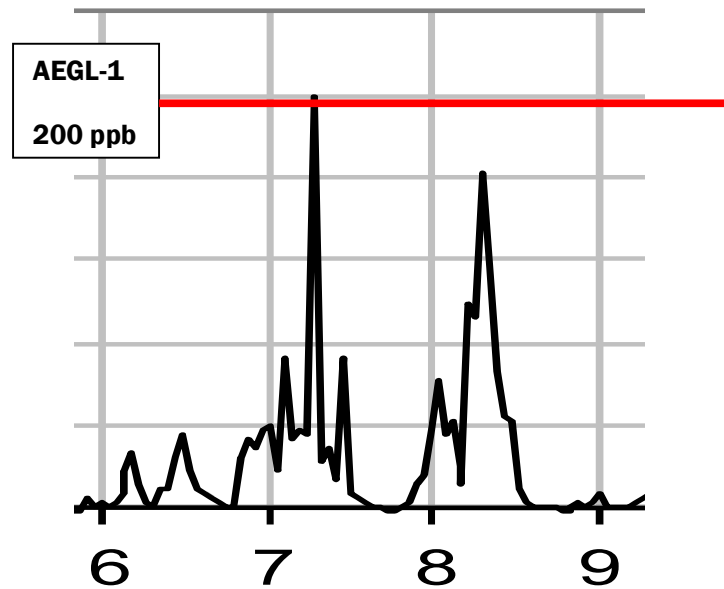


Figura 7.20. Ejemplo de valores horarios de SO₂, junio de 2011

Se concluye que los dos únicos peaks registrados en el período de observación son más breves y de intensidad menor que un nivel AEGL-2 de SO₂ discapacitante para un asmático.

La incertidumbre asociada con las mediciones y los riesgos en la salud se relaciona con la ubicación de la estación de monitoreo, la distancia entre las fuentes y la estación de monitoreo, y la ubicación de los receptores en relación con la estación de medición. Estos factores son críticos para establecer una asociación

Los resultados de mediciones de SO₂ en las estaciones Cenma se muestran en las siguientes figuras:



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

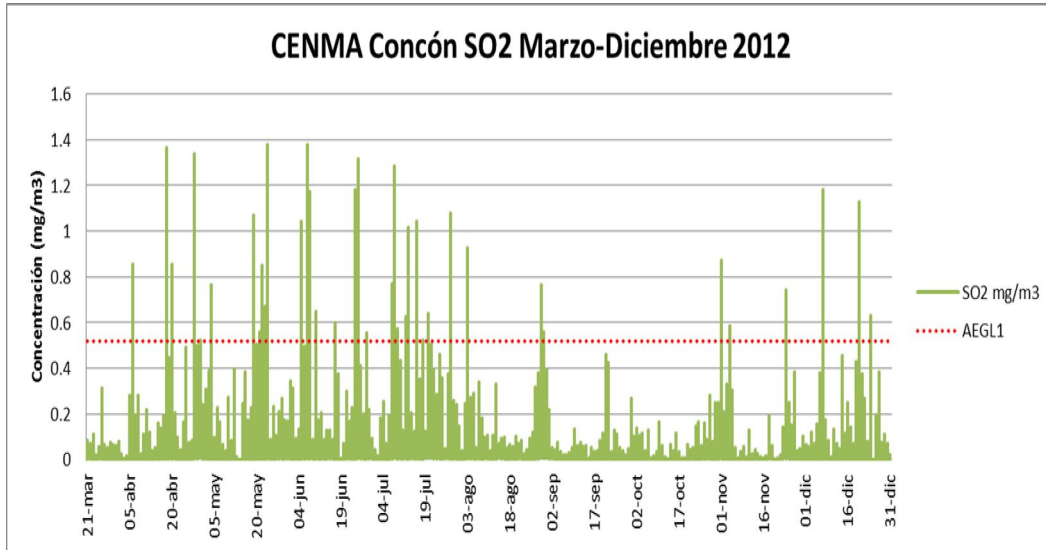


Figura 7.21 Concentración de SO₂ en la estación Cenma Consultorio Concón.

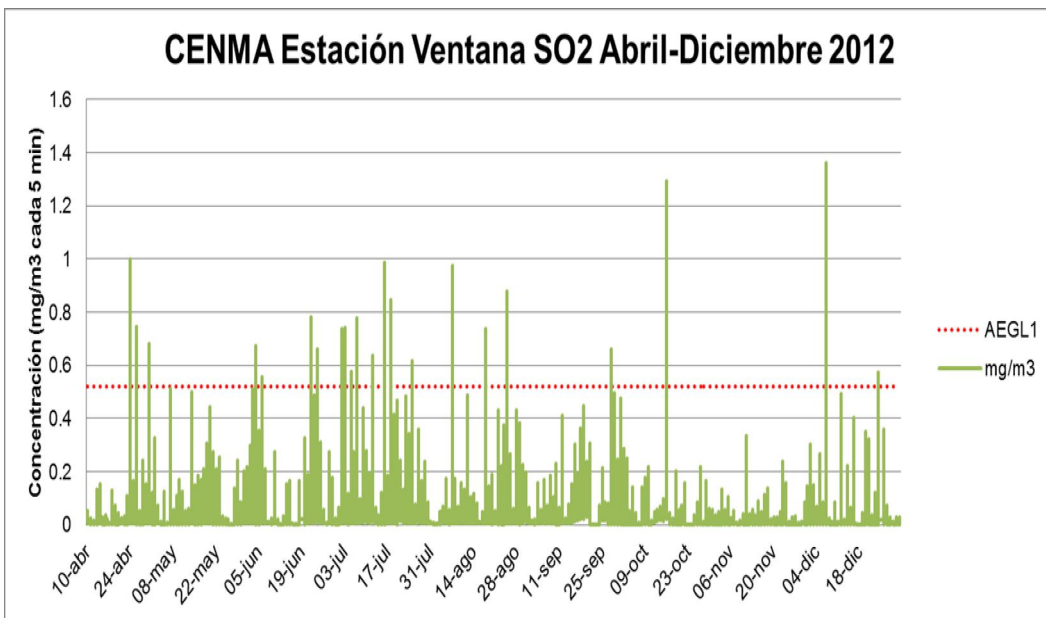


Figura 7.22: Concentración de SO₂ en la estación Cenma Hogar de Ancianos, Ventana.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

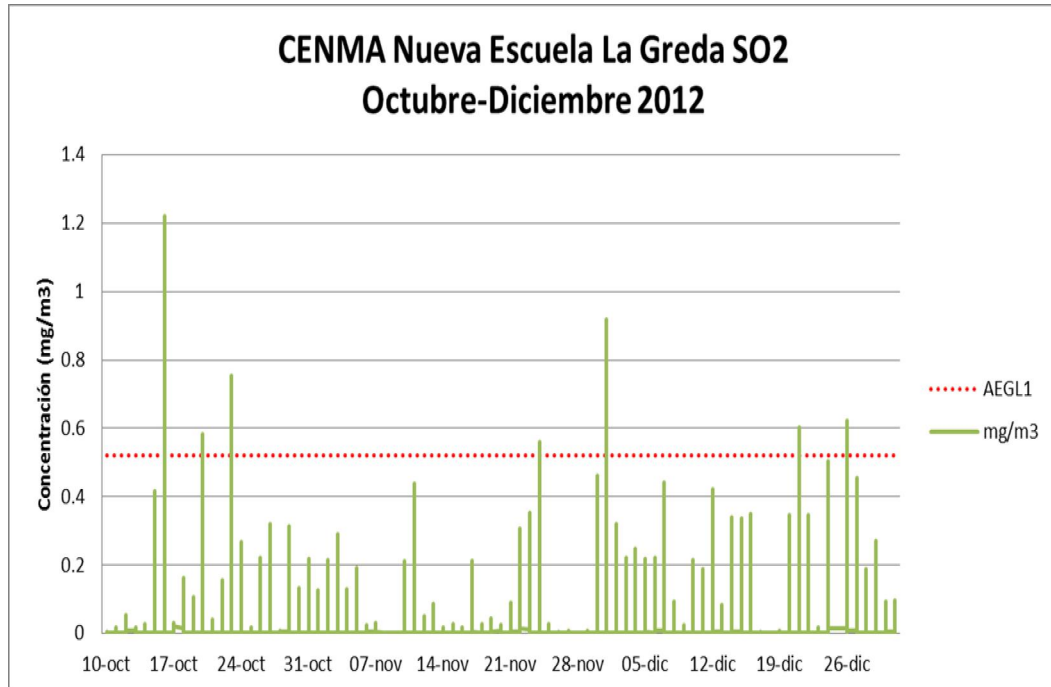


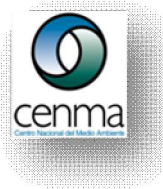
Figura 7.23 Concentración de SO₂ en la estación Cenma Nueva Escuela La Greda.

De estas figuras se puede observar que los valores absolutos medidos en la estación Nueva Escuela de La Greda son menores que los medidos en las otras estaciones. Por otra parte, en ninguna de las tres se encontraron valores cercanos o superiores al nivel AEGL-2 de 1,95 mg/m³ tal como se explicó anteriormente.

A continuación se presenta la comparación de los valores de concentración de SO₂, con los niveles guía de exposición y con las normas vigentes en Chile respecto de SO₂, según información suministrada para este estudio.

Estaciones de monitoreo continuo de SO₂ de la red Codelco/Gener.

Las estaciones de la red Codelco/Gener realizan el monitoreo continuo con registros cada minuto. A continuación se presentan los gráficos que ilustran la comparación de dichos valores con los niveles guía AEGL.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

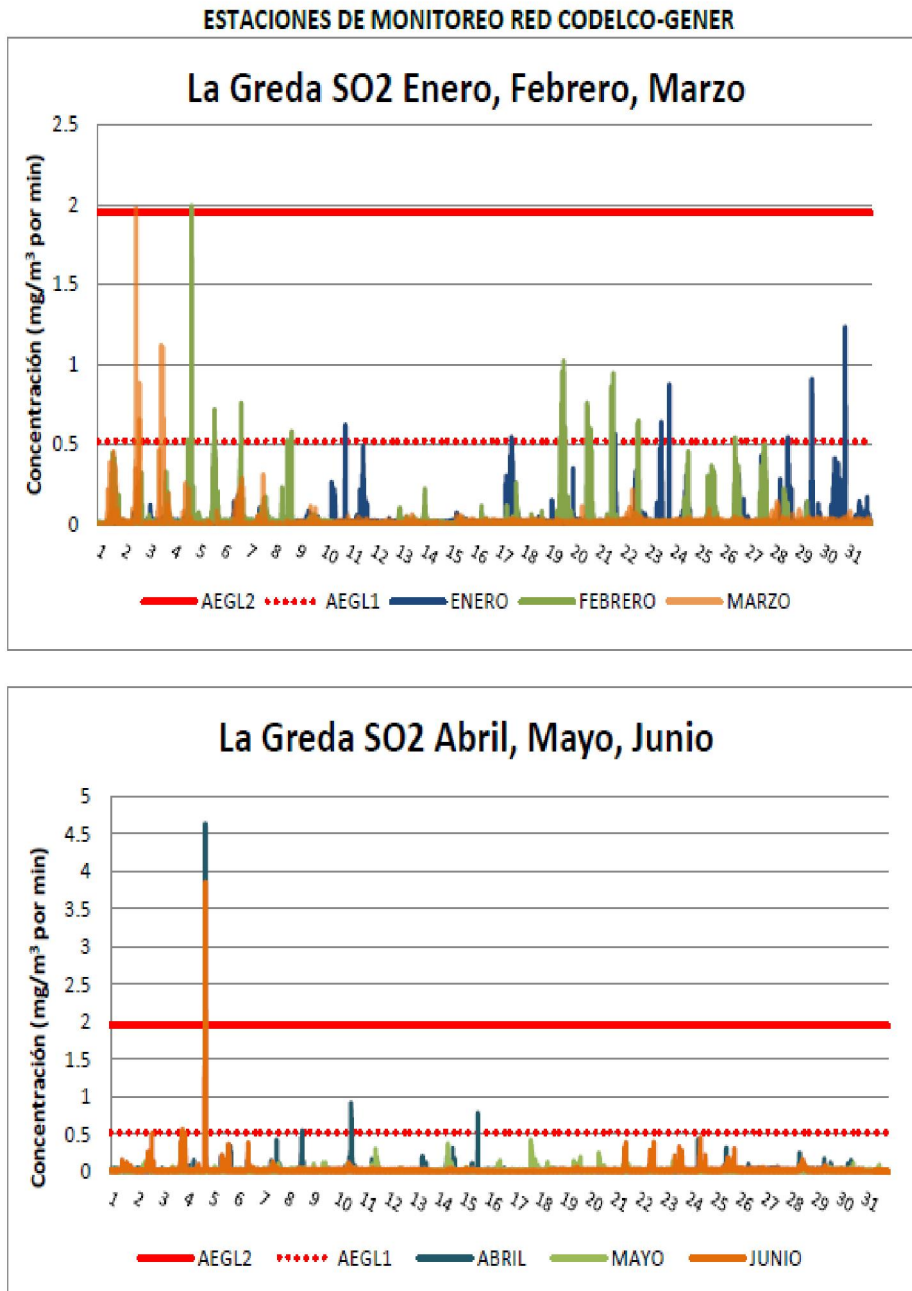


Figura 7.24-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación La Greda, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

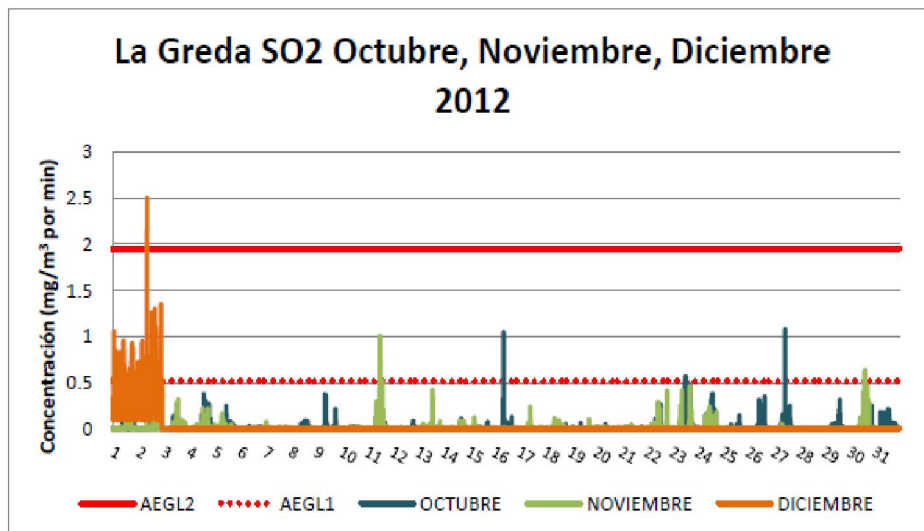
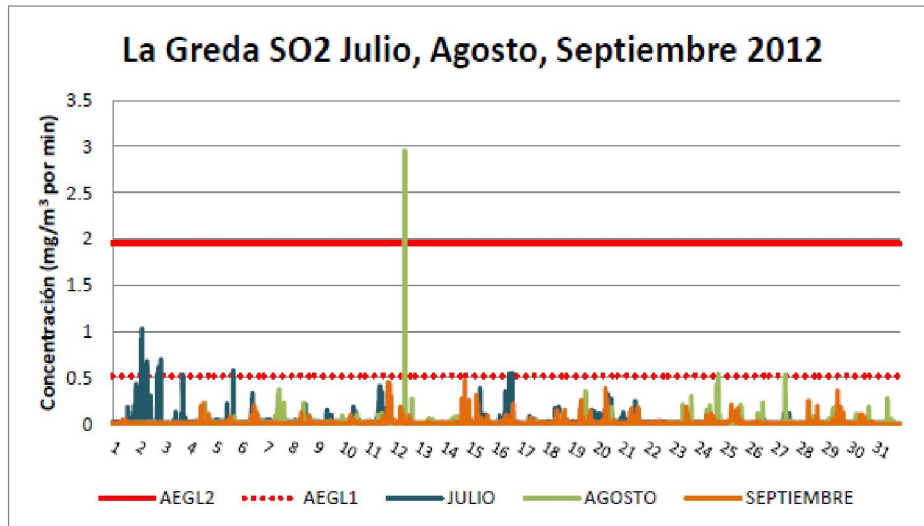


Figura 7.24-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación La Greda, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ excedieron ligeramente el AEGL-1 en dos ocasiones en el mes de abril, y excedieron al AEGL-2 en abril (4,7 mg/m³) y junio (3,8 mg/m³) 2012. También se observaron superaciones del nivel AEGL2 una vez en agosto y una vez en diciembre.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



ESTACIONES DE MONITOREO RED CODELCO-GENER

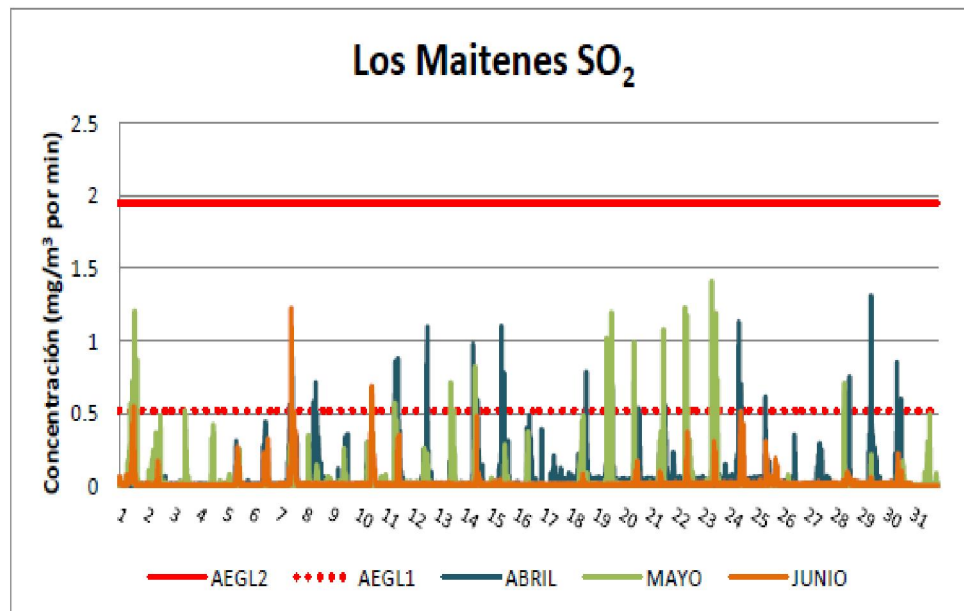
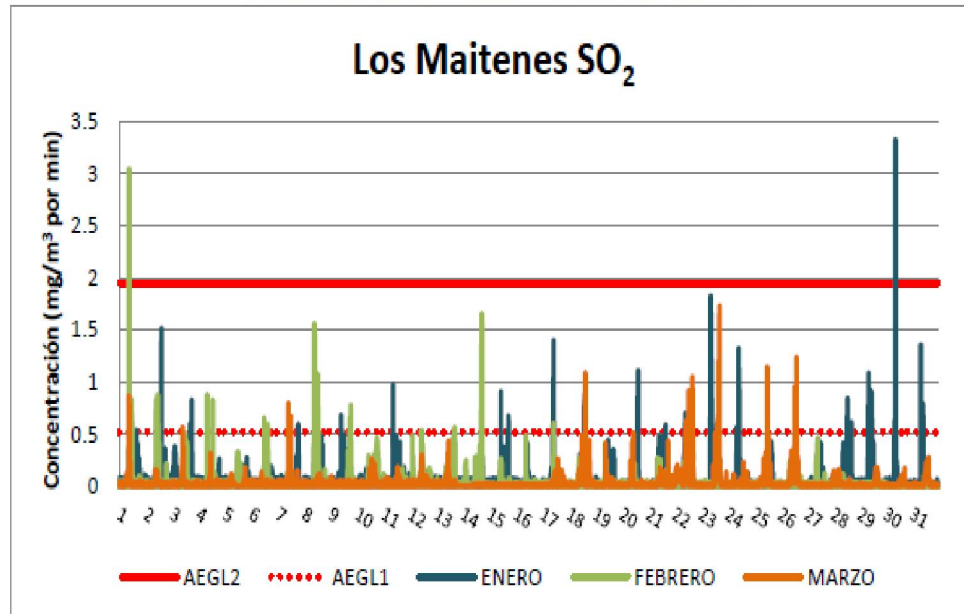
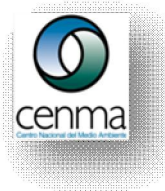


Figura 7.25-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂, en estación Los Maitenes, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

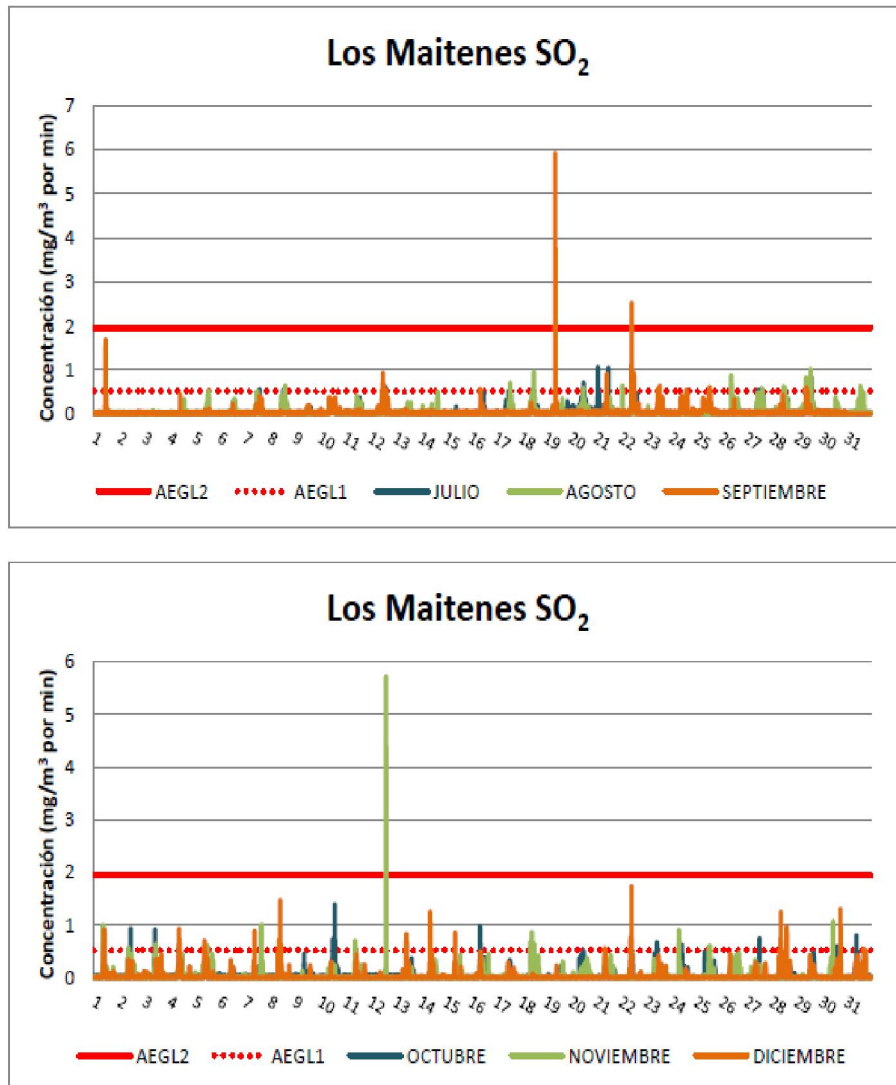
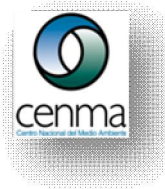


Figura 7.25-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂, en estación Los Maitenes, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ excedieron el AEGL-2 en enero, en febrero, dos veces en septiembre y una vez en noviembre de 2012.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

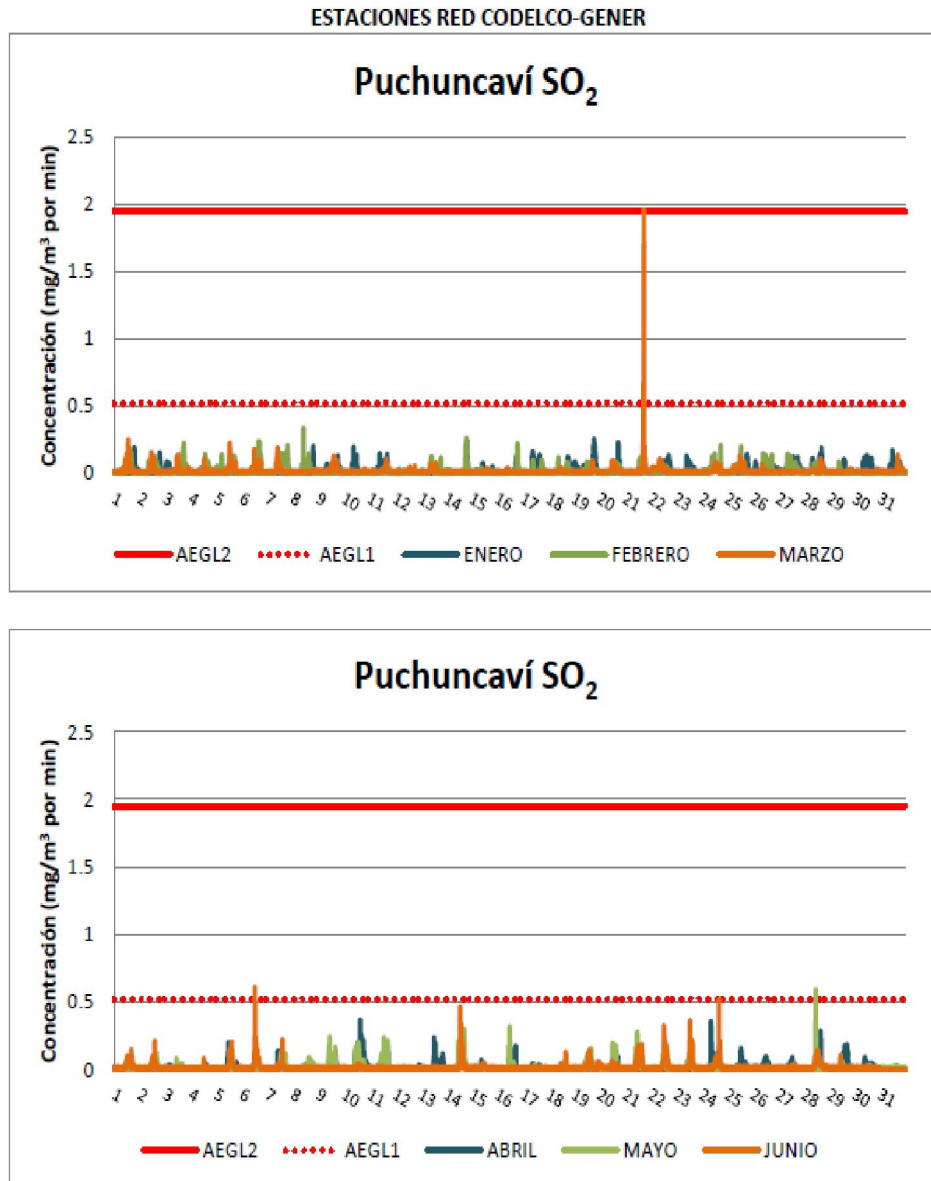


Figura 7.26-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Puchuncaví, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

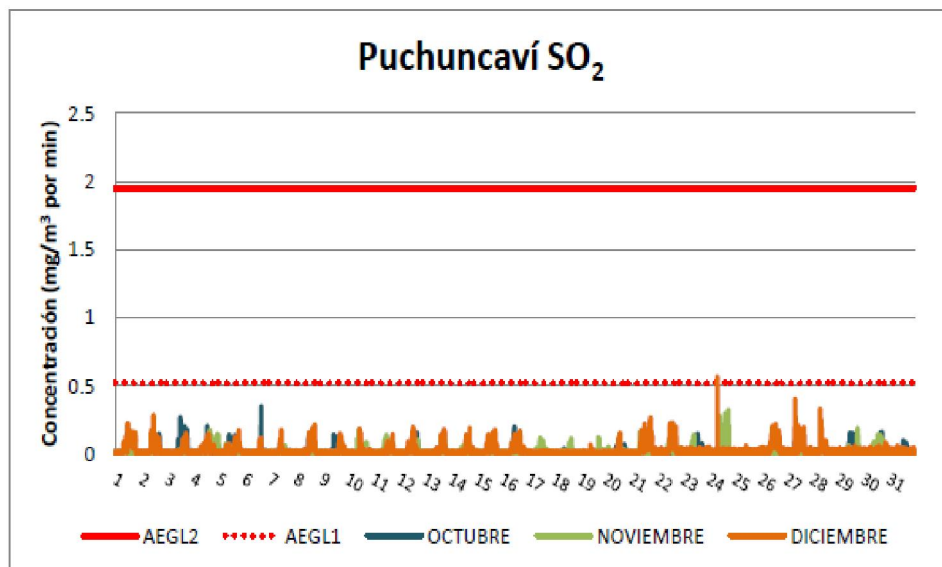
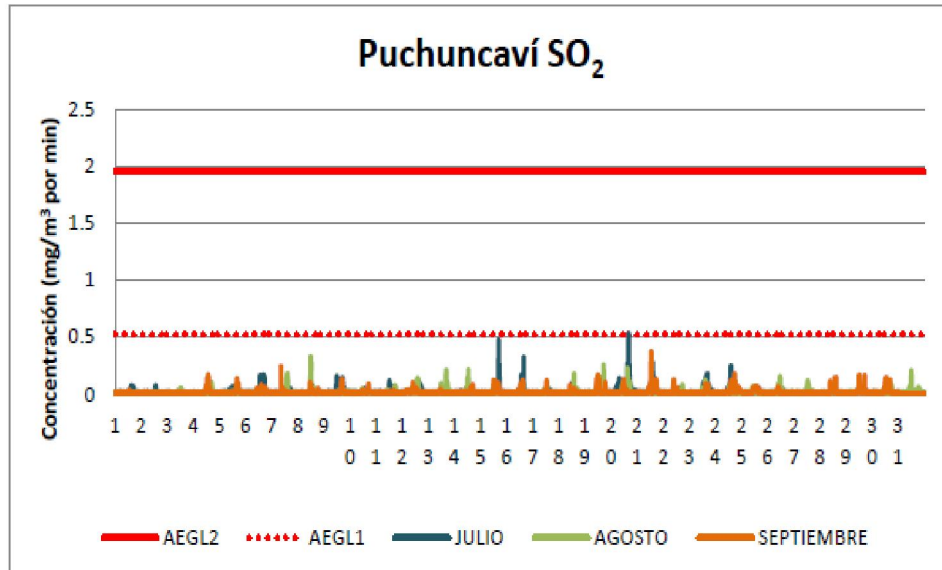


Figura 7.26-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Puchuncaví, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ alcanzaron el AEGL-2 únicamente en el mes de marzo de 2012.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

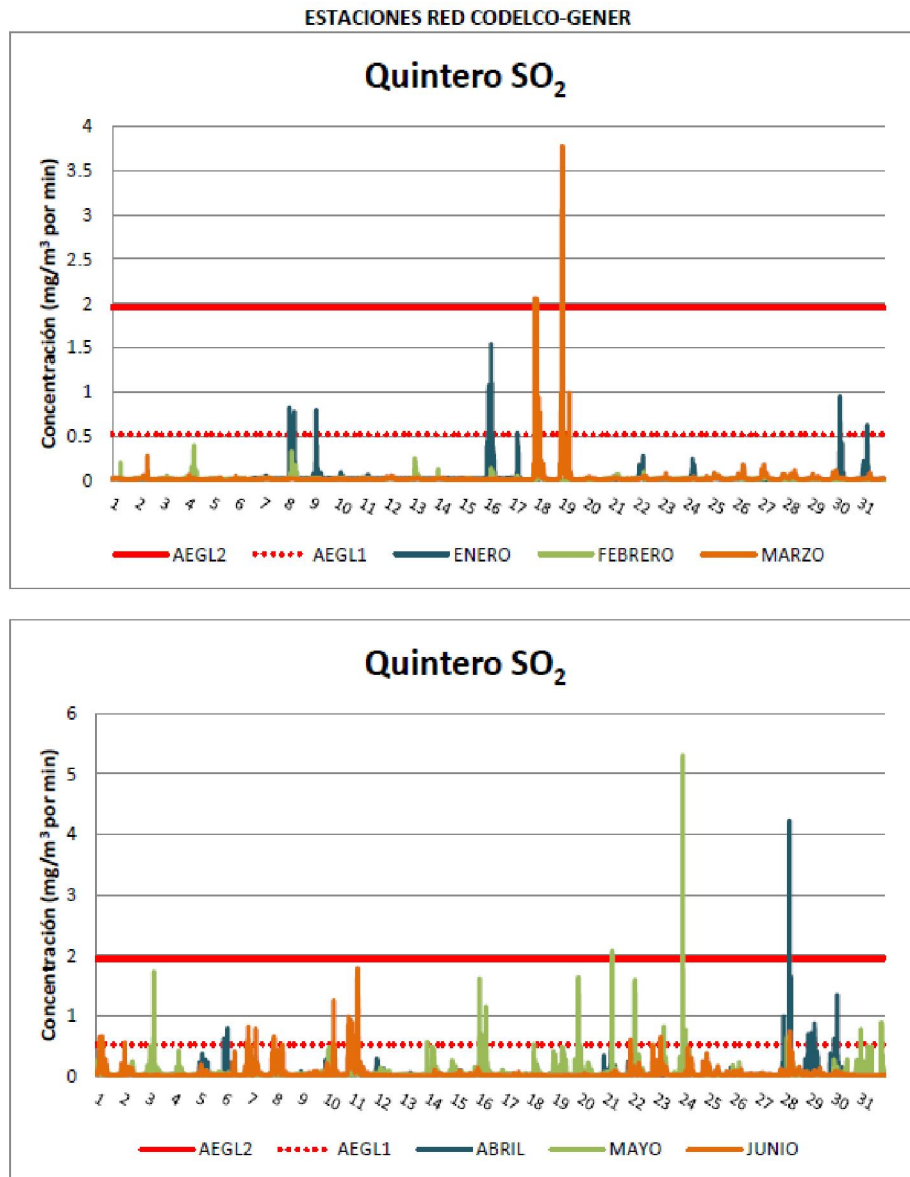
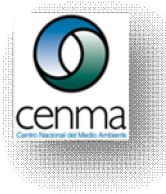


Figura 7.27-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Quintero AES, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

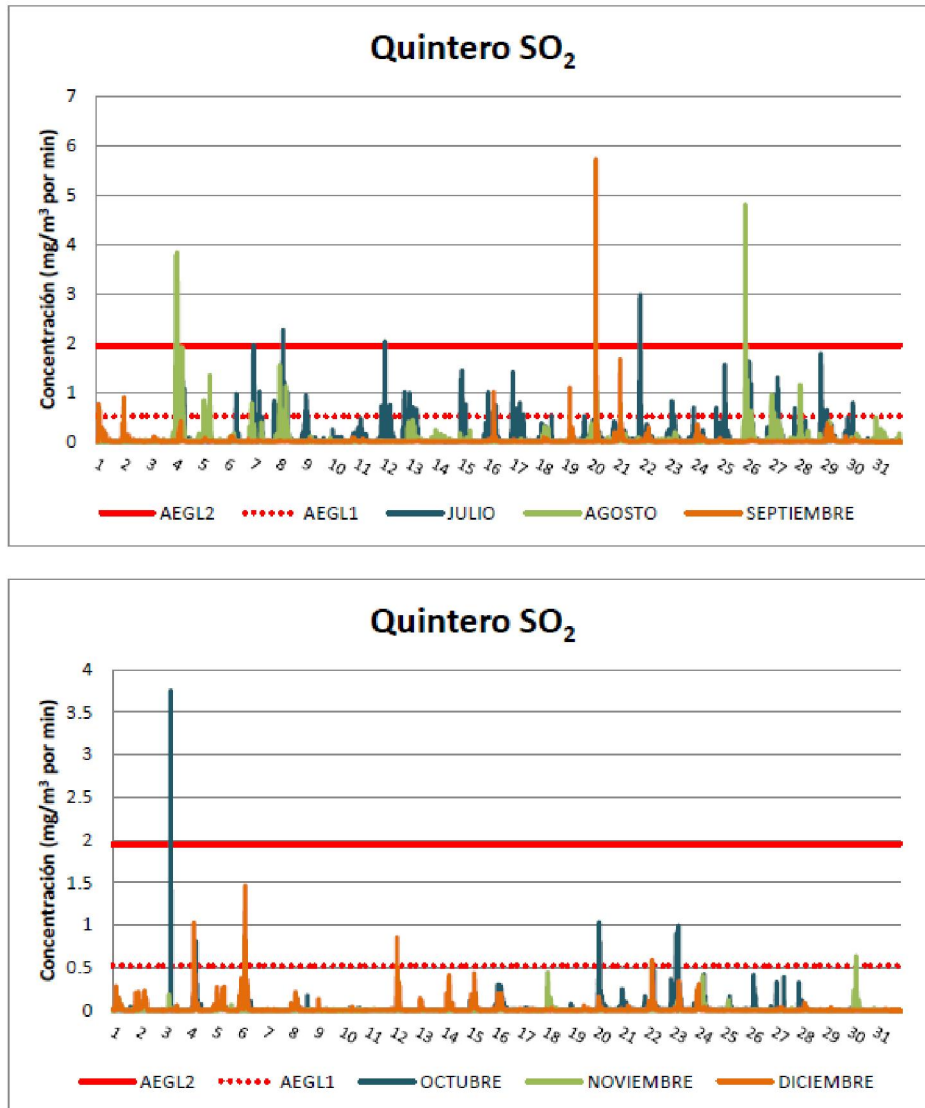
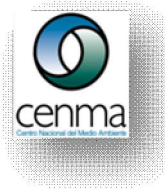


Figura 7.27-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Quintero AES, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ excedieron ligeramente el AEGL-2 en dos ocasiones en marzo y en junio. En el período entre julio y diciembre de 2012, se observaron varias situaciones de superación del nivel AEGL-2.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

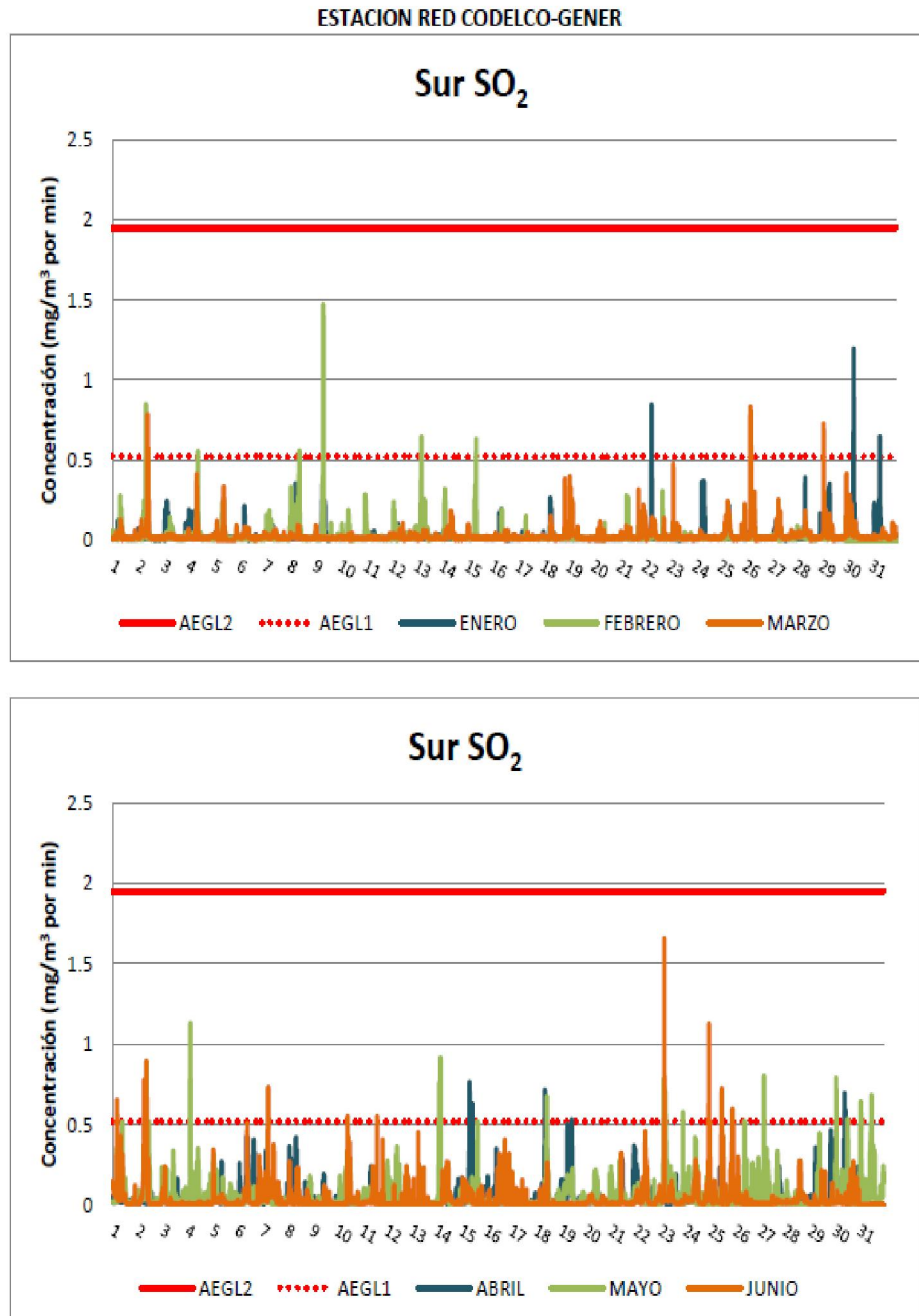
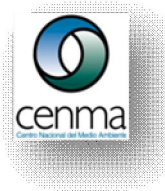


Figura 7.28-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Sur, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

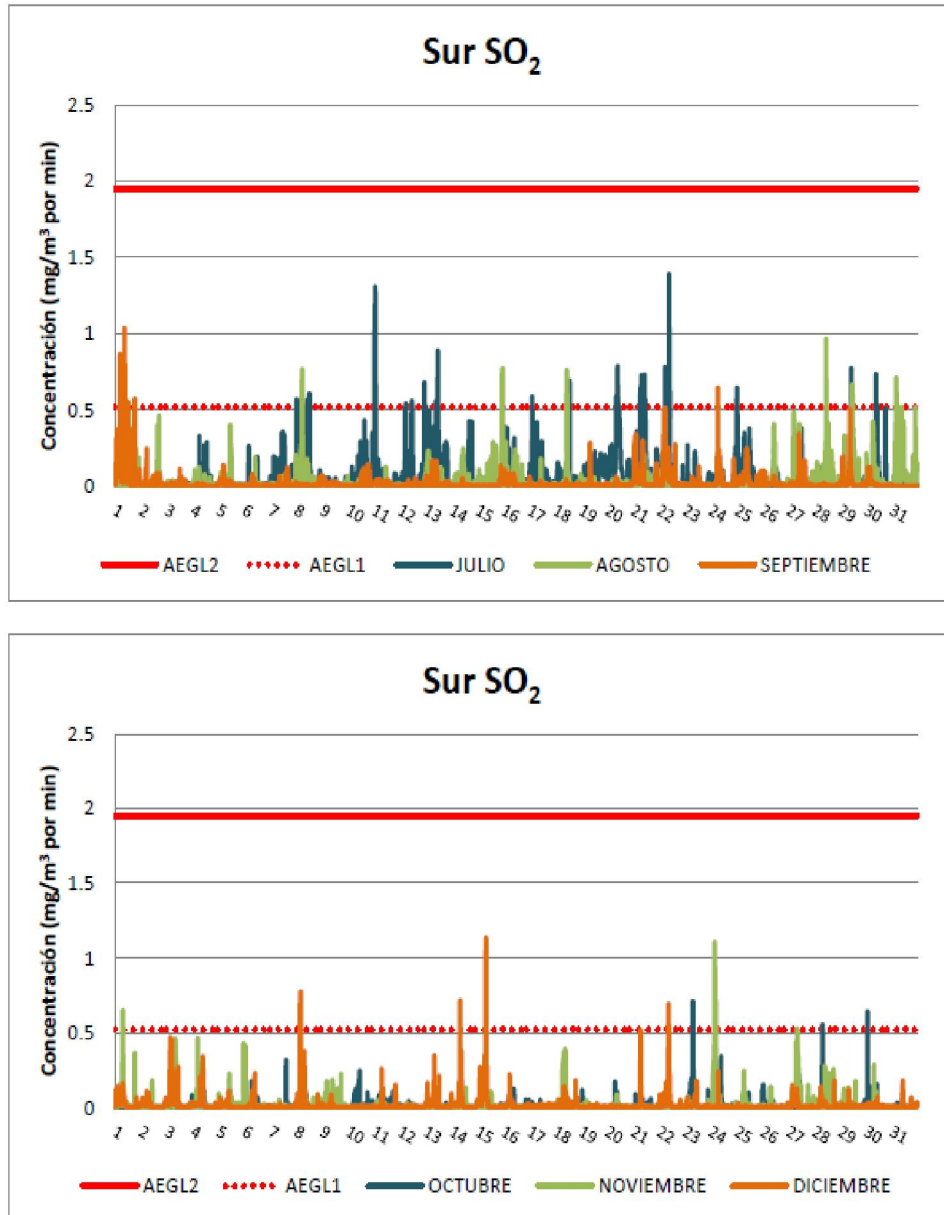


Figura 7.28-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Sur, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ no excedieron el AEGL-2.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



DATOS DE SO₂ DE LA RED DE MONITOREO CODELCO-GENER AÑO 2012

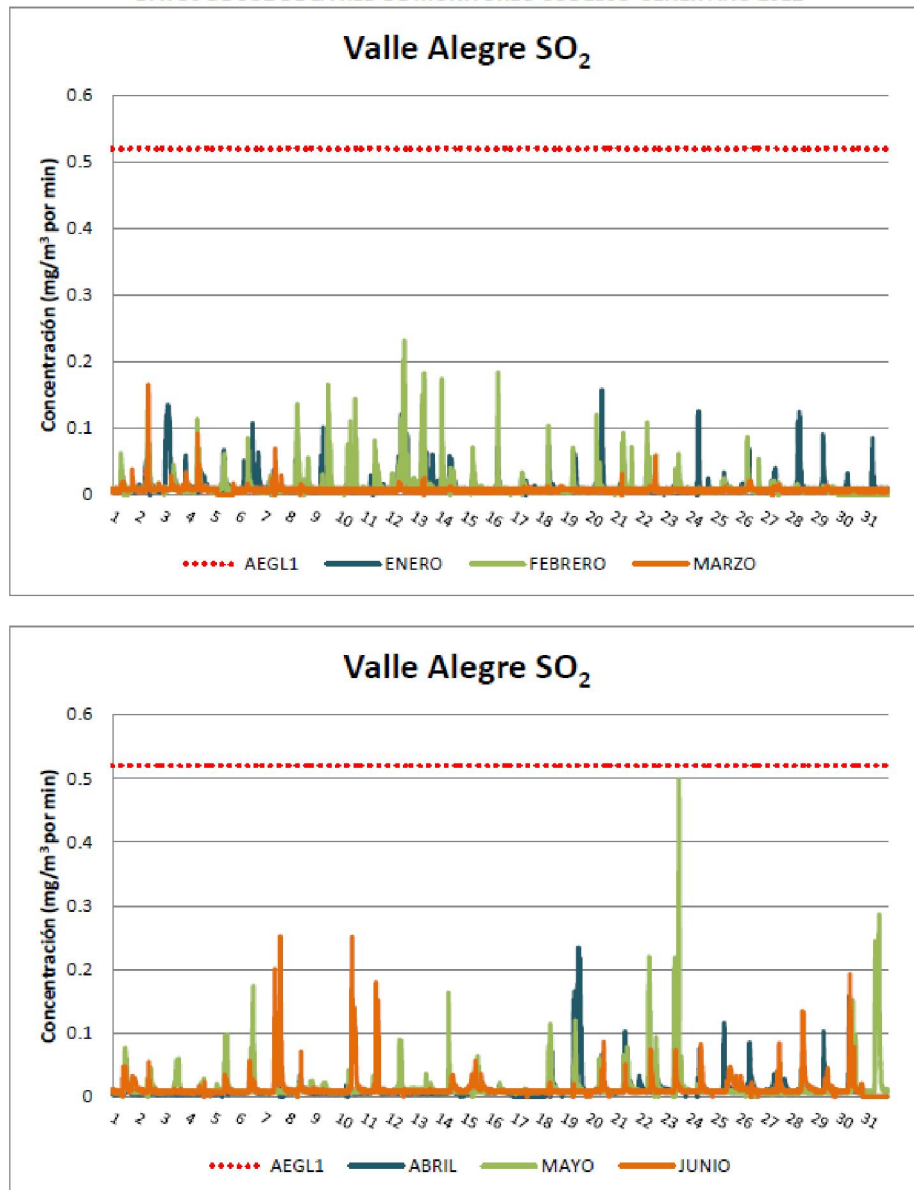
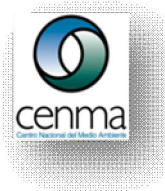


Figura 7.29-a. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Valle Alegre, Red Codelco/Gener (Enero-Junio/2012).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

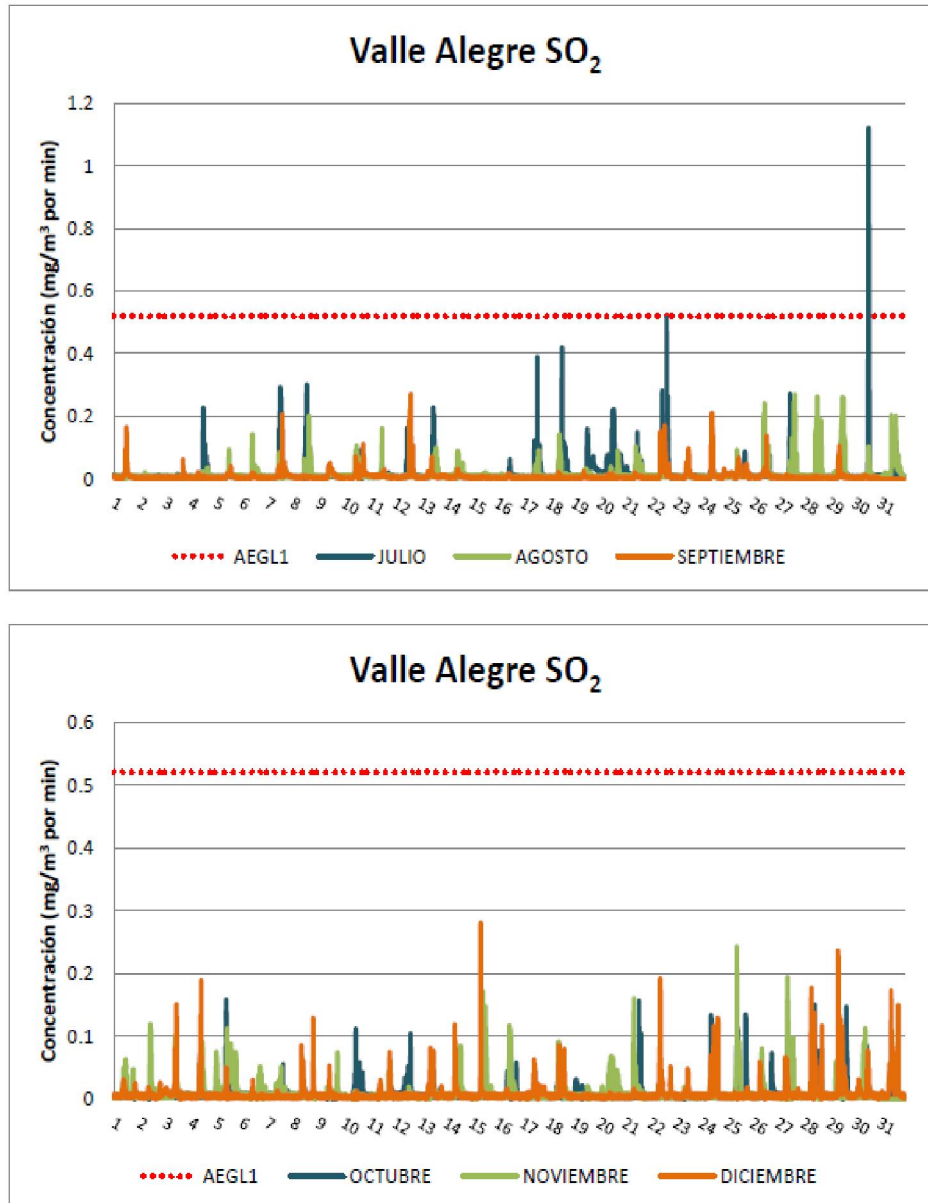
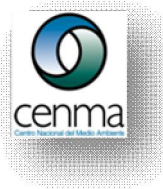


Figura 7.29-b. Mediciones (cada minuto) de SO₂ en estación Valle Alegre, Red Codelco/Gener (Julio-Diciembre/2012).

Para esta estación, los niveles de SO₂ no excedieron el AEGL-1 ni el AEGL-2.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



A continuación se presenta una tabla resumen de los hallazgos más significativos respecto de las superaciones de los niveles AEGL-1 y AEGL-2, provenientes de las estaciones de la Red Codelco/Gener. Al respecto, la estación La Greda mostró 6 peaks de SO₂ con concentraciones superiores al valor de AEGL-2, sugiriendo niveles atmosféricos que pueden haber estado asociados con episodios de efectos respiratorios negativos.

Tabla 7.5. Episodios en que los niveles de SO₂ detectados superaron el AEGL-2, medidos por la Red Codelco/Gener.

	[SO ₂] excede AEGL-1 (200 ppb = 0,52 mg/m ³)	[SO ₂] excede AEGL-2 (750 ppb = 1.95 mg/m ³)		
		2012	Concentración mg/m ³	Hora (24 horas)
Estación La Greda	Numerosas ocasiones entre enero-noviembre 2012	febrero 5	1,99	17:51
		marzo 2	1,98	12:38
		abril 5	4,63	18:50
		junio 4	3,85	19:00
		junio 4	3,74	18:59
		agosto 12	2,96	12:13
		diciembre 2	2,45	08:40
		diciembre 2	2,49	08:39
Estación Los Maitenes	Frecuentemente excedido entre enero-diciembre 2012	febrero 1	3,04	09:23
		septiembre 19	5,91	09:41
		noviembre 12	5,71	15:39
Estación Quintero AES	Frecuentemente excedido entre enero-diciembre 2012	marzo 17	2,05	23:34
		marzo 18	2,04	01:21
		marzo 19	2,01-3,77	01:33-02:15
			3,77	01:57
		abril 28	2,45 -4,22	06:31-06:38
		mayo 24	2,07 -5,30	01:41-01:53
		julio 8	2,08-2,25	4.37-4:39
		julio 21	2,3-2,93	23:10-23:25
		agosto 4	2,04-3,83	01:41-02:52
		agosto 26	2,11-4,79	00:35-00:56
septiembre 20	2,03-5,72	06:15-06:23		
octubre 3	2,03-3,75	07:05-07:13		



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 7.6. Situación de los niveles de SO₂ respecto del AEGL-1 sin exceder el AEGL-2

	[SO ₂] excede AEGL-1 (200 ppb = 0,52 mg/m ³)	[SO ₂] excede AEGL-2 (750 ppb = 1,95 mg/m ³)		
		fecha	concentración	hora
Estaciones CENMA				
Consultorio Concón	Numerosas ocasiones entre marzo-diciembre 2012	---		
Hogar Ancianos Ventana	Numerosas ocasiones entre marzo-diciembre 2012	---		
Nueva Escuela La Greda	Excedido en 7 ocasiones	---		
RED ENAP				
Estación Concón	Una ocasión entre enero-noviembre 2012	---		
Estación Colmo	---	---		
Estación Quintero GNL	Numerosas ocasiones entre enero-noviembre 2012	---		
RED Codelco/Gener				
Estación Puchuncaví	---	---		
Estación Sur	Frecuentemente excedido entre enero-diciembre 2012	---		
Estación Valle Alegre	---			

Las zonas más afectadas por la presencia de SO₂ se ubican en las inmediaciones de las estaciones La Greda, Los Maitenes, y Quintero AES. Los niveles detectados excedieron el valor de AEGL-2 de 0,75 ppm = 1,95 mg/m³ considerado discapacitante para la población general, incluyendo receptores susceptibles tales como niños de corta edad, los ancianos, personas con asma, y personas con enfermedades. La concentración mayor de SO₂ fue de 5,91 mg/m³, el 19 septiembre 2012, detectada en la estación Los Maitenes.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



El asma bronquial aparece como causa de muerte en alrededor de 200 a 250 casos por año en Chile, las cuales también se concentran en los grupos de mayor edad, aunque no tan marcadamente como las por limitación crónica de flujo aéreo.

7.1.7 Conclusiones parciales sobre dióxido de azufre.

La modelación de la dispersión de dióxido de azufre demuestra que los aportes de las fuentes puntuales de las empresas Aga, Gasmar y Oxiquim es prácticamente despreciable en comparación con el resto de las fuentes. En el sector de Concón, la refinería de ENAP contribuye a la presencia de SO₂ en la comuna. Sin embargo, los mayores aportes provienen indiscutiblemente de las fuentes areales y puntuales de Codelco Ventanas, del Puerto de Ventanas y de AES Gener.

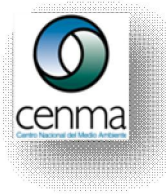
La influencia de niveles intermedios de dióxido de azufre (en el orden de 500 µg/m³; o sea, en niveles próximos al valor AEGL-1 descrito como la concentración que provoca molestia en la población y efectos pasajeros; o sea, perceptibles) se mantiene fundamentalmente sobre la bahía durante las horas de la noche pero durante el día, se desplaza sobre la comuna de Puchuncaví, llegando incluso a la comuna de Quintero en algunas condiciones de viento favorables para ello. El sector de La Greda recibe la influencia sostenida de las mayores concentraciones modeladas de dióxido de azufre.

Del mismo modo, la modelación evidenció que las estaciones que monitorean SO₂ en el sector, no siempre coinciden con el área de influencia de la pluma de dispersión por lo que, eventualmente, puede que no registren las concentraciones existentes y, para el caso de los eventos de alta concentración de SO₂, puede ser que los registren de manera parcial o incompleta.

La modelación de algunos de los eventos de altas concentraciones registrados en la zona entre enero y junio de 2012, permite ratificar la importancia de las condiciones meteorológicas para el manejo de estos eventos. La modelación está realizada considerando las condiciones normales de emisión y revisando las condiciones meteorológicas en días específicos. Por consiguiente, esta modelación describe la trayectoria de los contaminantes, no necesariamente, las condiciones de emisión que originaron uno u otro episodio.

Las concentraciones medidas en las estaciones existentes en la zona y en las estaciones Cenma, respecto de las normas primaria y secundaria de calidad para SO₂, indican que ninguna estación se encuentra en condiciones de latencia, lo que puede estar influenciado por la ubicación relativa de las mismas, como se indicó anteriormente.

Las concentraciones absolutas de SO₂ medidas en la Nueva Escuela La Greda son relativamente bajas pero destaca que existen concentraciones medibles durante todo el día, por lo que esta zona no puede considerarse como libre de la



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



influencia de estas emisiones gaseosas provenientes del complejo industrial, aunque los niveles son menores que los existentes en el sector donde se ubicaba la antigua escuela.

En repetidas ocasiones durante el año 2012, se superaron valores de alerta de tipo AEGL-2, tanto en las estaciones Cenma como en las estaciones de la red existente en la zona.

Los receptores humanos de la zona de estudio, se encuentran expuestos a relativamente altas concentraciones, de corta duración (exposición aguda), que puede afectar su salud con el incremento de enfermedades respiratorias.

7.1.8.- Propuesta de medidas de gestión respecto del dióxido de azufre.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se proponen las siguientes medidas para la gestión ambiental tendiente a disminuir la exposición aguda a SO₂ de los receptores humanos de la zona de estudio, las que se agrupan por tipos genéricos para su mejor formulación:

8. **RESPECTO DE LA RED DE ESTACIONES DE MEDICION DE CALIDAD DE AIRE:** Se valora positivamente la cantidad de estaciones que existen en la zona. Sin embargo, se proponen las siguientes mejoras:
 - **Instalar nuevas estaciones adicionales** a las existentes, **deseablemente** operadas por entidades públicas. La cantidad y ubicación de dichas estaciones deberá estudiarse en función de la factibilidad técnica y logística de su instalación. Como recomendación inicial, se propone al menos instalar nuevas estaciones en el sector de la Nueva Escuela de La Greda y en el sector de Horcón.
 - Implementar la **obtención de datos de concentración de SO₂ con resolución de 1 minuto** que permita detectar eventos de corta duración y alta concentración como los que son habituales en la zona.
 - Realizar **auditorías externas documentadas** a las estaciones de monitoreo verificando sus calibraciones y operación
9. **RESPECTO DE LOS EVENTOS DE ALTAS CONCENTRACIONES DE SO₂ Y CORTA DURACION:** En la zona se producen eventos de altas concentraciones de SO₂, de corta duración, provenientes de la actividad industrial y con fuerte incidencia de las condiciones meteorológicas, que cambian bruscamente en la zona. En estas condiciones, se recomienda avanzar en la modelación de estos eventos para utilizar esta herramienta con carácter predictivo y anticipativo, de manera de mejorar la gestión de estos eventos, con relación a la operación de las empresas industriales coordinada por las condiciones meteorológicas y con la supervisión de la

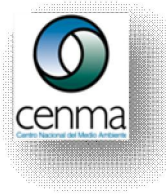


INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



autoridad competente. Este sistema supone una cooperación público-privada, con avance tecnológico que tienda a disminuir la frecuencia de eventos de altas concentraciones de SO₂ y corta duración.

10. **RESPECTO DE LA NORMATIVA:** La existencia de normativa de calidad primaria y secundaria para SO₂, ha permitido generar una cantidad importante de mediciones. Sin embargo, al presente se recomienda avanzar en la revisión de la normativa existente, especialmente en los aspectos relacionados con la frecuencia de obtención de los valores y su evaluación estadística.
11. **RESPECTO DE LA CAPACITACION AMBIENTAL DEL PERSONAL:** Considerando las condiciones de la zona respecto de los niveles de SO₂, es posible recomendar la capacitación especializada en este tema, para residentes en la zona, autoridades locales, profesores, dirigentes vecinales, operarios industriales y otros.
12. **RESPECTO DE LOS PLANES DE EVACUACION EN SITUACIONES DE EMERGENCIA POR SO₂:** Se deben revisar los planes de evacuación en situaciones de emergencia por SO₂, considerando la extensión del área de influencia de las concentraciones de este gas en todo el sector.
13. **RESPECTO DEL AISLAMIENTO DE LOS RECEPTORES DE LA INFLUENCIA DEL SO₂:** Es innegable que existen concentraciones de SO₂ que afectan a la población de la zona, de todas las comunas, aunque con mayor grado en Puchuncaví y Quintero, seguidos por Concón. Por consiguiente, se propone avanzar en la formulación de alternativas tecnológicas que mejoren el aislamiento de las viviendas e instalaciones públicas como colegios, jardines infantiles e instituciones de salud, a través de sistemas que permitan captar los contenidos de SO₂ atmosférico, retenerlos y disminuir su interacción intradomiciliaria con los receptores humanos. Esta solución puede constituir un desafío tecnológico importante considerando la reactividad del SO₂. Por lo que se propone generar un Fondo de Innovación que licite a concurso las mejores alternativas para la “Mitigación de los efectos del SO₂ sobre las personas y las plantas”.
14. **RESPECTO DE LA EXPOSICION LABORAL:** Si bien este estudio, no consideró la exposición laboral de manera explícita para ninguno de los contaminantes, es recomendable que se revisen, mejoren y/o implementen protocolos tendientes a proteger a los trabajadores de las distintas fuentes de las emisiones de SO₂.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.2.- BENCENO, TOLUENO, ETILBENCENO, XILENOS (BTEX).

7.2.1- Antecedentes generales de la presencia de BTEX en la zona de estudio.

Se conoce por la denominación BTEX a los siguientes compuestos orgánicos volátiles: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (o-, p-, m-xilenos). Todos son compuestos con amplio uso industrial y doméstico, con propiedades cancerígenas algunos de ellos, que producen efectos acumulativos como se verá en el desarrollo de este informe, para los que no existe registro de mediciones previas en la zona de estudio ni tampoco normativa nacional aplicable. Por consiguiente, este estudio es el primer esfuerzo sistemático en esta dirección y sus resultados deberán tomarse como el primer aporte sistemático al tema.

7.2.2.- Mediciones en estaciones CENMA. Diseño del muestreo.

El diseño del muestreo consideró el uso de muestreadores de tipo tubos pasivos de tipo ORSA% ubicados en 20 estaciones, distribuidas de manera relativamente homogénea entre las tres comunas de la zona de estudios, como se describe en el capítulo 10 de este informe.

Los tubos pasivos de tipo ORSA5 están formados por un tubo de vidrio, relleno de carbón activado, con extremos abiertos para permitir el paso del aire (figura 7.1). Además, tienen una barrera de acetato de celulosa que permite la difusión del aire al interior del mismo. De este modo, el aire entra y sale del tubo mientras que los compuestos de interés quedan absorbidos en el carbón activado.

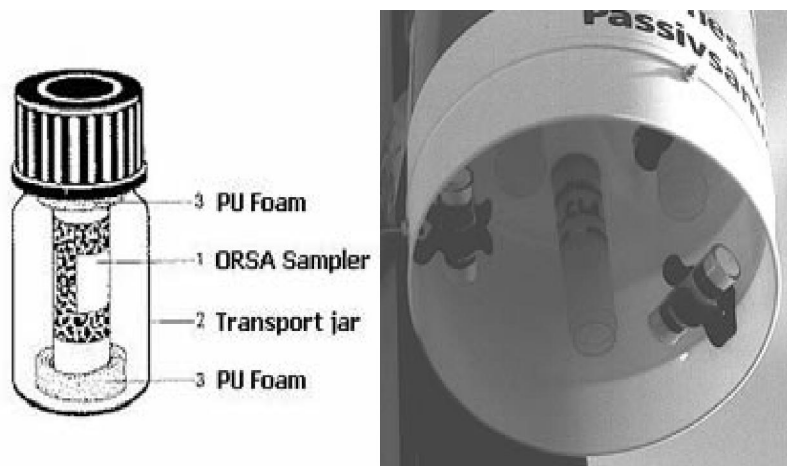


Figura 7.30. Representación esquemática de tubos pasivos utilizados para la toma de muestra de BTEX.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Los tubos son transportados en un recipiente contenedor y fijados mediante ganchos plásticos, con una capucha plástica que los protege de daños externos durante el período de exposición. Como se ilustra en la figura 7.30, en cada punto en cada período de obtención de muestras se colocaron dos tubos que funcionan como duplicados de terreno.

7.2.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.

En la zona de estudio existen dos redes de monitoreo de calidad de aire, las que miden concentraciones de contaminantes, conjuntamente con variables asociadas al viento como su dirección e intensidad, humedad relativa y temperatura. En la zona industrial de Ventanas operan seis estaciones de monitoreo pertenecientes entre las empresas Codelco y Aes Gener (Estación La Greda, Estación Los Maitenes (en línea), Estación Puchuncaví (en línea), Estación Quintero AES, Estación Sur y Estación Valle Alegre).

La comuna de Concón cuenta con cinco estaciones de medición, red de monitoreo perteneciente a ENAP: Colmo, Concón sur, Concón Urbana Fija, Junta de Vecinos y Las Gaviotas.

La estación GNL Quintero es de propiedad de la empresa GNL y está situada en la comuna de Quintero.

La localización de puntos de monitoreo tuvo como objetivo principal obtener información para la evaluación de la exposición ambiental a contaminantes. Por una parte, la posición de la red existente fue definida por la autoridad a través de estudios preexistentes (resoluciones de calificación ambiental aprobadas). Por otra parte, la localización de la red CENMA se decidió principalmente por su representación poblacional y por la necesidad de tener una base de datos que permita comparar la exposición futura de estudiantes en la Nueva Escuela La Greda, además de todos los criterios técnicos propios de las estaciones de calidad del aire.

La ubicación también consideró aspectos como el suministro de energía para el buen funcionamiento de las estaciones. Los criterios seguidos para la definición de los lugares de muestreo, fueron:

- Mediciones en lugares no cubiertos por las estaciones de monitoreo históricas instaladas en la región, según requerimiento de las Bases Técnicas de Licitación.
- Priorizar por zonas con población expuesta a emisiones de las principales fuentes contaminantes en Concón y Puchuncaví.
- Cumplir los criterios de representatividad poblacional, es decir el D.S.59/1998 que incluye:



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



- Presencia de al menos un área edificada habitada en un círculo de radio de 2 km, contados desde la ubicación de la estación.
 - Ubicada a más de 15m de la calle o avenida más cercana.
 - Ubicada a más de 50m de la calle o avenida que tenga un flujo igual o superior a 2.500 vehículos/día.
 - Ubicada a más de 50m de la salida de un sistema de calefacción o de otras fuentes fijas similares.
- Cumplir los criterios de representatividad poblacional para MP2,5 establecidos en el D.S. 12/2011 que incluyen considerar la población expuesta en la zona urbana, presencia de desarrollos industriales significativos que produzcan un impacto por emisiones de Material Particulado MP2,5 y volumen del parque automotor.
 - Considerar la cercanía a grupos poblacionales, priorizando sectores residenciales, que permita estimar la estimación que puede sufrir la población residente (excepto los puntos destinados para evaluar la exposición que reciben la vegetación y los pastizales).
 - Ubicación de fuentes emisoras y dirección predominante de los vientos.
 - Complementar información asociada a lugares donde existen mediciones históricas de la calidad del aire.

Además de las consideraciones generales descritas, para el caso del BTEX se siguieron los siguientes criterios adicionales:

- Incorporar muestreo de BTEX en los sectores donde existe monitoreo continuo de otros contaminantes.
- El lugar de ubicación del colector debe tener buena exposición y ausencia de obstáculos que puedan alterar la representatividad de las mediciones.

7.2.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.

Los tubos pasivos fueron cambiados cada 14 días entre el 10 de Mayo y el 6 de Diciembre de 2012. Las operaciones de cambio de tubos fueron realizadas por personal capacitado de CENMA.

A continuación se presenta una representación gráfica de las fechas en que fueron expuestos cada una de las parejas de tubos pasivos para la obtención de muestras de BTEX y los correspondientes informes de análisis (contenidos en **Anexo 5**) donde se reportan los valores de concentración respectivos.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 7.7.- Representación esquemática de las fechas de comienzo y fin de exposición de los tubos pasivos para obtención de muestras de BTEX con los respectivos informes de análisis.

Id.	INFORME DE RESULTADOS	Comienzo exposición tubo pasivo	Fin exposición tubo pasivo	may 2012		jun 2012			jul 2012			ago 2012			sep 2012			oct 2012			nov 2012			dic 2012		
				05	13	20	27	04	11	18	25	02	09	16	23	30	07	14	21	28	05	12	19	26	03	10
1	Inf207-2012	10-05-2012	24-05-2012	█																						
2	Inf249-2012	24-05-2012	07-06-2012		█																					
3	Inf244-2012	07-06-2012	21-06-2012			█																				
4	Inf305-2012	21-06-2012	05-07-2012				█																			
5	Inf306-2012	05-07-2012	19-07-2012					█																		
6	Inf307-2012	19-07-2012	02-08-2012						█																	
7	Inf341-2012	02-08-2012	16-08-2012							█																
8	Inf342-2012	16-08-2012	30-08-2012								█															
9	Inf367-2012	30-08-2012	13-09-2012									█														
10	Inf368-2012	13-09-2012	27-09-2012										█													
11	Inf012-2013	27-09-2012	11-10-2012											█												
12	Inf077-01-2013/AG-071	11-10-2012	25-10-2012												█											
13	Inf078-01-2013/AG-072	25-10-2012	08-11-2012													█										
14	Inf079-01-2013/AG-073	08-11-2012	22-11-2012														█									
15	Inf080-01-2013/AG-074	22-11-2012	06-12-2012															█								

7.2.3- Análisis químico

En terreno, durante la exposición de los tubos al aire, los analitos orgánicos de interés, benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos (BTEX) se absorben en el carbón activado. Terminado el proceso de exposición se taparon y cerraron en los envases para el transporte. Se llevaron al Laboratorio de Química Ambiental de CENMA donde fueron identificados y preparados para la externalización hasta el Laboratorio Passam en Suiza.

Al momento del análisis, los analitos se desorben cuantitativamente con bisulfuro de carbono para proceder a su cuantificación por cromatografía de gases, lo que fue llevado a cabo por los profesionales del laboratorio suizo Passam.

Según las recomendaciones del fabricante, este tipo de tubos pasivos puede almacenarse por 24 meses antes de ser usados, y por 6 meses una vez que los BTEX han sido absorbidos en el mismo. El muestreo se puede realizar entre 2 a 4 semanas y el intervalo de trabajo es de 0,5 - 50 µg/m³. El límite de detección es de 0,2 µg/m³ para un período de muestreo de 1 mes.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Para el presente proyecto, el límite de detección fue ajustado a $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de muestreo de 14 días (336 días de contacto entre los tubos y el aire, como promedio). Los tubos duplicados colocados en cada estación se analizaron como muestras independientes y sus resultados fueron promediados.

7.2.4- Resultados

La totalidad de los resultados analíticos se presentan en el **Anexo 5**. A continuación se presentan los valores promedio de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de cada uno de los BTEX en las distintas estaciones así como los valores máximo, mínimo y promedio por comuna.

Tabla 7.8.- Valores de concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones de la comuna de Puchuncaví.

Estación	Comuna	Concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos ³
Hogar de Ancianos	Puchuncaví	1,7	7,6	2,1	6,9
La Greda	Puchuncaví	1,7	7,4	2,2	7,8
Los Maitenes	Puchuncaví	1,1	7,7	2,8	10,8
Horcón	Puchuncaví	1,5	9,2	2,3	5,6
Consultorio Puchuncaví	Puchuncaví	2,3	10,7	3,3	8,2
Interior-Puchuncaví	Puchuncaví	1,2	7,5	1,9	4,3
Mínimo		1,09	7,45	1,90	4,30
Máximo		2,35	10,66	3,27	10,80
Promedio		1,59	8,34	2,45	7,26

³ La concentración de xilenos corresponde a la suma de las concentraciones de los isómeros orto, meta y para xileno.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 7.9.- Valores de concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones de la comuna de Quintero.

Estación	Comuna	Concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos
Sur	Quintero	1,2	6,0	1,7	6,0
Valle Alegre	Quintero	1,2	5,4	1,5	5,3
Loncura	Quintero	1,4	5,0	1,4	3,4
Quintero-AES	Quintero	1,6	8,6	2,4	6,3
Quintero-GNL	Quintero	1,9	8,5	2,1	5,4
Mantagua	Quintero	1,7	9,6	2,7	6,8
Champiñon	Quintero	2,3	10,2	3,3	7,5
Mínimo		1,17	5,04	1,37	3,44
Máximo		2,30	10,15	3,29	7,45
Promedio		1,60	7,61	2,14	5,81

Tabla 7.10.- Valores de concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones de la comuna de Concón.

Estación	Comuna	Concentración de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos
Consultorio Concón	Concón	2,6	11,4	3,0	11,1
Junta de Vecinos	Concón	1,8	6,1	1,6	5,8
Las Gaviotas	Concón	1,4	6,3	1,7	6,3
Colmo	Concón	2,1	8,3	2,5	9,4
Interior-Concón	Concón	1,8	7,2	2,1	5,5
Cementerio	Concón	1,5	9,1	4,6	6,6
Caleta-Concón	Concón	2,2	14,5	3,8	7,8
Mínimo		1,40	6,08	1,57	5,46
Máximo		2,61	14,50	4,57	11,08
Promedio		1,93	8,98	2,74	7,48

Respecto de estos valores, destaca que se encontraron valores detectables de BTEX en todas las estaciones. Las concentraciones promedio por comunas siguen el orden Concón>Puchuncaví>Quintero para tolueno, etilbenceno y xilenos. Esto



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi”.



puede estar relacionado con las industrias de tipo petroquímico que existen en Concón.

En la figura 7.31 se presenta un gráfico resumen de las concentraciones por comuna.

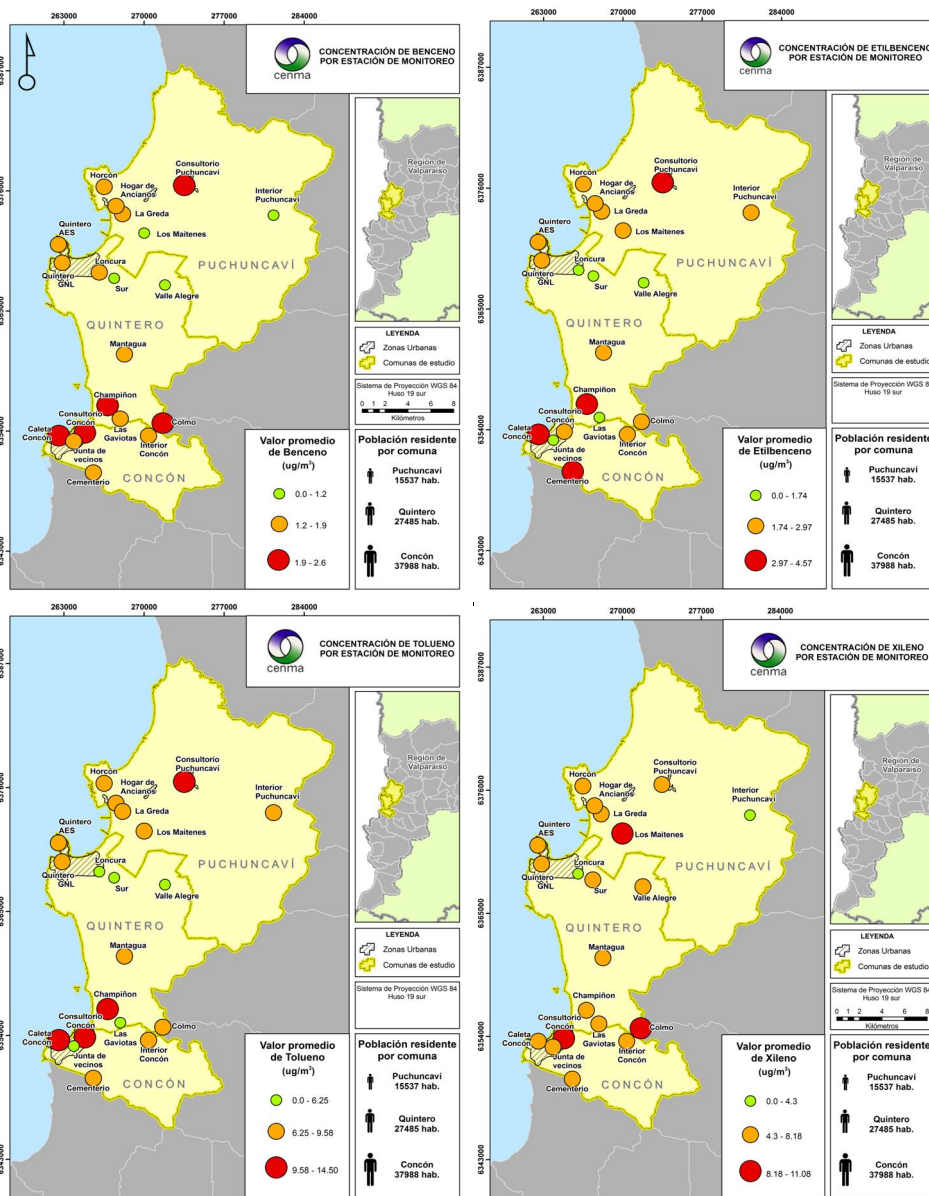


Figura 7.31 Representación de los contenidos promedio de BTEX (en ug/m³) para las estaciones de muestreo en la zona de estudio.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

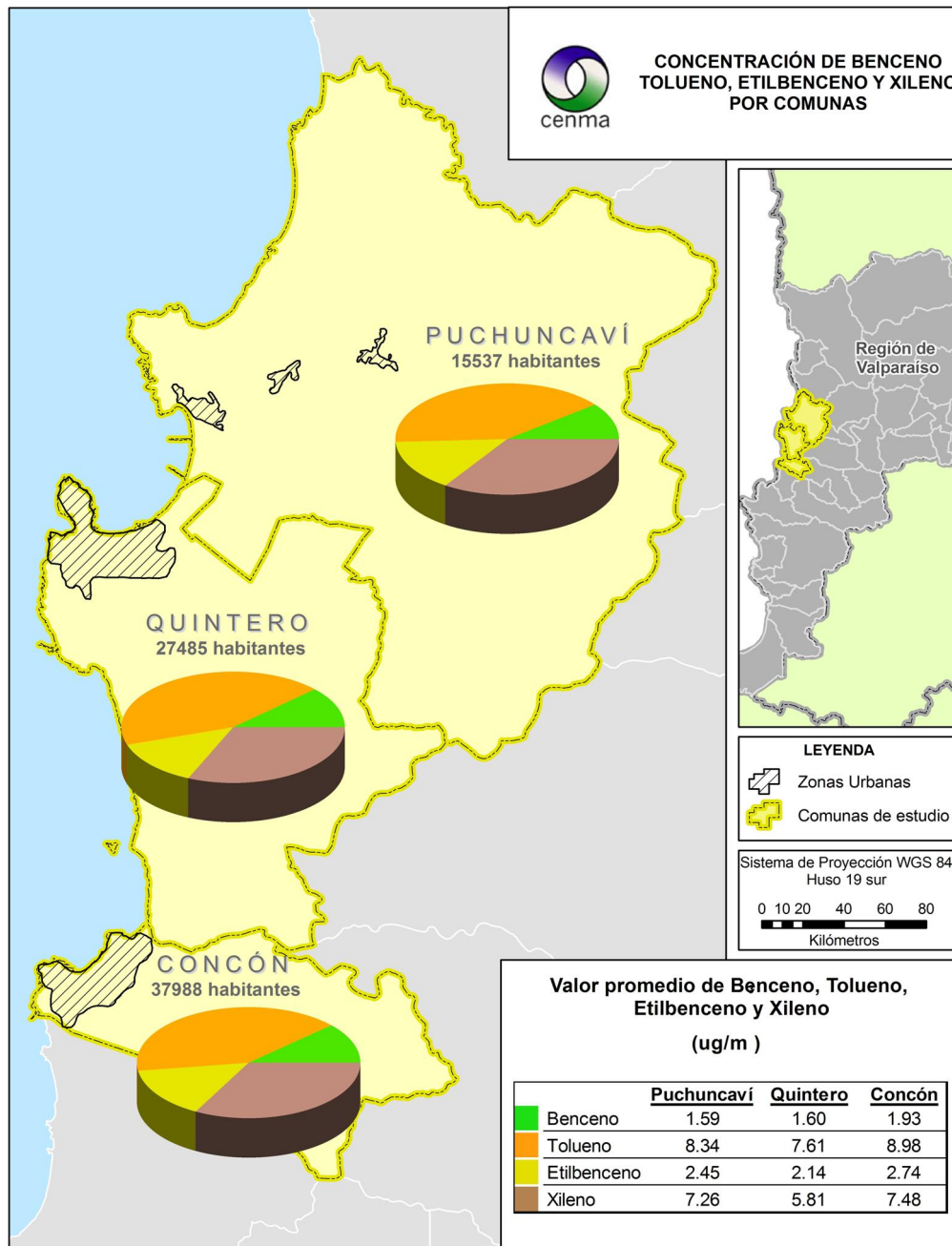


Figura 7.32 Representación de los contenidos promedio de BTEX (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las comunas de la zona de estudio.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.2.5.- Selección de contaminantes de interés

7.2.5.1 Contaminantes positivamente identificados.

En base a que todos los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) fueron positivamente identificados, los cuatro pueden considerarse como contaminantes de interés para evaluar la exposición.

7.2.5.2 Perfil de toxicidad.

7.2.5.2.1 Benceno

Benceno es un líquido incoloro de olor dulce, inflamable, con un olor a gasolina que volatiliza fácilmente, y se disuelve en agua.

Las principales fuentes de benceno en el medio ambiente son los procesos industriales y en el escape de los vehículos. El benceno se recupera comercialmente del carbón y petróleo. El benceno es un intermediario usado en la producción de solventes, plásticos, resinas, y varios tipos de gomas, drogas y pesticidas. Productos tales como cemento para alfombrado, alfombrado texturizado, detergente líquido, y ceras para muebles, emiten vapores de benceno. Benceno es una parte natural del petróleo crudo, gasolina (1% a 2% benceno), y humo de cigarrillo.

El benceno puede volatilizarse al aire desde suelos y agua. Puede sufrir degradación en aire dentro de unos pocos días, mientras que en agua y suelos se degrada más lentamente. Puede lixiviar fácilmente en el suelo hasta las aguas subterráneas. El benceno no se bioacumula en plantas o animales.

El benceno se encuentra a menudo en el aire ambiental como resultado de emisiones de la combustión del carbón y petróleo, vapores de gasolina en las estaciones de servicio, en las emisiones de vehículos, humo de los cigarrillos, estufas a leña, y algunos adhesivos. Se encuentra presente significativamente más alto al interior de hogares donde la gente fuma que en casas de no fumadores y en casas con los garajes unidos a las casas, lo que puede resultar en mayor exposición en niños. El benceno es capaz de migrar por el subsuelo y penetrar los cimientos de las casas para entrar a los subterráneos o espacios habitables y contribuir a las concentraciones del aire interior. También puede volatilizar al aire de interiores desde aguas subterráneas contaminadas y durante el uso de agua contaminada (p.ej., durante la ducha, lavado de loza, lavado de ropa). La contaminación de aguas subterráneas puede ocurrir debido a fugas en los tanques de almacenaje subterráneos.

El benceno no sufre partición o acumulación significativa en suelos y sedimentos. En el suelo superficial puede ser detectable en lugares donde ha ocurrido un



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



derrame accidental de gasolina o petróleo. Típicamente no se encuentra en alimentos.

El benceno es un agente cancerígeno que afecta al sistema hematopoyético (formación de células sanguíneas), con disminución del conteo linfocitario. En adultos hay una clara evidencia de asociación causal entre exposición al benceno y ciertas leucemias sin embargo la posible asociación entre exposición en niños y cáncer es equívoca. Mujeres embarazadas y niños de corta edad son vulnerables al benceno al interior de los hogares. Exposición al benceno está asociada con dificultades respiratorias en niños incluyendo bronquitis, asma, y jadeo con silbido. El benceno atraviesa la placenta y llega a la sangre fetal. También se ha detectado en la leche materna. Estudios han mostrado resultados inconclusos respecto a abortos y peso fetal. Exposición maternal prenatal ha sido asociada con cáncer hematológico. Leucemia no linfocítica ha sido asociada con exposición ocupacional maternal durante el embarazo.

En niños viviendo cerca de centros petroquímicos con altas concentraciones de benceno en aire, se encontraron cambios en los tipos de células sanguíneas. Dificultades respiratorias están asociadas con exposición al benceno, tales como aumento de bronquitis obstructiva, asma, y jadeo con silbido.

El efecto crítico no cancerígeno usado para derivar el U.S.EPA DRf y CRf (RfD, RfC) fue los efectos del benceno en las células hematopoyéticas. Exposición aguda al benceno puede resultar en irritación o ardor de los ojos y la piel, mareo, náusea, vómito y sofocación.

La USEPA clasifica al benceno como cancerígeno humano, causando leucemia aguda no linfocitaria (ANLL), leucemia crónica no linfocitaria (CNLL) y leucemia crónica linfocitaria (CLL). Otras condiciones neoplásicas asociadas con un aumento de riesgo en humanos son neoplasmas hematológicos, desórdenes sanguíneos tales como preleucemia y anemia aplásica, linfoma de Hodgkin, y síndrome mielodisplástico (MDS).

La World Health Organization- International Agency for Research on Cancer (WHO-IARC) ha clasificado al benceno como Grupo 1, un cancerígeno humano, pero con limitada evidencia en animales.

El ácido s-fenilmercaptúrico (PMA) en orina es un reconocido biomarcador en adultos, pero no ha sido estudiado suficientemente en niños.

Valores de referencia de toxicidad

U.S. EPA Dosis de Referencia (RfD) para exposición crónica oral es $4 \cdot 10^{-3}$ mg/kg-d, basado en disminución del conteo de linfocitos en humanos adulto (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



U.S. EPA Factor de Potencia Cancerígena Oral es $1,5 \cdot 10^{-2}$ a $5,5 \cdot 10^{-2}$ (mg/kg·day)¹, basado en aumento de riesgo de leucemia en adultos. (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).

U.S. EPA Unidad de Riesgo Cancerígeno en Agua Potable es $4,4 \cdot 10^{-7}$ a $1,6 \cdot 10^{-6}$ mg/L, derivado por el método de extrapolación usando extrapolación lineal de datos ocupacionales en adulto humano (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).

U.S. EPA Concentración de Referencia (Reference Concentration, RfC) para Exposición por Inhalación Crónica (CRf_{inh}) es $3 \cdot 10^{-2}$ mg/m³, basado en conteo linfocitario disminuido en adultos humanos (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).

U.S. EPA Riesgo Cancerígeno por Exposición a Unidad de Riesgo Aéreo: el aumento en el riesgo de por vida de un individuo que está expuesto de por vida a 1 µg/m³ benceno en aire es igual a un rango entre $2,2 \cdot 10^{-6}$ y $7,8 \cdot 10^{-6}$ valor derivado utilizando método de extrapolación lineal a dosis bajas usando estimación de probabilidad máxima (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).

U.S. EPA Concentraciones en Aire a Niveles Específicos de Riesgo Cancerígeno: 13,0-45,0 µg/m³ para $1 \cdot 10^{-4}$; 1,3-4,5 µg/m³ para $1 \cdot 10^{-5}$; 0,13-0,45 µg/m³ para $1 \cdot 10^{-6}$ (<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>).

7.2.5.2.2 Tolueno

El tolueno (**CAS 108-88-3**) es un componente de la gasolina, y usado para producir benceno.

Las emisiones desde automóviles constituyen el principal aporte de tolueno al medio ambiente. También puede ser liberado al aire durante la producción, uso, y desecho de productos para el consumidor que contienen tolueno.

El mayor uso del tolueno es como mezcla agregada a la gasolina para mejorar el octanaje. También se usa como solvente en pinturas, recubrimientos, fragancias sintéticas, adhesivos, tintas y agentes de limpieza. Esto ocurre en lugares de trabajo tales como taller de impresión o pintura. La concentración más alta de tolueno generalmente ocurre en el aire interior debido al uso de productos comerciales comunes (pinturas, diluyentes, adhesivos, fragancias sintéticas, y esmalte de uñas) y consumo de tabaco

El tolueno también se usa en la producción de polímeros usados en la fabricación de nylon, botellas plásticas de bebidas de soda, y poliuretanos y en la manufactura de productos farmacéuticos, colorantes, productos cosméticos, y en la síntesis de compuestos orgánicos.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La exposición al tolueno puede ocurrir al respirar aire ambiental o aire de interior de viviendas afectadas por tal fuente. El sistema nervioso central (SNC) es el órgano blanco principal de la toxicidad del tolueno tanto en humanos como animales para las exposiciones breves agudas como prolongadas crónicas. En humanos se observa frecuentemente una disfunción del SNC y narcosis en humanos expuestos agudamente a concentraciones elevadas de tolueno; los síntomas incluyen fatiga, somnolencia, dolor de cabeza, y náusea. La depresión del SNC ha sido reportado que ocurre en usuarios que abusan de la exposición a altos niveles de tolueno.

USEPA ha determinado que no hay información adecuada para evaluar el potencial cancerígeno del tolueno.

Los niveles de tolueno medidos en aire urbano, rural, y al interior de las casas promedia 1,3, 10,8 y 31,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

El SNC es el órgano blanco primario en humanos y animales. En humanos expuestos agudamente por inhalación a niveles de tolueno bajo o moderado se ha observado función anormal del SNC (a menudo reversible) y narcosis; los síntomas incluyen fatiga, somnolencia, dolor de cabeza, y náuseas. También se ha reportado arritmia cardíaca. A niveles de exposición mayor ha ocurrido depresión del SNC y muerte.

Ingestión de tolueno puede provocar depresión del SNC y muerte. También se observó constricción y necrosis de las fibras del miocardio, dilatación hepática, congestión y hemorragia de los pulmones, y necrosis tubular renal.

Se puede detectar tolueno y productos del metabolismo en la sangre u orina para determinar si ha ocurrido exposición. Los metabolitos detectados en la orina no son específicos del tolueno, y los ensayos deben ser realizados dentro de las 12 horas de exposición.

En adictos expuestos crónicamente a altos niveles de tolueno se ha observado depresión del SNC. Los síntomas incluyen somnolencia, ataxia, temblores, atrofia cerebral, nistagmos (movimiento involuntario de los ojos), y habla, audición y visión deteriorada. También se ha observado efectos moderados en los riñones e hígado, pero la exposición fue probablemente a varios solventes.

En empleados expuestos ocupacionalmente se han observado efectos neuro-conductuales.

Exposición crónica por inhalación en humanos causa irritación del tracto respiratorio superior y ojos, dolor en la garganta, desvanecimiento, y dolor de cabeza.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



En niños de madres expuestas por inhalación a tolueno o mezcla de solventes por adicción a éstos, se han observado efectos en el desarrollo tales como función anormal del SNC, déficit de atención, y anomalías menores del cráneo-facial y extremidades. También se han observado retardo del crecimiento y dismorfismo (anormalidad de la forma) en niños de menor edad. Niños nacidos de adictos a tolueno muestran acidosis renal tubular temporal.

En casos en que el padre estuvo expuesto ocupacionalmente al tolueno (sin exposición de la madre), hubo un aumento en la razón de probabilidades (*odds ratio* en inglés) para abortos espontáneos; los resultados no son concluyentes debido al número de casos limitado y a los factores de confusión (confounding variables).

Criterios de toxicidad. La Concentración de Referencia por inhalación (**RfC**) es **5 mg/m³** basado en efectos neurológicos en humanos.

La Dosis de referencia (**RfD**) para el tolueno es **0,08 mg/kg_{bw}·día**, y se basa en un aumento de peso de los riñones en ratas

De acuerdo con la U.S EPA, no hay evidencia suficientemente probada de que el tolueno sea cancerígeno.

7.2.5.2.3 Etilbenceno http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts110.pdf

El etilbenceno (CAS # 100-41-4) es un líquido incoloro, inflamable, con olor similar a la gasolina.

Se encuentra en forma natural en el alquitrán y el petróleo, y también en productos manufacturados tales como tinturas, plaguicidas y pinturas.

El etilbenceno se usa principalmente para fabricar otra sustancia química, el estireno. Otros usos del etilbenceno incluyen solvente, en combustibles y para fabricar otras sustancias químicas.

El etilbenceno se moviliza fácilmente desde el agua y el suelo al aire. Se demora aproximadamente 3 días en degradarse a otras sustancias en el aire. En el agua de superficie, el etilbenceno se degrada al Agencia para Sustancias Tóxicas y reaccionar con otras sustancias químicas que ocurren naturalmente en el agua. El etilbenceno puede moverse al agua subterránea a través del suelo. En el suelo es degradado por bacterias.

La exposición breve a niveles altos de etilbenceno en el aire puede producir irritación de los ojos y la garganta. La exposición a niveles más altos puede producir mareo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



En animales, la exposición a concentraciones relativamente bajas de etilbenceno durante varios días o semanas produjo daño potencialmente irreversible del oído interno y de la audición.

En animales, la exposición a concentraciones relativamente bajas de etilbenceno durante meses o años produjo daño de riñones.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que el etilbenceno es posiblemente carcinogénico en seres humanos. No hay estudios que hayan evaluado los efectos de la exposición de niños o de animales inmaduros al etilbenceno.

Es probable que los niños sufran los mismos efectos que se han observado en adultos.

No se sabe si los niños son más sensibles que los adultos a los efectos del etilbenceno.

No se sabe si el etilbenceno causa defectos de nacimiento en seres humanos. Defectos de nacimiento sin mayor consecuencia y bajo peso de nacimiento han ocurrido en crías de animales cuyas madres fueron expuestas a aire contaminado con etilbenceno durante la preñez.

La USEPA ha determinado que es improbable que la exposición al etilbenceno en el agua potable en concentraciones de 30 ppm durante 1 día ó 3 ppm durante 10 días cause efectos adversos en niños.

La USEPA ha determinado que es improbable que la exposición de por vida a 0,7 ppm de etilbenceno en el agua potable cause efectos adversos.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite promedio de exposición al etilbenceno en el aire del trabajo de 100 ppm durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas semanales.

7.2.5.2.4 Xilenos http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.pdf

Hay tres formas de xileno en las que la posición de los grupos metilos en el anillo de benceno varía: meta-xileno, orto-xileno y para-xileno (m-, o- y p-xileno). Estas formas se conocen como isómeros.

El xileno es un líquido incoloro de olor dulce que se inflama fácilmente. Se encuentra naturalmente en el petróleo y en alquitrán. Las industrias químicas producen xileno a partir del petróleo. El xileno es una de las 30 sustancias químicas más producidas en los Estados Unidos en términos de volumen.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



El xileno se usa como disolvente en la imprenta y en las industrias de caucho y cuero. También se usa como agente de limpieza, diluyente de pintura y en pinturas y barnices. Pequeñas cantidades se encuentran en el combustible de aviones y en la gasolina.

El xileno se evapora rápidamente al aire desde el suelo y aguas de superficie. En el aire, es degradado a sustancias menos perjudiciales por la luz solar en unos pocos días. En el suelo y el agua es degradado por microorganismos. Una pequeña cantidad se acumula en plantas, peces, mariscos y en otros animales que viven en agua contaminada con xileno.

No se han descrito efectos nocivos causados por los niveles de xileno que ocurren normalmente en el ambiente.

La exposición a niveles altos de xileno durante períodos breves o prolongados puede producir dolores de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y alteraciones del equilibrio. La exposición breve a niveles altos de xileno también puede causar irritación de la piel, los ojos, la nariz y la garganta; dificultad para respirar; problemas pulmonares; retardo del tiempo de reacción a estímulos; alteraciones de la memoria; malestar estomacal; y posiblemente alteraciones del hígado y los riñones. La exposición a niveles muy altos de xileno puede causar pérdida del conocimiento y la muerte.

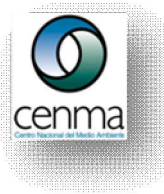
Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA han declarado que la información disponible es insuficiente para determinar si el xileno es carcinogénico.

No se han estudiado los efectos del xileno en niños, pero probablemente son similares a los observados en adultos. Aunque no hay evidencia directa, puede que los niños sean más sensibles que los adultos a la exposición breve por inhalación porque sus vías respiratorias son más estrechas y, por lo tanto, más sensibles a sustancias que reducen el diámetro interno de estas vías.

Los estudios de animales preñados demuestran que las concentraciones altas de xileno pueden causar retardo del crecimiento y desarrollo del feto y también la muerte del feto.

En muchos casos, estas concentraciones también fueron perjudiciales para las madres. No sabemos si el xileno afecta al feto en seres humanos cuando la madre se expone a concentraciones bajas durante el embarazo.

La USEPA limita la cantidad de xileno en el agua potable a 10 partes de xileno por millón de partes de agua (10 ppm).



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido un límite de 100 partes de xileno por millón de partes de aire del trabajo (100 ppm) durante una jornada diaria de 8 horas, 40 horas semanales.

7.2.5.3 Dosis de exposición crónica.

A continuación se presenta la estimación de las concentraciones de BTEX asociadas con un riesgo de minimis de 10^{-5} .

a. **Benceno.** El riesgo cancerígeno por un contaminante en gases y vapores que ingresa en la respiración se estima usando la expresión

$$RECV = C_{\text{benceno}} \cdot \frac{TE_e \cdot FE_e \cdot DE_e}{TE_t \cdot FE_t \cdot DE_t} \cdot IUR_{\text{benceno}}$$

$$C_{\text{benceno}} = \frac{RC_{\text{min}}}{IUR_{\text{benceno}}} \cdot \frac{TE_t \cdot FE_t \cdot DE_t}{TE_e \cdot FE_e \cdot DE_e}$$

donde:

C_c = Concentración de benceno en la fase gaseosa, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociado con un riesgo de minimis

TE_e = Tiempo efectivo de exposición, (24 horas/día)

FE_e = Frecuencia efectiva de exposición (365 días/año)

DE_e = Duración efectiva de la exposición (30 años)

TE_t = Tiempo total en que ocurre la exposición, (24 horas/día)

FE_t = Frecuencia en que ocurre la exposición (365 días/año)

DE_t = Duración total en que ocurre la exposición (70 años x 365 d/a = 25.550 días)

IUR = Factor cancerígeno inhalación unitario para el benceno = $7.8\text{E}-06$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹

RC_{min} = Riesgo cancerígeno de minimis = $1\text{E}-05$

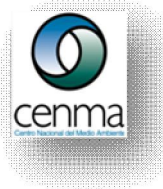
Resolviendo la ecuación anterior para C_{benceno} ,

$$C_{\text{benceno}} = \frac{(1\text{E} - 05)}{(7.8\text{E} - 06)} \cdot \frac{24 \cdot 365 \cdot (70 \times 365)}{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)}$$

$$= 3,0$$

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Este valor 3,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) es usado en este estudio como estándar de concentración atmosférica para una exposición continua por 30 años y valores de toxicidad cancerígena (IUR) y riesgo cancerígeno (RCmin) de referencia de 10^{-5} .



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



De acuerdo con los resultados individuales reportados en el **Anexo 5**, las concentraciones atmosféricas de benceno exceden el valor de referencia 3,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sólo por breves períodos, que se indican en tabla siguiente.

Tabla 7.11. Lugares representativos de concentraciones de benceno respecto al valor de referencia 3,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) estimado para un RECV Rmin 10^{-5} .

Lugar del análisis	Concentración	Duración	Tendencia durante medición
Consultorio Concón	Excede menos del doble el valor de referencia	Excede alrededor de 2 meses y medio	Disminución
Champiñón	Peak máximo el doble del valor de referencia	Un mes	Leve aumento
Hogar de Ancianos, Ventanas	Leve exceso, sin significado	Una quincena	Disminución
Junta de Vecinos de Concón	Leve exceso	Alrededor de una quincena	Disminución significativa
Consultorio Puchuncaví	Leve exceso	Alrededor de dos meses	Leve aumento
Actual Escuela La Greda	Por debajo el valor de referencia	---	Leve disminución

En todos los lugares donde el benceno atmosférico fue monitoreado, la concentración no excedió al doble del valor de referencia, y los períodos de excedencia no son estadística ni biológicamente significativos. Mediciones más significativas se pueden lograr con monitoreos más extensos en el tiempo.

b. Tolueno. Para el tolueno, la concentración de contaminante en gases y vapores que ingresan en la respiración y que está asociado con un riesgo de peligrosidad igual a 1 se estima usando la expresión

$$C_c = IP \cdot CR_f \cdot \frac{TE_t \cdot FE_t \cdot DE_t}{TE_e \cdot FE_e \cdot DE_e}$$

donde:

C_c = Concentración de benceno en la fase gaseosa, ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) asociado con un riesgo de minimis

TE_e = Tiempo efectivo de exposición, (24 horas/día)

FE_e = Frecuencia efectiva de exposición (365 días/año)

DE_e = Duración efectiva de la exposición (1 año)

TE_t = Tiempo total en que ocurre la exposición, (24 horas/día)

FE_t = Frecuencia en que ocurre la exposición (365 días/año)

DE_t = Duración en que ocurre la exposición (30 años)



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CRf = Concentración de referencia crónica para el tolueno = 5.0 (mg/m³)

IP = Cociente de Peligrosidad crónico = 1

Resolviendo la ecuación anterior para C_{tolueno},

donde

$$\begin{aligned} C_{\text{tolueno}} &= 1 \cdot 5.0 \cdot \frac{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)}{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)} \\ &= 5,0 \text{ mg/m}^3 \\ &= 5000 \text{ }\mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

El valor 5,0 mg/m³ es usado en este estudio como estándar de concentración atmosférica para una exposición continua de por lo menos 1 año (que puede alcanzar hasta 30 años) y valores de Concentración de Referencia crónica (CRf = 5,0 mg/m³) y cociente de peligrosidad (CP = 1).

De acuerdo con esta estimación y lo que se muestra en los resultados, las concentraciones atmosféricas de tolueno están muy por debajo el valor de referencia 5,0 mg/m³ = 5000 μg/m³.

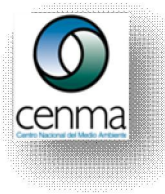
c. **Etilbenceno.** La concentración de etilbenceno que ingresa por la respiración y que está asociado con un riesgo de peligrosidad igual a 1 se estima usando la expresión siguiente, donde el valor de Concentración de Referencia crónica (CRf = 1,0 mg/m³):

$$\begin{aligned} C_{\text{etilbenceno}} &= 1 \cdot 1.0 \cdot \frac{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)}{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)} \\ &= 1,0 \text{ mg/m}^3 \\ &= 1000 \text{ }\mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

Las concentraciones de etilbenceno llegaron a un máximo de alrededor de 28 μg/m³, sin alcanzar en ningún punto de muestreo ni en ninguna muestra recolectada durante el período de estudio la concentración de etilbenceno atmosférico de referencia 1000 μg/m³.

d. **Xilenos.** La concentración de xilenos que ingresa por la respiración y que está asociado con un riesgo de peligrosidad igual a 1 se estima usando la expresión siguiente, donde el valor de Concentración de Referencia crónica (CRf = 0,1 mg/m³):

e.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



$$\begin{aligned}
 \text{Cxilenos} &= 1 \cdot 0.1 \cdot \frac{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)}{24 \cdot 365 \cdot (30 \times 365)} \\
 &= 0,1 \text{ mg/m}^3 \\
 &= 100 \text{ }\mu\text{g/m}^3
 \end{aligned}$$

Las concentraciones de m-xileno llegaron a un máximo de alrededor de 45 $\mu\text{g/m}^3$, las concentraciones de o-xileno llegaron a un máximo de alrededor de 18 $\mu\text{g/m}^3$, y las concentraciones de p-xileno llegaron a un máximo de alrededor de 21 $\mu\text{g/m}^3$, sin alcanzar en ningún punto de muestreo ni en ninguna muestra recolectada durante el período de estudio la concentración de xilenos atmosféricos de referencia 100 $\mu\text{g/m}^3$.

A continuación, en figuras resúmenes y tablas con todos los cálculos para las dosis de ingesta media diaria para BTEX por la vía de exposición de inhalación de vapores utilizando las fórmulas descritas en la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia contaminantes (2012).

Aunque los valores son menores para benceno y etilbenceno que para tolueno y xileno, en todos los casos se observa que en Concón, las dosis de ingesta promedio diaria son relativamente mayores que en el resto de las comunas, posiblemente asociado a la actividad petroquímica que se desarrolla en esta comuna. Sin embargo, estos valores no ofrecen conclusiones acerca del riesgo que estas concentraciones pudiesen representar.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

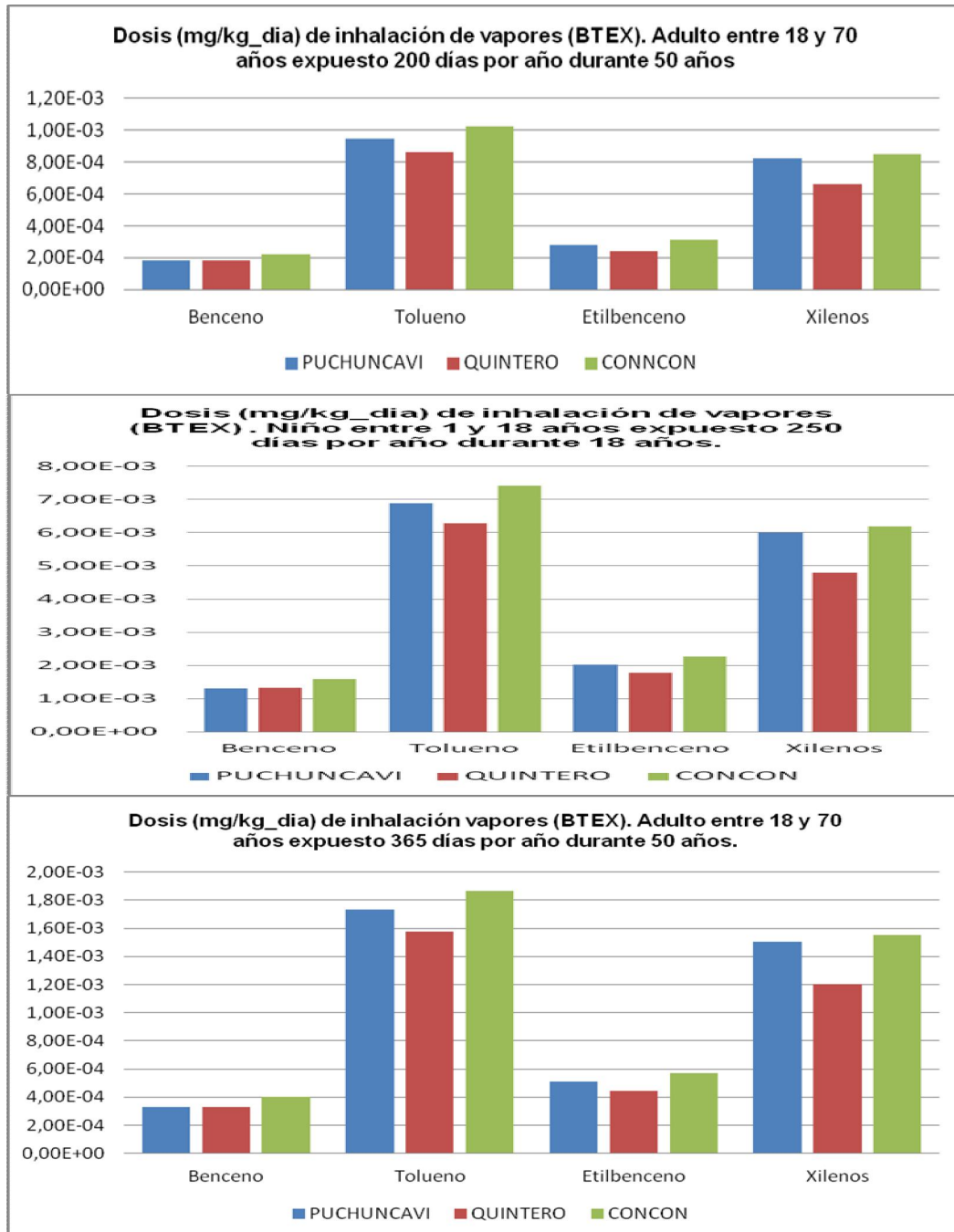


Figura 7.33- Representación de las dosis de ingesta promedio diaria para inhalación de vapores de BTEX en receptores genéricos de las tres comunas.

Tabla 7.12.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 1.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 1: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00159	0,69	10000	80	18250	1,81E-04
Tolueno	0,00834	0,69	10000	80	18250	9,48E-04
Etilbenceno	0,00245	0,69	10000	80	18250	2,79E-04
Xilenos	0,00726	0,69	10000	80	18250	8,25E-04
(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m ³ /hN						
(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight						

Tabla 7.13.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 2.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 2: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00159	0,63	4500	12,6	6570	1,31E-03
Tolueno	0,00834	0,63	4500	12,6	6570	6,89E-03
Etilbenceno	0,00245	0,63	4500	12,6	6570	2,02E-03
Xilenos	0,00726	0,63	4500	12,6	6570	6,00E-03

(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN

(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight

Tabla 7.14.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 3.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)

PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 3: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00159	0,69	18250	80	18250	3,30E-04
Tolueno	0,00834	0,69	18250	80	18250	1,73E-03
Etilbenceno	0,00245	0,69	18250	80	18250	5,08E-04
Xilenos	0,00726	0,69	18250	80	18250	1,51E-03
(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m ³ /hN						
(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight						

Tabla 7.15.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 4.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)
QUINTERO
ESCENARIO 4: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años

	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	m ³ /h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00160	0,69	10000	80	18250	1,82E-04
Tolueno	0,00761	0,69	10000	80	18250	8,65E-04
Etilbenceno	0,00214	0,69	10000	80	18250	2,43E-04
Xilenos	0,00581	0,69	10000	80	18250	6,61E-04

(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN

(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight

Tabla 7.16.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 5.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
QUINTERO						
ESCENARIO 5: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)

	AIRE (1)		días	kg	días	mg/kg_día
	mg/m³N	m³/h N				
Benceno	0,00160	0,63	4500	12,6	6570	1,32E-03
Tolueno	0,00761	0,63	4500	12,6	6570	6,29E-03
Etilbenceno	0,00214	0,63	4500	12,6	6570	1,77E-03
Xilenos	0,00581	0,63	4500	12,6	6570	4,80E-03

(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN

(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight

Tabla 7.17.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 6.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
QUINTERO						
ESCENARIO 6: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día

Benceno	0,00160	0,69	18250	80	18250	3,32E-04
Tolueno	0,00761	0,69	18250	80	18250	1,58E-03
Etilbenceno	0,00214	0,69	18250	80	18250	4,44E-04
Xilenos	0,00581	0,69	18250	80	18250	1,21E-03
(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m ³ /hN						
(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight						

Tabla 7.18.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 7.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
CONCON						
ESCENARIO 7: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00193	0,69	10000	80	18250	2,19E-04
Tolueno	0,00898	0,69	10000	80	18250	1,02E-03



Etilbenceno	0,00274	0,69	10000	80	18250	3,12E-04
Xilenos	0,00748	0,69	10000	80	18250	8,50E-04
(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m ³ /hN						
(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight						

Tabla 7.19.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 8.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
CONCON						
ESCENARIO 8: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00193	0,63	4500	12,6	6570	1,59E-03
Tolueno	0,00898	0,63	4500	12,6	6570	7,42E-03
Etilbenceno	0,00274	0,63	4500	12,6	6570	2,26E-03
Xilenos	0,00748	0,63	4500	12,6	6570	6,18E-03



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".



- (1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m^3/hN
- (2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight

Tabla 7.20.- Cálculo de dosis de ingesta promedio diaria de BTEX. Escenario 9.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE VAPORES (BTEX)						
CONCON						
ESCENARIO 9: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-aire	TASA INHALACION AIRE (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m³N	m³/h N	días	kg	días	mg/kg_día
Benceno	0,00193	0,69	18250	80	18250	4,00E-04
Tolueno	0,00898	0,69	18250	80	18250	1,86E-03
Etilbenceno	0,00274	0,69	18250	80	18250	5,69E-04
Xilenos	0,00748	0,69	18250	80	18250	1,55E-03
(1) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m ³ /hN						
(2) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight						



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



7.2.6 Conclusiones parciales respecto de BTEX.

Las concentraciones promedio detectadas en cada una de las comunas, durante 7 meses de toma de muestras con frecuencia de 14 días de exposición de los tubos pasivos corresponden a:

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,93	1,60	1,59
Tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,98	7,61	8,34
Etilbenceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,74	2,14	2,45
Xilenos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,48	5,81	7,26

Estas concentraciones son relativamente menores que los niveles de contaminantes basados en riesgo, correspondientes a $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para benceno; $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para tolueno; $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para etilbenceno y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para xilenos.

A pesar de que este estudio constituye el mayor despliegue experimental respecto de toma de muestras y medición de este tipo de compuestos en la zona de estudio, el mismo no constituye una evaluación de riesgo que permita descartar el efecto de estos contaminantes en la salud humana.

7.2.7.- Propuesta de medidas de gestión respecto de BTEX.

En virtud de lo anterior, se recomienda que se continúe el monitoreo de estos analitos (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) especialmente en la comuna de Concón de modo de esclarecer si las concentraciones aparentemente mayores encontradas en este estudio, se mantienen en el tiempo.

Estas mediciones debiesen constituir la base para evaluar la significación de las respectivas dosis para efectos en la salud de las personas, y con esa evaluación se podrá avanzar o no en la formulación de normativas específicas para la zona, si hubiese mérito para ello con base en un enfoque basado en riesgo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 8: MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2,5) Y METALES EN FILTROS

8.1- Antecedentes generales de la presencia de material particulado (MP2,5) con contenido de metales en la zona de estudio.

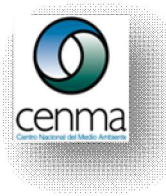
La fracción fina del MP10 o MP2,5 corresponde a partículas suficientemente pequeñas que pueden penetrar en las vías respiratorias hasta llegar a los pulmones y los alvéolos. Se han identificado los siguientes efectos del MP2,5: mortalidad y admisiones hospitalarias en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica y con enfermedad cardiovascular, exacerbación de los síntomas e incremento del asma, aumento de riesgo de infartos al miocardio, inflamación pulmonar, inflamación sistémica, disfunciones endoteliales y vasculares, desarrollo de aterosclerosis, incremento en la incidencia de infecciones y cáncer respiratorio.

El MP2,5 se produce por emisiones directas de los procesos de combustión de combustibles fósiles, a partir de la condensación de gases, de reacciones químicas en la atmósfera a partir de gases precursores como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, amoníaco, y otros compuestos; y a través de procesos de nucleación y coagulación de partículas ultrafinas. En ese contexto, las principales fuentes del MP2,5 son los automóviles, buses y camiones, tanto a diesel como a gasolina, plantas termoeléctricas, calderas, procesos industriales, hornos, fundiciones, proceso metalúrgicos, la combustión de biomasa, como la calefacción residencial a leña, las quemadas agrícolas e incendios forestales, y emisiones de amonio de las operaciones agrícolas.

En la zona de estudio, a la fecha de este estudio, solamente se han realizado mediciones de MP2,5 en la estación Concón urbana, la cual comenzó sus mediciones en el año 2003 con equipos gravimétricos. De acuerdo a la información disponible en SINCA y a los criterios de la norma primaria de MP2,5 (D.S N°12/2011 de MMA), desde el año 2008 hay 2 días con concentraciones diarias de MP2,5 mayores al límite de la norma primaria establecido en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y promedios anuales entre 16 y 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir el promedio trianual supera el 80% de la norma anual fijada en 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

8.2.- Diseño del muestreo

La medición de material particulado fino MP2,5 se diseñó para realizar de manera continua y también con equipos Super SASS para impactar filtros de cuarzo. Los equipos fueron instalados en las estaciones Consultorio de Concón y Hogar de Ancianos de Ventanas, mientras que en la Nueva Escuela La Greda solamente se desarrolló medición continua.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



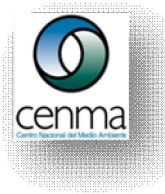
Se realizó medición continua de material particulado fino MP_{2,5} utilizando equipos Beta, marca ThermoScientific modelo SHARP 5030, que incorporan un sensor tipo nefelómetro para comparar y ajustar las concentraciones, especialmente para periodos de corta duración de tiempo (minutos, con actualización cada 4 segundos). Este instrumento es considerado de referencia por la norma chilena de calidad de aire DS 59/1998 y de equivalencia con la USEPA (EQPM-0609-184), tiene un rango de medición de 0-10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una resolución de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

8.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.

Las figuras siguientes ilustran los equipos Super SASS instalados en Concón y Ventanas.



Figura 8.1. Equipo Super SASS instalado en Hogar de Ancianos de Ventanas.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Figura 8.2. Equipo Super SASS instalado en CESFAM de Concón.

Las mediciones de MP_{2,5} y SO₂ en la estación CESFAM de Concón se iniciaron durante la tarde del 20 de marzo de 2012, en el Hogar de Ancianos de Ventanas las mediciones se iniciaron durante la tarde del 10 de abril de 2012. Los controles de funcionamiento y verificaciones de cero/span a los monitores de SO₂ confirmaron el buen funcionamiento de los equipos. La ocurrencia algunas horas sin datos se debió en su gran mayoría a cortes de energía eléctricas.

En el **Anexo 6** se presentan los resultados del monitoreo continuo de MP_{2,5} y SO₂ en estas estaciones.

8.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.

Se instalaron dos equipos Super SASS (Speciation Air Sampling System) marca MetOne⁴, para la obtención de filtros de teflón de 47 mm de diámetro, impactados con material particulado MP_{2,5}, que fueron analizados en laboratorio para determinar la masa de material particulado impactada y la composición en cuanto a metales contenidos en el material particulado. Se colocaron dos filtros por estación y por día, para la cuantificación en duplicado de la masa y de la

⁴ Los equipos Super SASS MetOne se desarrollaron como versión mejorada de los equipos SASS según requerimientos de la EPA como se indica en <http://www.metone.com/documents/SASS0301Particulate.pdf>. Al presente, no constituyen método de referencia para monitoreo de material particulado.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



concentración de mercurio en uno de los filtros y de metales (As, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, V, Se, Mo, Pb y Mn) en el otro.

El equipo Super SASS es un muestreador desarrollado por la empresa MetOne para USEPA para ser utilizado en las estaciones de monitoreo destinadas a especiación química del MP2,5 de acuerdo a los programas de USEPA, según lo especificado en el punto 2.2.5 “Speciation Monitoring” del documento final “Air Quality Criteria for Particulate Matter, Volume I of II”.

Los equipos Super SASS tienen 8 toma-muestras para filtros de 47 mm, los cuales pueden ser programados para la obtención de muestras de manera autónoma. Por razones analíticas, ya que se requiere un filtro para análisis de mercurio y otro filtro para análisis de metales pesados, en Concón y Ventanas se consideró la obtención de dos filtros por día, de manera tal que el recambio se efectuó cada 3 días durante todo el período.

8.3- Análisis químico.

Los filtros colocados en cada batch de recambio, fueron previamente acondicionados en el Laboratorio de Química Ambiental de CENMA, en condiciones de temperatura y humedad controlada, por un período de 24 horas. Posteriormente a la ambientación, los filtros fueron masados en una balanza marca AT261, ubicada en una cámara que permite su manipulación en condiciones controladas de humedad y presión. En cada batch de análisis, la balanza fue verificada con una masa certificada de 100 mg, certificado SMA-59685 emitido por Centro de Estudios de Medición y Certificación de Calidad (CESMEC). Esta se utiliza como material de referencia certificado para la masa, considerando que éste es el principio de la determinación gravimétrica de la cantidad de MP2,5 retenida en los filtros⁵. La información obtenida en este ensayo, se identifica como masa inicial en los informes de ensayo y corresponde a la masa del filtro no impactado, que se incluyen en el **Anexo 7**.

Los filtros pesados, se ubicaron en contenedores debidamente rotulados y protegidos de contaminación para ser instalados en terreno en los equipos Super SASS. Los filtros se programaron por pareja, de manera que durante 24 horas cada equipo aspira aire a través de dos posiciones, lo que impacta dos filtros cada día.

En cada uno de los lugares de monitoreo los filtros impactados se retiraron a razón de un lote de 6 filtros cada 3 días, los otros 2 filtros permanecen en fase muestreo. Los mismos se trasladan en contenedores termo-aislantes al laboratorio de

⁵ El procedimiento analítico para la determinación gravimétrica de la masa de MP2,5 retenida en los filtros, es el instructivo ILQAA-0011, disponible en <http://cenma.siswork.cl/mantenion/categorias/oficial/instructivos.php?IdCapitulo=&IdCat=2577>



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CENMA teniendo cuidado de no alterar la masa de acuerdo al procedimiento PLM-CA-009⁶ “Procedimiento de codificación y cadena de custodia de filtros”.

En el laboratorio, los filtros impactados son nuevamente ingresados para realizar en cada uno de ellos, primeramente, análisis de gravimetría final (determinación de la masa de MP2,5), para lo cual se ambientan nuevamente y se pesan. Posteriormente, se seleccionó un filtro de cada pareja para análisis de mercurio por absorción atómica con vapor frío⁷ y otro para análisis de metales pesados (As, Cr, Cd, Cu, Mo, Ni, V, Se, Mn, Pb) por espectrometría de plasma inductivamente acoplado (ICP) con detector óptico, asistidas por microondas⁸. Los resultados de este análisis se presentan en el **Anexo 7**.

El Laboratorio de Química Ambiental de CENMA ha concluido, a la fecha de este informe, satisfactoriamente el proceso de ampliación de su acreditación nacional ante el Instituto Nacional de Normalización lo que incluye los ensayos de gravimetría de filtros y de determinación de metales en filtros, por lo que todos los resultados contenidos en este informe han sido obtenidas bajo condiciones de calidad asegurada. Igualmente, CENMA posee certificación ISO 9000 obtenida en el año 2011, que incluye la documentación, registro y verificación de todos los pasos realizados para la toma y análisis de muestras, de manera que la información obtenida es trazable y confiable.

8.4- Resultados.

Las figuras siguientes ilustran las concentraciones diarias y los ciclos diarios mensuales para ambas variables. Las concentraciones diarias consideran al menos 18 concentraciones horarias válidas. En **Anexo 6** se incluyen gráficos de series de tiempo con las concentraciones horarias y de los parámetros meteorológicos (Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento).

⁶ Procedimiento disponible en

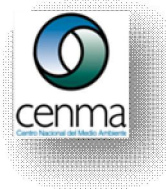
<http://cenma.siswork.cl/mantenccion/categorias/oficial/procedimientos.php?IdCapitulo=&IdCat=2393>

⁷ Instructivo de análisis ILQAL-0018 disponible en

<http://cenma.siswork.cl/mantenccion/categorias/oficial/instructivos.php?IdCapitulo=&IdCat=2567>

⁸ Instructivo de análisis ILQAL-0019 disponible en

<http://cenma.siswork.cl/mantenccion/categorias/oficial/instructivos.php?IdCapitulo=&IdCat=2578>



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

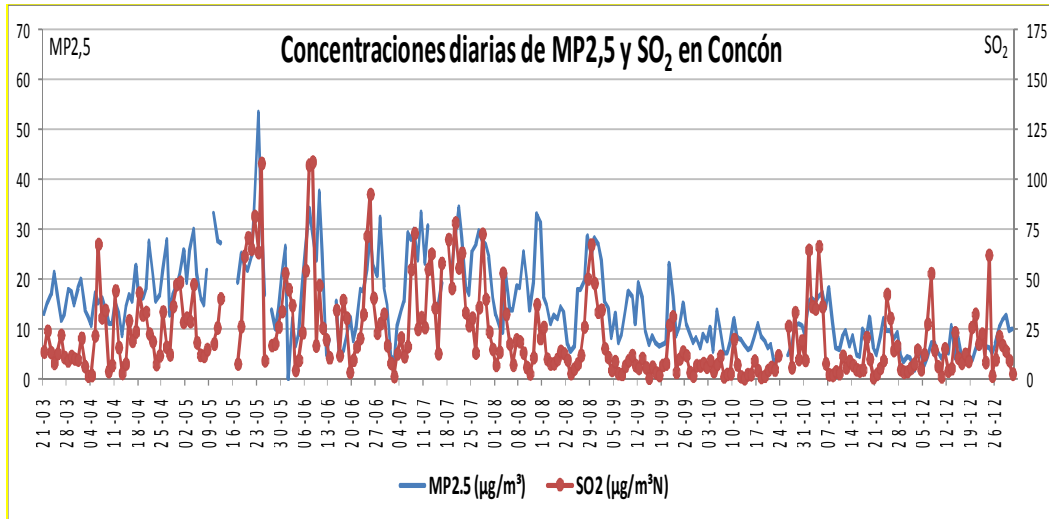


Figura 8.3. Concentraciones diarias de MP2,5 y SO₂ en CESFAM de Concón, 21 de marzo a 31 de diciembre de 2012.

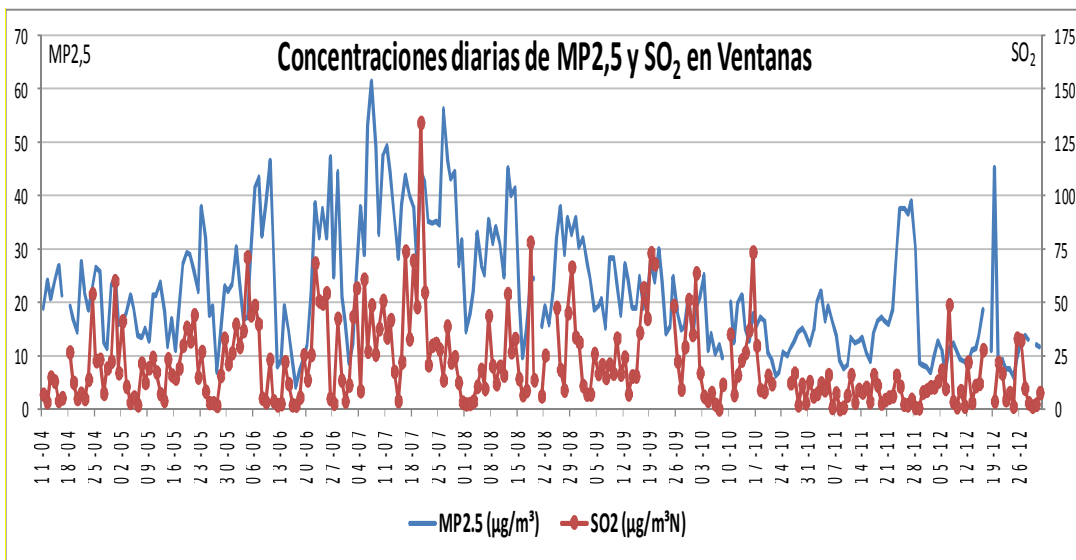
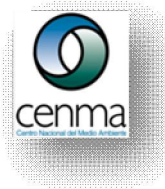


Figura 8.4. Concentraciones diarias de MP2,5 y SO₂ en Hogar de Ancianos de Ventanas, 11 de abril a 31 de diciembre de 2012.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

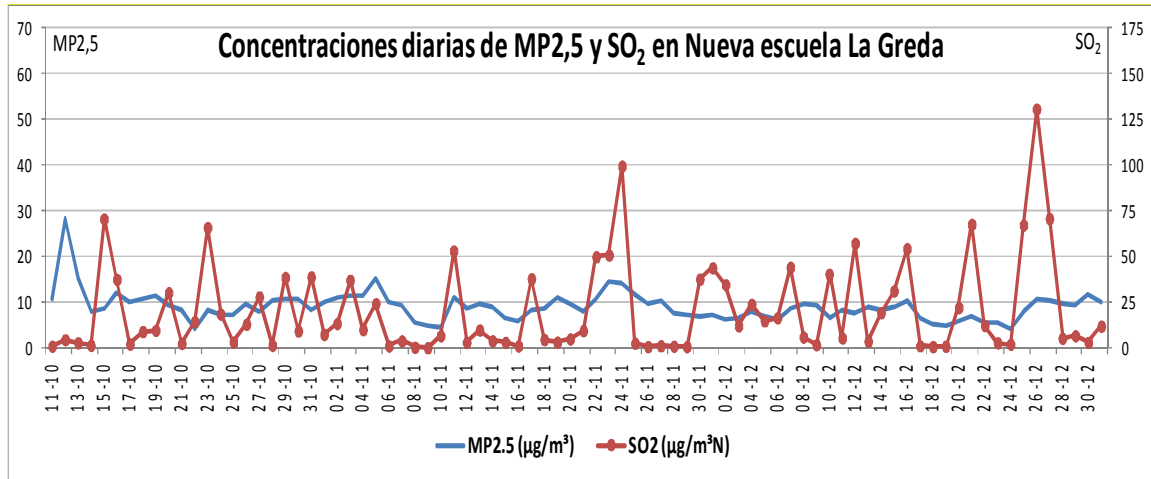


Figura 8.5. Concentraciones diarias de MP_{2,5} y SO₂ en Nueva escuela La Greda, 11 de octubre a 31 de diciembre de 2012.

La tabla siguiente resume las concentraciones diarias de MP_{2,5} en Concón, Ventanas y nueva Escuela La Greda:

Tabla 8.1. Valores promedio, máximo y percentil 98 para la comparación con norma primaria de MP_{2,5}, según criterio de cumplimiento diario y anual.

	Concón	Ventanas	Nueva Esc La Greda
	21 mar - 31 de dic 2012	11 abr – 31 dic 2012	11 oct – 31 dic 2012
Promedio µg/m³	15	22	9
Percentil 98 µg/m³	33	48	15
Máximo µg/m³	54	61	28
Días > 50 µg/m³	1	3	0
% de cumplimiento diario	66	96	30
% de cumplimiento anual	75	110	45



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

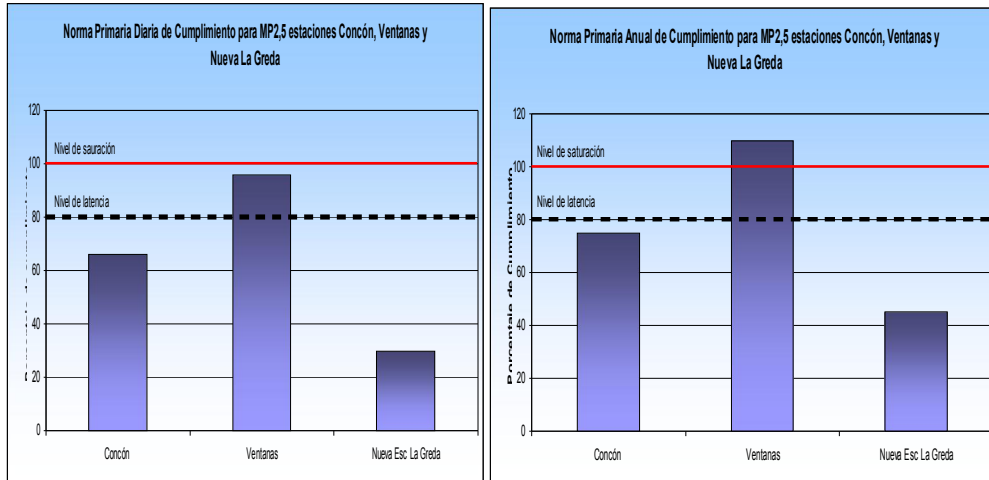


Figura 8.6- Comparación de los valores obtenidos en las estaciones CENMA con los niveles de saturación y latencia para la norma primaria diaria de SO₂.

Se observa que, respecto de la norma diaria, la estación Ventanas es la que sobrepasa el nivel de latencia acercándose al nivel de saturación, mientras que respecto al cumplimiento anual la estación Ventanas sobrepasa el nivel de saturación, aunque estas evaluaciones son sólo referenciales por la cantidad de datos disponibles ya que no tienen intención de evaluar cumplimiento normativo para declarar zona de latencia o saturada sino considerar la situación respecto de los valores de calidad ambiental normados.

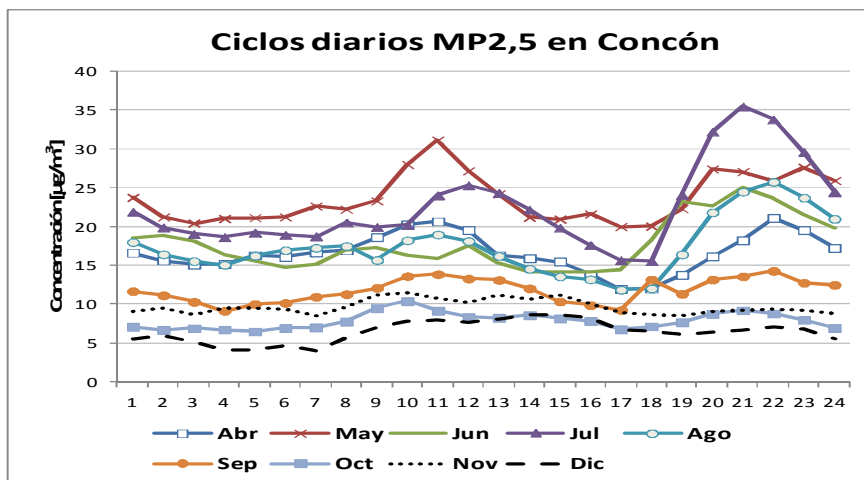
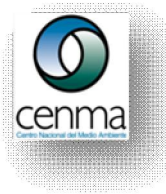


Figura 8.7. Ciclos diarios de MP_{2,5} en CESFAM de Concón, Abril-Diciembre de 2012.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

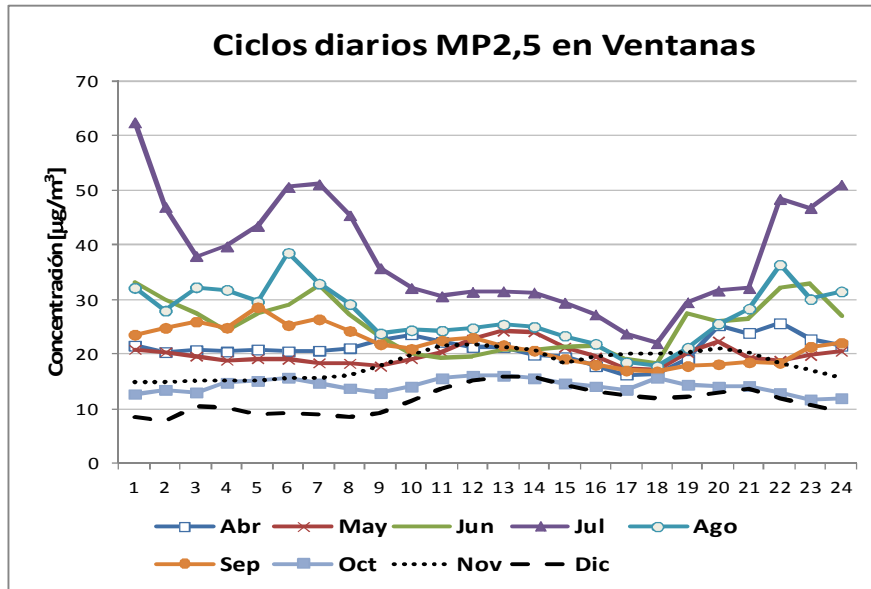


Figura 8.8. Ciclos diarios de MP2,5 en Hogar de ancianos de Ventanas, Abril-Diciembre 2012.

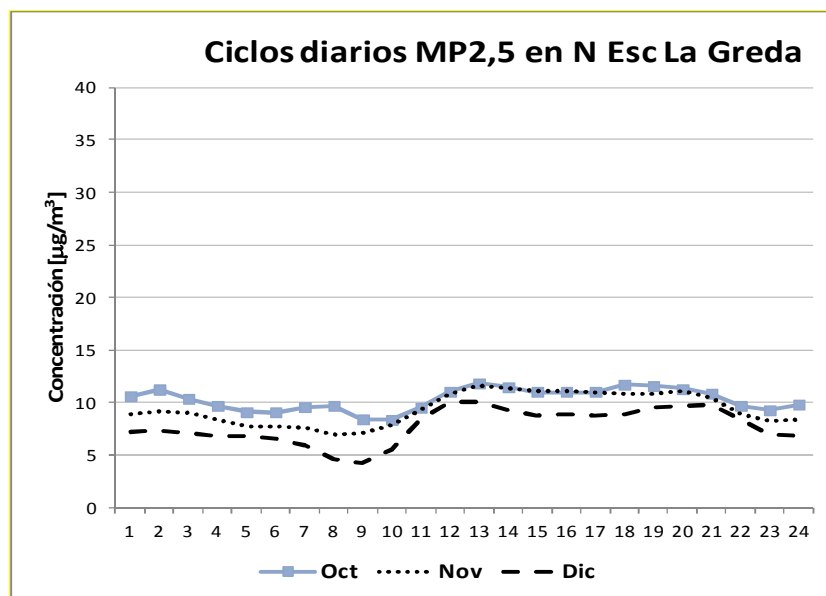
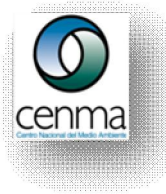


Figura 8.9. Ciclos diarios de MP2,5 en Nueva Esc. La Greda, 11 de Octubre al 31 de Diciembre 2012.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

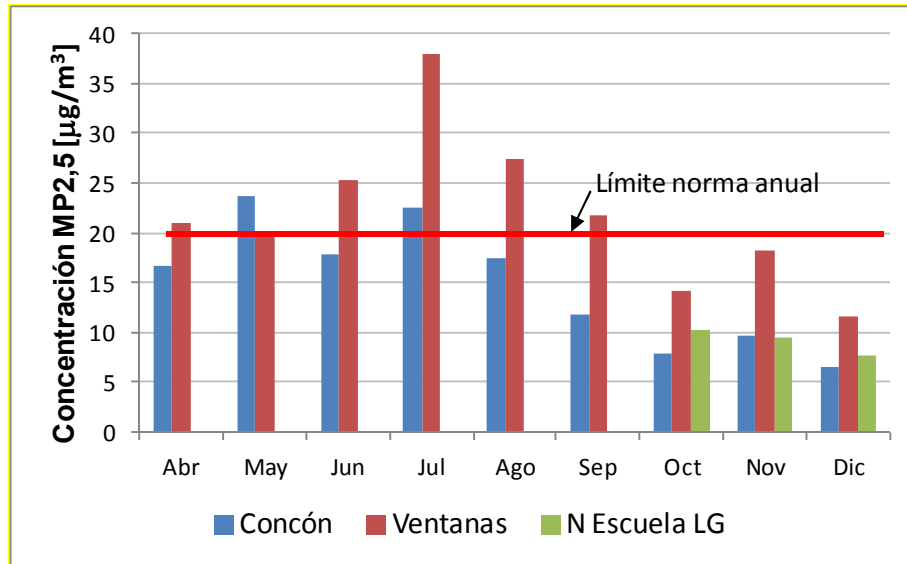


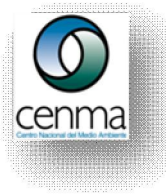
Figura 8.10. Promedios mensuales de MP2,5 en CESFAM de Concón y Hogar de ancianos de Ventanas, Abril-Octubre de 2012 (mediciones en Nueva Escuela La Greda desde el 11 de octubre).

La norma primaria para MP2,5 (D.S. N°12/2011) establece un valor límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio del percentil 98 de las concentraciones diarias durante 3 años y un valor de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el promedio trianual. En la estación ubicada en el CESFAM de Concón se registró solamente un día con una concentración diaria de MP2,5 sobre el límite de la norma alcanzando un máximo de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 23 de mayo y un promedio de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el período 21 de marzo al 31 de diciembre de 2012, Mayo y Julio registran los promedios mensuales más altos con 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

En la estación Hogar de ancianos de Ventanas hay 3 días que superan el límite para concentración diaria de MP2,5 los días 6, 7 y 26 de julio con 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. El promedio del período 11 de abril a 31 de diciembre es 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por sobre el límite de la norma anual con un promedio mensual más alto en julio de 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Nueva Escuela La Greda tuvo un promedio de MP2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de 9 para el periodo 11 de octubre a 31 de diciembre con una concentración máxima de 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las mediciones con equipo gravimétrico Super SASS (en filtros) se iniciaron el 18 de julio de 2012. Las figuras siguientes ilustran las concentraciones diarias registradas con esos equipos hasta el 31 de diciembre.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Las concentraciones diarias de MP2,5 en Concón y Ventanas y las respectivas concentraciones de metales son reportados en **Anexo 7**.

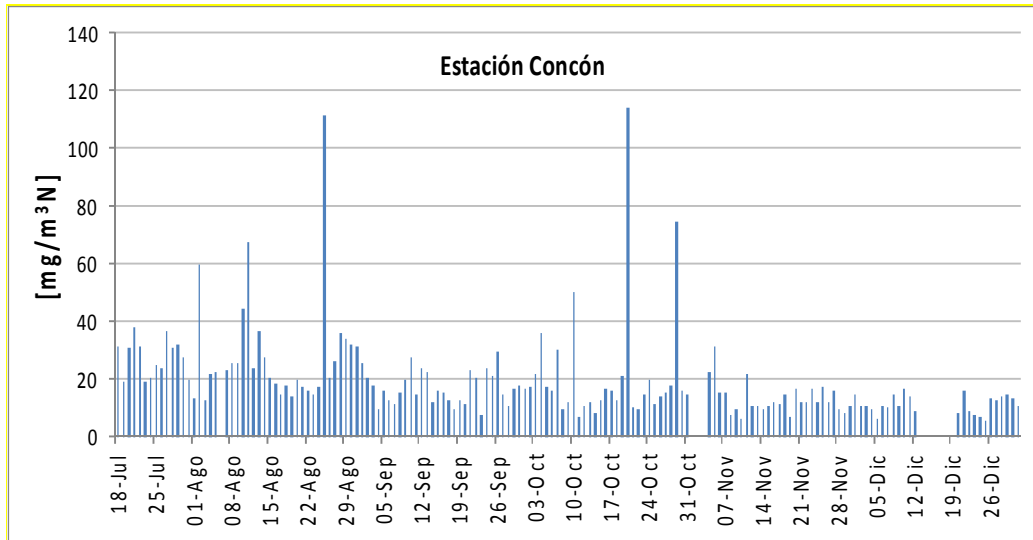


Figura 8.11. Concentraciones diarias MP2,5 obtenidas con equipos Super SaSS en Concón.

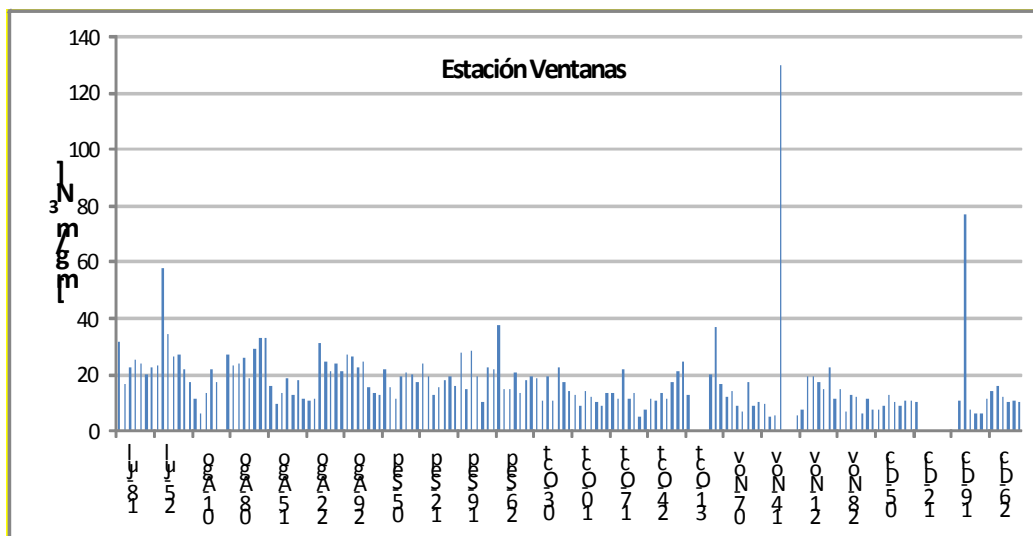
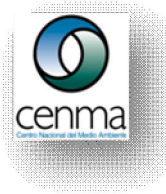


Figura 8.12. Concentraciones diarias MP2,5 obtenidas con equipos Super SaSS en Ventanas.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Las mediciones con equipos dicótomos se iniciaron el 15 de octubre, se realizó monitoreos de 24h cada 3 días hasta el 29 de diciembre de 2013. La figura siguiente ilustra las concentraciones diarias de MP2,5.

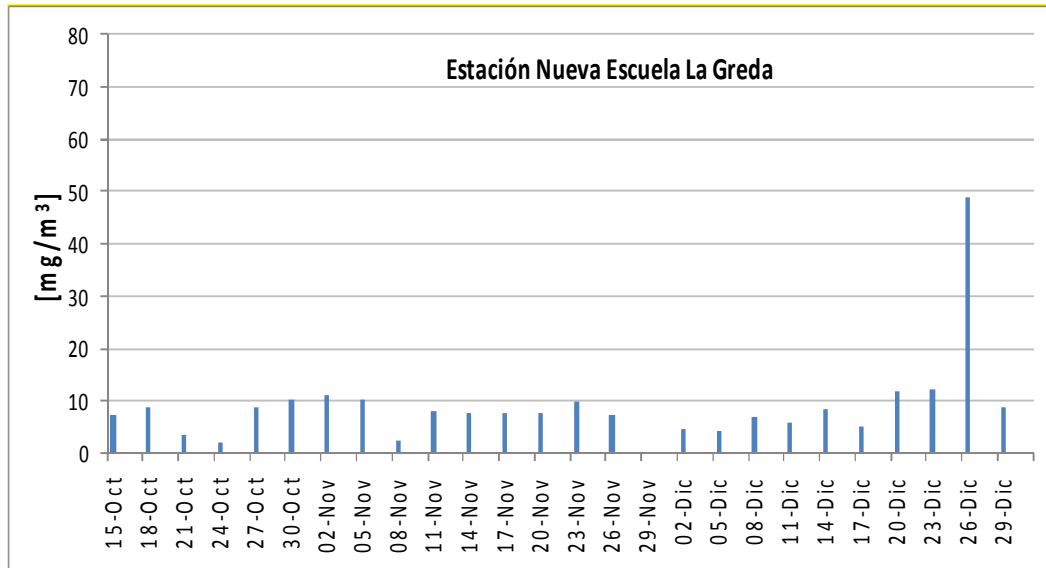


Figura 8.13 Concentraciones diarias MP2,5 obtenidas con equipos dicótomos en Nueva escuela La Greda.

La tabla siguiente resume la información de las concentraciones de metales detectadas en los filtros de MP2,5 en Concón y Ventanas para 154 muestras válidas⁹ en Concón y 156 en Ventanas durante el período 18 de julio a 31 de diciembre de 2012.

⁹ Se consideran muestras válidas aquellos filtros que llegan en buen estado al LQA, sin roturas ni quiebres que dificulten la medición analítica.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 8.2. Resumen de concentraciones de metales en Concón y Ventanas.

	Concón			Ventanas		
	N>LD	Prom [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Max [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N>LD	Prom [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Max [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Zn	0			0		
Cd	0			0		
Hg	0			3	0,041	0,097
Mo	0			0		
V	0			0		
Mn	2	0,278	0,292	0		
Se	50	0,381	1,255	55	0,373	0,741
Pb	0			1	0,196	0,196
Ni	1	0,210	0,210	1	0,232	0,232
Cr	0			1	0,201	0,201
As	1	0,480	0,480	3	0,276	0,285
Cu	13	0,270	0,418	20	0,258	0,467

N>LD indica la cantidad de muestras con concentraciones detectadas (superiores al límite de detección LD).

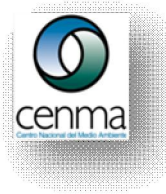
Las concentraciones de metales en filtros impactados por material particulado 2,5 presentan el siguiente comportamiento.

ESTACION VENTANA:

Los metales Zn, Cd, Mo, V y Mn presentaron niveles por debajo del límite de detección de la metodología de análisis, por lo que se reportan como “No Detectados” lo que permite suponer que no existen en concentraciones apreciables en la zona de estudio, durante el período que incluyó el muestreo (Julio-Diciembre/2012).

Para el caso del As, se encontraron 3 resultados detectables que corresponden a 0,301 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 24 de agosto; 0,275 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 30 de noviembre y 0,301 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 2 de diciembre. Para el Ni se encontró un resultado detectable (0,232 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) el día 21 de septiembre. Para el Hg, se encontraron tres resultados detectables que corresponden a 0,021 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 18 de julio; 0,097 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 19 de julio y 0,0058 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ el día 9 de septiembre.

Para los metales Cu y Se, se obtuvieron valores medibles en varios días, tal como se ilustra en la figura siguiente:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

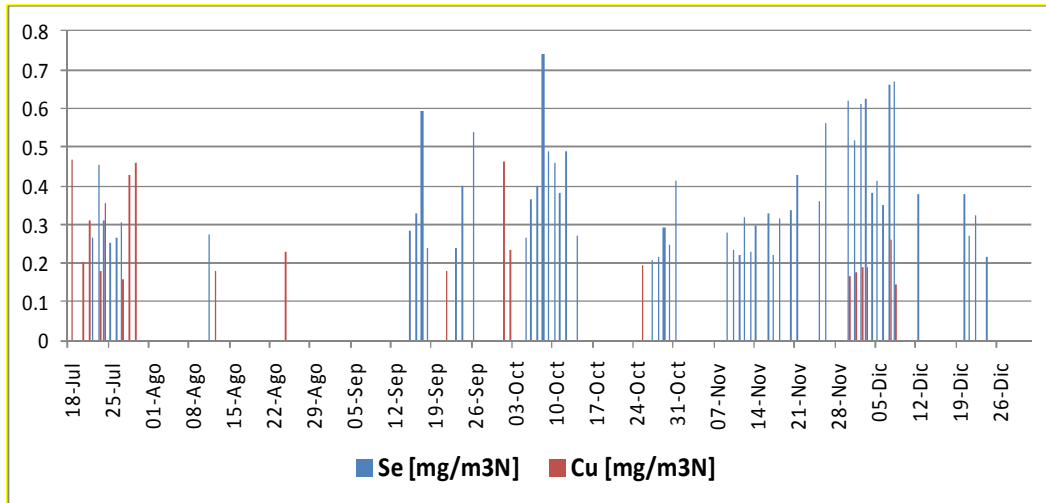


Figura 8.14. Concentraciones de metales en Ventana, 18 de julio a 31 de octubre de 2012

ESTACION CONCON:

Los metales Zn, Cd, Hg, Mo, V, Pb y Cr presentaron niveles por debajo del límite de detección de la metodología de análisis, por lo que se reportan como "No Detectados" lo que permite suponer que no existen en concentraciones apreciables en la zona de estudio, durante el período que incluyó el muestreo (Julio-Diciembre/2012).

Para el caso del Ni, se encontró un resultado detectable ($0,210 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) el día 30 de agosto. Para As se encontró un resultado ($0,480 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) el 30 de noviembre. Para Mn se encontraron concentraciones detectables en 2 días ($0,263 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) el 30 de diciembre y ($0,291 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) el 31 de diciembre.

Para los metales Cu y Se, se obtuvieron valores medibles en varios días, tal como se ilustra en la figura siguiente:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

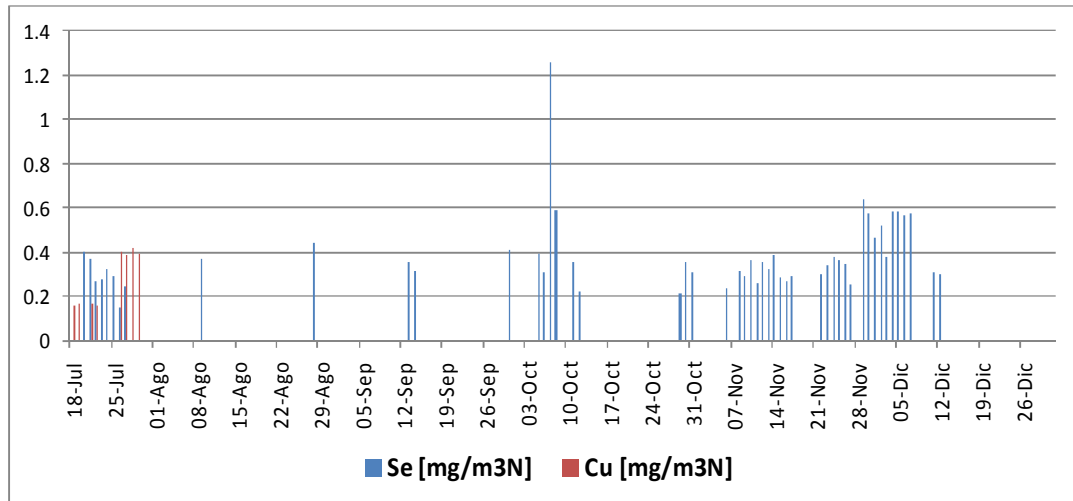


Figura 8.15. Concentraciones de metales en Concón, 18 de julio a 31 de diciembre de 2012

8.5.- Selección de contaminantes de interés.

8.5.1 Contaminantes positivamente identificados

A partir de los resultados anteriores, se puede asumir que los contaminantes positivamente identificados para metales en filtros impactados con material particulado MP2,5 son Cobre y Selenio, con los cuales se continuó el estudio de exposición.

8.5.2 Perfil de toxicidad

Los perfiles de toxicidad para cobre y selenio se presentan en el **Anexo 10**.

Respecto de la toxicidad del material particulado propiamente tal, según los informes de la USEPA¹⁰, las relaciones entre las distintas fracciones del material particulado y sus efectos en salud puede resumirse como sigue:

¹⁰ EPA/600/R-08/139F (2009) Integrated Science Assessment for Particulate Matter



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 8.3.- Resumen de las manifestaciones en salud atribuidas a la exposición de corto y largo plazo a diferentes fracciones del material particulado.

Fracción de material particulado	Tipo de exposición	Manifestación	Causalidad determinada
MP-2,5	Exposición de corto plazo	Efectos cardiovasculares	Causal
		Efectos respiratorios	Probabilidad de ser causal
		Efectos sobre el sistema nervioso central	Inadecuada
		Mortalidad	Causal
	Exposición de largo plazo	Efectos cardiovasculares	Causal
		Efectos respiratorios	Probabilidad de ser causal
		Mortalidad	Causal
		Reproductiva	Sugerida
MP-10	Exposición de corto plazo	Efectos cardiovasculares	Sugerida
		Efectos respiratorios	Sugerida
		Efectos sobre el sistema nervioso central	Inadecuada
		Mortalidad	Sugerida
	Exposición de largo plazo	Efectos cardiovasculares	Inadecuada
		Efectos respiratorios	Inadecuada
		Mortalidad	Inadecuada
		Reproductiva	Inadecuada
		Cáncer, mutagénesis, genotoxicidad	Inadecuada

Estas relaciones son independientes de la composición del material particulado, que puede contribuir a otras afectaciones específicas.

Como se observa de la tabla anterior, la fracción con mayor evidencia de ocasionar efectos adversos en la salud, es la fracción fina o MP-2,5, por lo que los cálculos de las dosis de exposición se continúan con la información proveniente de dicha fracción, lo que constituye el peor escenario, a los efectos de exposición.

8.6 Dosis de exposición.

A continuación se presentan las tablas y figuras resultantes del cálculo de dosis de ingesta media para Cu y Se en material particulado MP2,5. Para estos cálculos se han utilizado factores de exposición referenciados en el documento titulado Exposure Factors Handbook (2011). Como aproximación general se han incorporado además, las siguientes consideraciones:

- Se calcularon los valores promedio de concentración de cada metal en las estaciones de muestreo instaladas por Cenma para este estudio (Concón y

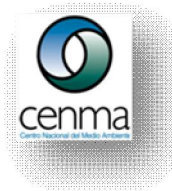


INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Ventanas) sin modificaciones adicionales respecto de los valores reportados como "menor al límite de detección". O sea, esta aproximación se conoce como "datos censurados a la izquierda" porque estos valores, numéricamente, se consideran iguales a cero.

- Se utilizaron los valores promedio de Cu y Se en MP2,5 de la estación de Ventanas como representativo de la concentración del analito al que están expuestos los receptores de las comunas de Puchuncaví y Quintero igualmente.
- Se utilizaron los valores promedio de Cu y Se en MP2,5 de la estación de Concón como representativo de la concentración del analito al que están expuestos los receptores de esta comuna, diferenciados de las comunas de Puchuncaví y Quintero.



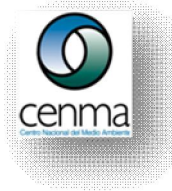
INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.4.- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 1.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS PUCHUNCAVI-QUINTERO								
ESCENARIO 1: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC- MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPO- RAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10840,56	0,5	0,69	10000	80	18250	2,65E-05
Se	0,043	17055,36	0,5	0,69	10000	80	18250	4,17E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.5.- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 2.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS PUCHUNCAVI-QUINTERO								
ESCENARIO 2: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC-MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSI- CION	PESO CORPO- RAL (3)	PERIODO DE EXPOSI-CION	DOSIS (lv)
	mg/m3N	mg/kg		m3/h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10840,56	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,93E-04
Se	0,043	17055,36	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,03E-04

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m3/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.6.- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 3.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS								
PUCHUNCAVI-QUINTERO								
ESCENARIO 3: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC-MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPO-RAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m3N	mg/kg		m3/h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10840,56	0,5	0,69	18250	80	18250	4,84E-05
Se	0,043	17055,36	0,5	0,69	18250	80	18250	7,61E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m3/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.7- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 4.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS								
CONCON								
ESCENARIO 4: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC-MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSI- CION	PESO CORPO- RAL (3)	PERIODO DE EXPOSI-CION	DOSIS (lv)
	mg/m3N	mg/kg		m3/h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10039,89	0,5	0,69	10000	80	18250	2,45E-05
Se	0,043	14223,53	0,5	0,69	10000	80	18250	3,48E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m3/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.8.- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 5.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS								
CONCON								
ESCENARIO 5: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC-MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPO- RAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10039,89	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,78E-04
Se	0,043	14223,53	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,53E-04

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 8.9.- Cálculo de dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) por inhalación de material particulado en las comunas de Puchuncaví-Quintero, según Escenario 6.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS								
CONCON								
ESCENARIO 6: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONC-MP2,5	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	día	kg	día	mg/kg_día
Cu	0,043	10039,89	0,5	0,69	10000	80	18250	4,48E-05
Se	0,043	14223,53	0,5	0,69	10000	80	18250	6,35E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



A continuación se presenta la comparación de las dosis calculadas para los diferentes escenarios de exposición por comunas. En general, aunque no es posible hacer una evaluación del riesgo que estas concentraciones suponen, las mayores dosis se registraron en las comunas de Puchuncaví-Quintero, comparadas con Concón para todos los escenarios considerados y para los dos metales.

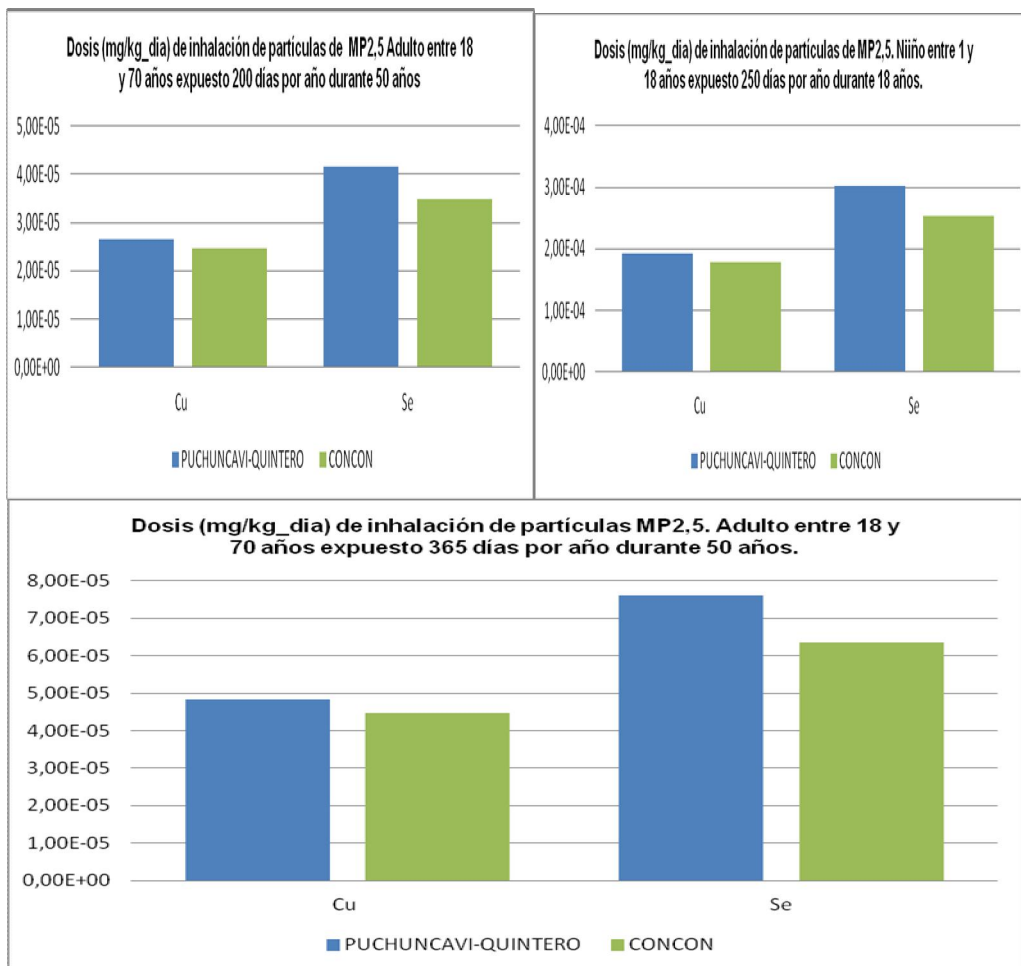


Figura 8.16.- Dosis de ingesta media diaria (mg/kg_día) para inhalación de metales contenidos en el material particulado MP2,5, para los diferentes escenarios de exposición estudiados.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



8.7 Conclusiones parciales

La comparación referencial de los contenidos de MP_{2,5} con la norma primaria (D.S. N°12/2011) que establece un valor límite de 50 µg/m³ para el promedio del percentil 98 de las concentraciones diarias durante 3 años y un valor de 20 µg/m³ para el promedio trianual permitió establecer que, durante los nueve meses de medición, en la zona de Concón se superó el límite de la norma para la concentración diaria durante un día mientras que el promedio mensual se superó en los meses de mayo y julio. En la zona de Ventanas, el límite de la norma para concentración diaria se superó tres días mientras que el mayor promedio mensual correspondió al mes de julio.

Las concentraciones medidas en la Nueva Escuela La Greda resultaron menores que las medidas en la zona de Ventanas, aunque para este sector la medición se realizó sólo durante tres meses.

En la estación ubicada en el CESFAM de Concón se registró solamente un día con una concentración diaria de MP_{2,5} sobre el límite de la norma alcanzando un máximo de 54 µg/m³ el 23 de mayo y un promedio de 15 µg/m³ para el período 21 de marzo al 31 de diciembre de 2012, Mayo y Julio registran los promedios mensuales más altos con 24 µg/m³ y 22 µg/m³ respectivamente.

En la estación Hogar de ancianos de Ventanas hay 3 días que superan el límite para concentración diaria de MP_{2,5} los días 6, 7 y 26 de julio con 51 µg/m³, 61 µg/m³ y 54 µg/m³ respectivamente. El promedio del período 11 de abril a 31 de diciembre es 22 µg/m³, por sobre el límite de la norma anual con un promedio mensual más alto en julio de 38 µg/m³.

La Nueva Escuela La Greda tuvo un promedio de MP_{2,5} µg/m³ de 9 para el periodo 11 de octubre a 31 de diciembre con una concentración máxima de 28 µg/m³.

Si bien este estudio no constituye una evaluación del cumplimiento de normativas en el sentido estricto, la comparación referencial con los límites establecidos en las normas primarias es una herramienta metodológica válida por cuanto estas normas establecen los niveles de contaminantes en el ambiente para los cuales existe un riesgo para la vida o salud de la población, de modo que, por debajo de los valores establecidos, se considera que la exposición no representa un riesgo para la población. Este principio ha sido descrito en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Riesgo para la salud de la población en el SEIA desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud y el Servicio de Evaluación Ambiental como integrantes del Gobierno de Chile.

Respecto de la presencia de metales en filtros impactados por material particulado MP 2,5, los metales zinc, cadmio, molibdeno, vanadio y manganeso no fueron



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



detectados en ninguno de los dos sectores durante todo el estudio. Para los metales arsénico, níquel y mercurio, se encontraron valores detectables en menos de cinco días durante el período de estudio, lo que puede vincularse con presencia ocasional en la zona. En estas condiciones no es posible realizar el cálculo de dosis de exposición para estos contaminantes.

Los metales que con mayor frecuencia fueron detectados corresponden a cobre y selenio tanto para el sector de Concón como para el sector de Ventanas, para los cuales se calcularon dosis de ingesta promedio diaria, por inhalación de partículas, las que resultaron mayores en las comunas de Puchuncaví-Quintero comparadas con Concón. Estas dosis consideran también la cantidad de partículas y la proporción de partículas más finas (MP2,5) respecto de la cantidad de partículas de MP10. Lo anterior, en consideración a que la evidencia obtenida por la USEPA indica que es la fracción fina la que con mayor probabilidad induce efectos demostrables en la salud.

8.8.- Propuesta de medidas de gestión

Respecto del material particulado MP2,5 y la presencia de metales tóxicos en el mismo, las recomendaciones fundamentales se plantean en dos direcciones:

- Aumentar la cobertura de estaciones con capacidad para medición de MP2,5 en la zona, lo que es coherente con el cumplimiento de la norma de calidad para MP2,5.
- Realizar evaluación de riesgo en la salud respecto de las concentraciones de Cu y Se encontradas en los filtros impactados con MP2,5 como soporte para evaluar la continuidad de la medición de la concentración de metales en material particulado.

De manera general, avanzar en la promulgación e implementación de la normativa para emisión de fundiciones y consolidar la normativa de emisión para termoeléctricas, las que deben contribuir a disminuir la exposición de la población de la zona de estudio, y de todo el país, por material particulado fino y los metales contenidos en el mismo.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



CAPITULO 9: MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS)

9.1- Antecedentes generales de la presencia de material particulado sedimentable (MPS) o polvo grueso en la zona de estudio.

El material particulado sedimentable (MPS) o polvo grueso es el material particulado, cualquiera sea su tamaño, captado sobre una unidad de superficie en una unidad de tiempo. Generalmente está constituido por partículas sólidas de tamaño comprendido entre 10 y 500 micrómetros. Este material corresponde a "polvo grueso" que tiene una velocidad de sedimentación apreciable y tiempo de permanencia en la atmósfera relativamente corto.

No existen antecedentes de medición de material particulado sedimentable (MPS) en la zona de estudios.

En el año 2011, mediante Ordinario No 1448 la SEREMI de Salud de Valparaíso comunicó al Subsecretario de Educación el informe de análisis de metales en polvo y suelo en colegios de Puchuncaví, donde en sus conclusiones se refiere a "la presencia de contaminación en todos los establecimientos educacionales, sin embargo, esta presenta gradientes de concentración distintos en función de diferentes factores". En el estudio referido, se tomaron muestras compuestas de polvo depositado superficialmente en las salas de clases y sectores de diferentes colegios, y también muestras de suelo¹¹, las que fueron analizadas por métodos estándares de análisis de metales en suelos y muestras sólidas. Se realizó análisis de riesgo y se concluyó que existe exposición a contaminantes cancerígenos y no cancerígenos en los diferentes establecimientos, que pertenecen todos a la comuna de Puchuncaví.

9.2.- Diseño del muestreo.

La obtención de muestras para análisis de MPS se organizó diseñando una red de 20 puntos que cubriera de manera relativamente homogénea toda la zona de estudio (las tres comunas), cuya ubicación corresponde a los mismos lugares descritos para el muestreo de BTEX,

Las muestras se obtuvieron con colectores de modelo Británico modificado de acuerdo a las exigencias del DS N°4/1992 que "Establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del río Huasco, III Región" y la Resolución N° 099 SAG III Región. Los planos de fabricación del colector MPS corresponden a los descritos en el Informe "Especificaciones técnicas para implementación red de monitoreo material de polvo sedimentable en cuenca de Río Huasco", realizado por el CIMM.

¹¹ Se infiere que esta fue la forma de tomar las muestras, pues no se indica explícitamente en el documento.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



En la figura 9.1 se presenta una foto del colector utilizado que corresponde a un contenedor de acero inoxidable de 50 cm diámetro, es decir un área de deposición de aprox. 0,2 m². El colector se monta en una estructura de acero, tipo trípode, a una altura de 1,5m. La estructura cuenta con una armazón contra pájaros. El contenedor de acero tiene un fondo cónico que termina en una perforación que permite recolectar el polvo sedimentable en una botella mediante el arrastre o limpieza con agua destilada de las paredes del contenedor. En caso de lluvia se realiza el retiro de la muestra en una botella colectora, dependiendo del nivel de agua acumulada en la botella se instala la misma o una nueva el día posterior al cese de las lluvias.



Figura 9.1. Dispositivo para la obtención de muestras de material particulado sedimentable (MPS). Nótese en el extremo superior, el dispositivo conteniendo los tubos pasivos para análisis de BTEX, que fueran colocados juntos tal como se explicó anteriormente.

Para acometer este proyecto, CENMA desarrolló protocolos de muestreo y análisis basados en la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter) y protocolos internos para este ensayo (ILQAA-0001 , ILQAA-002 y PLM-CA-012_Rev1).

9.2.1 Ubicación de estaciones de muestreo.

La ubicación de las estaciones de muestreo corresponde a la descrita detalladamente en **Anexo 9**, considerado de manera conjunta para MPS y BTEX.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Las muestras fueron colectadas en contenedores acondicionados para este propósito (limpieza, sello), por lo cual un factor importante es el lugar en que se ubican, la altura con respecto al mar, la cercanía con las fuentes de polución, entre otros. Los factores climáticos como lluvia y nieve también se deben considerar al momento de interpretar los resultados.

9.2.2. Frecuencia de obtención de muestras.

La toma de muestras se efectuó desde abril para algunos puntos y desde julio para otros, terminando en diciembre de 2012. Los frascos colectores conteniendo el polvo sedimentable se retiraron cada 28 días

Durante el mes de abril de 2012 se instalaron los dispositivos de muestreo en los primeros nueve puntos de monitoreo considerando los lugares de monitoreo de CENMA en Concón y Ventanas y las actuales estaciones de monitoreo en Concón Sur, Las Gaviotas, Colmo, La Greda, Sur, Valle Alegre y Los Maitenes. Los lugares siguientes se instalaron durante las semanas posteriores.

Según se describe en la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), los contenedores que van insertos en los colectores (Figura 9.2), son de plástico inerte, tienen una capacidad 2,5L y han sido rotulados con un único número identificador, los que fueron dejados por un período estimado de alrededor de 30 días.



Figura 9.2. Contenedor utilizado para colectar las muestras de Material Particulado Sedimentable.

Antes de su uso en cada campaña de toma de muestras, los contenedores se lavaron vigorosamente utilizando detergente neutro, se realizaron dos enjuagues



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



con agua corriente, tres enjuagues con agua destilada y dos enjuagues con agua desionizada. Esta secuencia se efectuó al menos dos veces y se repitió hasta que el control de lavado resultó satisfactorio. El lavado se realizó por batch de contenedores y se registró documentadamente.

La calidad del lavado fue verificada mediante análisis de metales totales en agua desionizada ubicada después del lavado en el contenedor proveniente de la estación La Greda, considerando como criterio de calidad, que las concentraciones de todos los metales se encuentren por debajo del Límite de Cuantificación del método analítico¹².

Finalmente, los envases fueron secados en estufa del tipo stankaa, a temperatura de 35°C, los cuales se guardaron en bolsas plásticas limpias y selladas hasta su uso en terreno.

Una vez en terreno, se abrieron y se colocaron en el dispositivo de muestreo, en el que permanecieron durante los días que corresponden.

Cuando los colectores fueron retirados con muestras, estos se cerraron y se enviaron al Laboratorio para análisis con las protecciones necesarias para evitar su ruptura durante el transporte o la pérdida de la muestra durante el trayecto. El muestreo fue ejecutado por la Unidad de Calidad de Aire de CENMA, la cual desarrolló el instructivo de muestreo PLM-CA-012_Rev1 para material particulado sedimentable.

9.3- Análisis químico.

La cantidad de material particulado sedimentable se determinó por método gravimétrico según procedimiento ILQAA-0001 basado en la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter).

La composición química del material particulado sedimentable insoluble según procedimiento ILQAA-0002, que consiste en la digestión ácida asistida por microondas con cuantificación en espectrómetro de plasma inductivamente acoplado (ICP). La determinación de analitos en material particulado sedimentable soluble se realizó por lectura directa en un cromatógrafo iónico para aniones y cationes¹³, mientras que para metales se realizó lectura de muestra acidificada en

¹²Esto significa que la señal de cada analito (metal) no es estadísticamente distinguible del ruido instrumental y por consiguiente se infiere la ausencia del analito en la muestra.

¹³ Instructivos de Análisis ILQAL-0024 e ILQAL-0025, disponibles en <http://cenma.siswork.cl/mantenccion/categorias/oficial/instructivos.php?IdCapitulo=&IdCat=2561> y en <http://cenma.siswork.cl/mantenccion/categorias/oficial/instructivos.php?IdCapitulo=&IdCat=2575> respectivamente.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



un espectrómetro de plasma inductivamente acoplado, tal como establecen los respectivos instructivos de medición instrumental.

La secuencia general seguida para el análisis de material particulado sedimentable, se describe en el siguiente esquema:

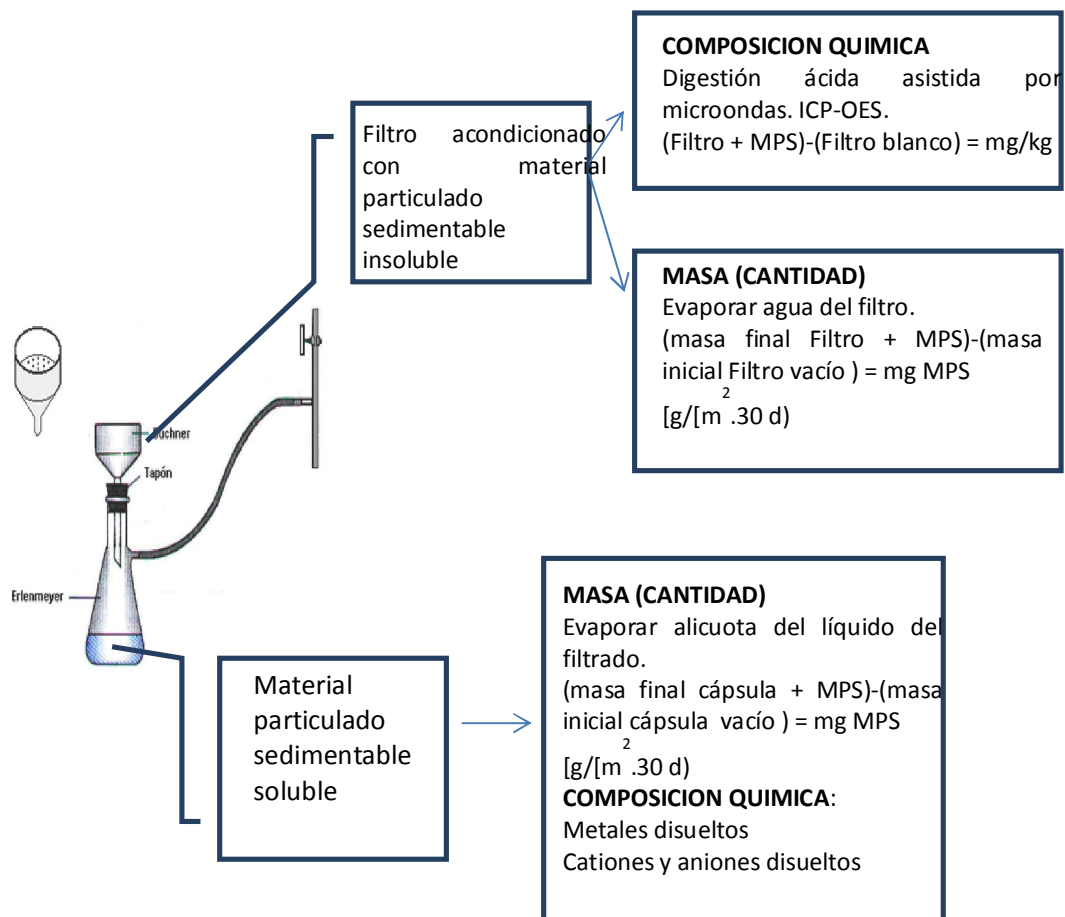


Figura 9.3. Esquema de procedimiento analítico para material particulado sedimentable.

De este modo, para cada muestra (proveniente de un punto de muestreo durante aproximadamente 28 días de exposición) se obtuvo la siguiente información:

- Cantidad de Material Particulado Insoluble, expresada en $g/m^2/30d$.
- Cantidad de Material Particulado Soluble, expresada en $g/m^2/30d$.
- Cantidad de Material Particulado Total, expresada en $g/m^2/30d$.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



- Concentración de metales pesados (Cd, As, Cu, Pb, Cr, Ni, Zn, Mn, V, Mo, Se) en Material Particulado Insoluble, expresada en unidades de concentración másica (mg/kg) y en unidades de cantidad de material sedimentable por área y tiempo ($\text{mg}/\text{m}^2/30\text{d}$ ó $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$).
- Concentración de metales pesados (Cd, As, Cu, Pb, Cr, Ni, Zn, Mn, V, Mo, Se) en Material Particulado Insoluble, expresada en unidades de concentración másica (mg/L) y en unidades de cantidad de material sedimentable por área y tiempo ($\text{mg}/\text{m}^2/30\text{d}$ ó $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$).
- Concentración de aniones (Cl, SO_4 , PO_4 , NO_3 , NO_2 , Br, F) en Material Particulado Soluble, expresada en $\text{mg}/\text{m}^2/30\text{d}$.
- Concentración de cationes (Ca, Na, Mg, NH_4 , Li, K) en Material Particulado Soluble, expresada en $\text{mg}/\text{m}^2/30\text{d}$.

Es de destacar que este proyecto constituye el mayor despliegue en terreno y experimental realizado para la determinación de material particulado sedimentable con objetivos de evaluación de exposición ambiental en receptores humanos. Como la obtención de la muestra misma demora aproximadamente un mes, la generación de resultados de laboratorio es un proceso largo, que consume tiempo, donde se obtienen muestras únicas que se destruyen para la realización del análisis por lo que todo el proceso debe seguirse de manera cuidadosa pues no existe posibilidad real de repetir el análisis ni de regresar al terreno a tomar una nueva muestra.

No obstante, esta es la mejor manera de estimar no sólo la composición química del polvo sino la velocidad a la cual se deposita, orientando así las propuestas de medidas para la gestión.

A la fecha de este informe, el Laboratorio de Química Ambiental de CENMA ha concluido satisfactoriamente la evaluación externa para la acreditación del análisis de material particulado sedimentable en sus ensayos de cantidad de MPS y de contenido de metales en MPS, que se encuentran en etapa de tramitación administrativa para la extensión del correspondiente certificado de acreditación, lo que, a pesar de la complejidad de los procedimientos permite asegurar que los mismos entregan resultados de calidad, constatada por evaluadores externos.

9.4- Resultados.

La totalidad de los resultados de determinación de la cantidad de MPS insoluble, soluble y total, así como la composición del material particulado se presentan en el **Anexo 8**, que contiene los informes de análisis, con los resultados oficiales.

La cantidad promedio de material particulado en cada una de las estaciones se presenta en la tabla 9.1, expresada en $\text{mg}/\text{m}^2_{\text{d}}$.

No existe una norma primaria para MPS a nivel nacional. A modo de referencia el D.S. 4/1992 del Ministerio de Agricultura establece Norma de calidad de aire para



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



material particulado sedimentable para la cuenca del Río Huasco en la Región de Atacama. Los niveles establecidos son: $150 \text{ mg/m}^2\text{d}$ como concentración media aritmética mensual y $100 \text{ mg/m}^2\text{d}$ como concentración media aritmética anual.

De acuerdo a lo presentado en la tabla, en la mayoría de los lugares hay concentraciones mayores al valor de referencia mensual y al valor de referencia anual. Solamente las estaciones en Valle Alegre e Interior Puchuncaví tienen concentraciones de MPS inferiores a los valores de referencia, tanto mensual como anual.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 9.1 Contenidos máximo y promedio de MPS (en $\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$) en las estaciones de muestreo comparados con los criterios referenciales de la norma secundaria del Valle del Huasco.

ID	Nombre estación	Máximo		Promedio	
		$\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$	>150	$\text{mg}/\text{m}^2\text{-d}$	>100
1	Hogar de Ancianos Ventana	328	Si	144	Si
2	La Greda	315	Si	157	Si
3	Sur	144		77	
4	Consultorio Concón	277	Si	165	Si
5	Junta Vecinos Concón	188	Si	97	
6	Los Maitenes	127		81	
7	Las Gaviotas	118		82	
8	Colmo	185	Si	103	Si
9	Valle Alegre	129		53	
10	Horcon	255	Si	104	Si
11	Consult-Puchuncaví	408	Si	156	Si
12	Loncura	160	Si	102	Si
13	Quintero-AES	167	Si	96	
14	Quintero-GNL	136		98	
15	Mantagua	140		91	
16	Champiñon	218	Si	148	Si
17	Interior-concon	546	Si	263	Si
18	Cementerio	261	Si	148	Si
19	Interior-puch	199	Si	102	Si
20	Caleta Concón	201	Si	105	Si

En la figura 9.4 se presenta la cantidad de MPS insoluble para todas las estaciones durante los diferentes meses. En el mes de agosto, las lluvias acontecidas en la zona no permitieron obtener muestras de material particulado.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

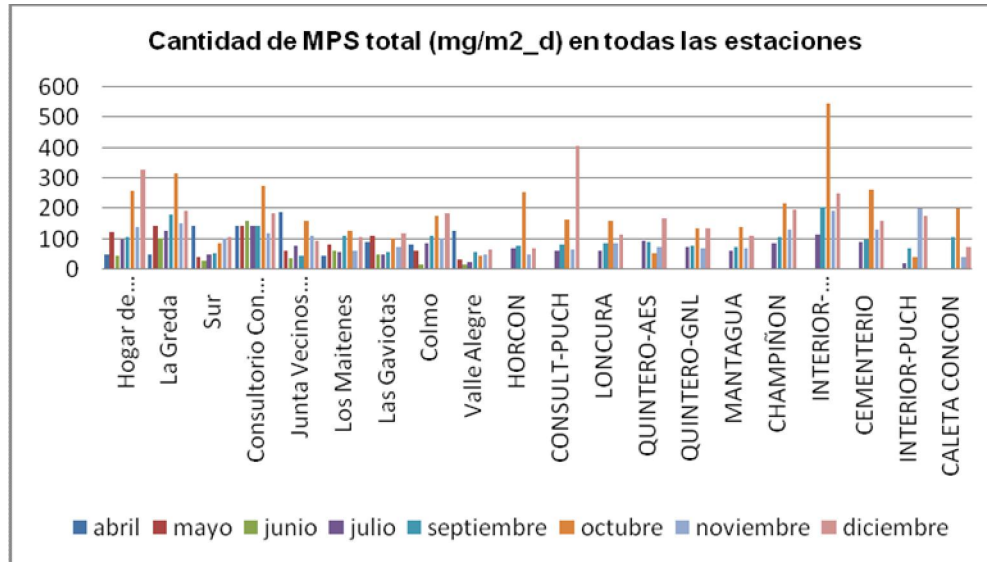
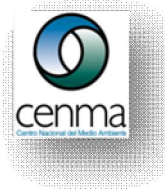


Figura 9.4.- Contenidos de MPS total (mg/m²_d) en las estaciones de muestreo durante el período de estudio.

Por otra parte, en la figura 9.5 se presentan los valores promedio por comuna para la cantidad total de material particulado sedimentable. Se observa que la mayor cantidad de material sedimentable se encuentra en la comuna de Concón y respecto del tiempo, los mayores valores se obtuvieron en el mes de octubre.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

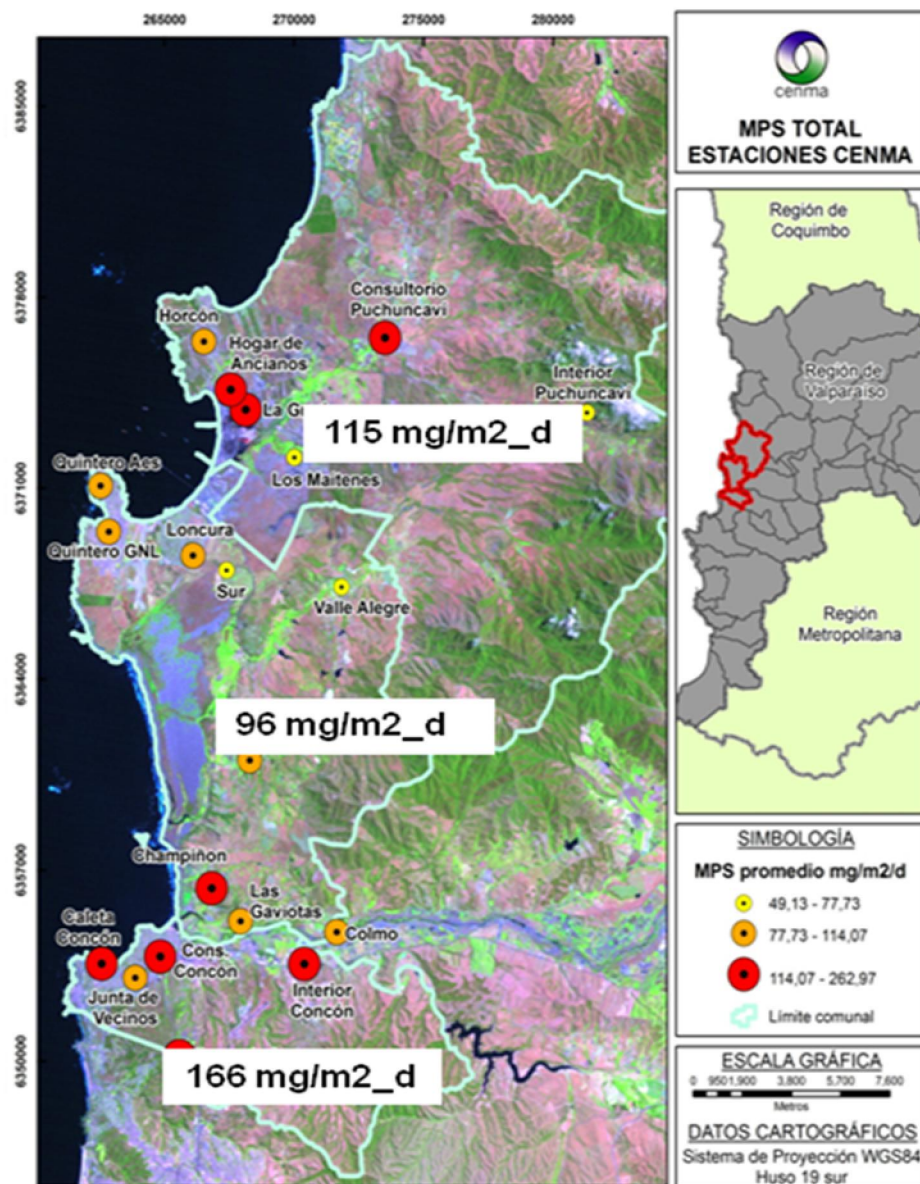


Figura 9.5 Mapa con los valores promedio de MPS total por estaciones y los promedios por comuna.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Respecto a las concentraciones de metales en el material particulado sedimentable (MPS-fracción insoluble) en la figura 9.6 se presenta la distribución de los valores promedio (expresados en mg/kg) por comuna para los metales Cd, As, Pb, Cr, Ni, Zn, Mn, V, Mo y Cu. No se encontró Se en el material particulado sedimentable.

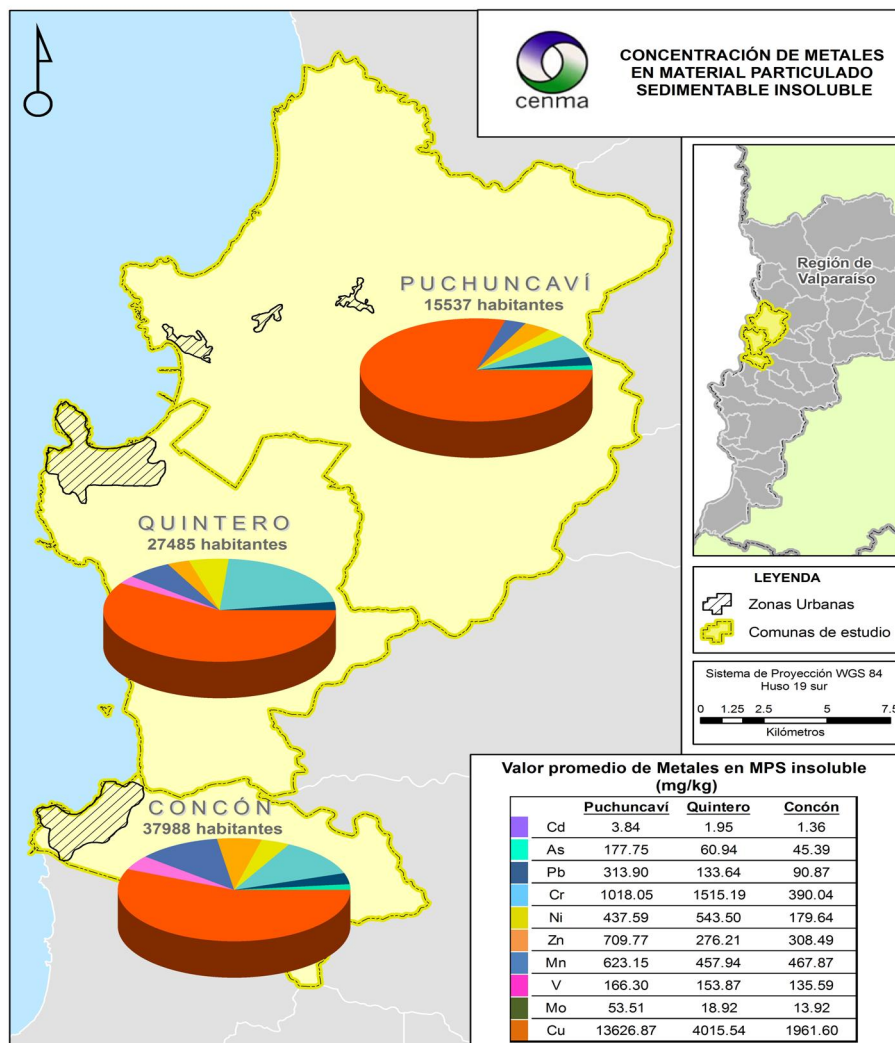


Figura 9.6- Valores promedio de concentración de metales (mg/kg) en MPS insoluble, por comunas.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



En la tabla 9.2 se presentan los valores promedio de concentración (mg/kg) de metales en el MPS insoluble (o polvo grueso), indicando para cada uno los valores mínimo, máximo y promedio general para las estaciones ubicadas en la Comuna de Puchuncaví. A modo de comparación se han incluido los intervalos de valores de metales reportados por el informe de la Seremi de Salud, en 2011. Los valores promedio encontrados en este estudio corresponden a los anteriormente reportados para casi todos los metales.

Por otra parte, en las tablas 9.3 y 9.4 se presentan los resultados promedio de concentración de metales en el MPS insoluble (o polvo grueso) de las estaciones correspondientes a las comunas de Quintero y de Concón respectivamente.

Para las tres comunas, los contenidos de cobre son notablemente mayores que el resto de los metales.



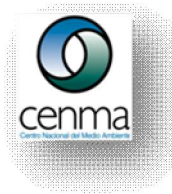
INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.2 Concentraciones promedio de los metales estudiados en MPS insoluble o polvo grueso, para las estaciones ubicadas en la Comuna de Puchuncaví comparados con los intervalos de concentración de metales en polvo reportados en el estudio de la SEREMI de Salud en 2011.

Estación	Concentración promedio de metales en MPS insoluble (polvo grueso)									
	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	V (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Hogar de Ancianos	6,78	332,27	422,24	717,77	190,21	1067,75	1182,59	358,85	117,59	29014,76
La Greda	3,96	361,25	475,45	223,60	156,31	1252,30	421,24	129,70	86,41	25885,89
Los Maitenes	2,81	224,15	519,28	429,38	106,76	1141,86	376,03	121,53	69,13	12582,28
Horcón	1,43	67,20	157,97	418,55	131,86	142,50	390,24	129,12	17,04	4198,05
Consultorio Puchuncaví	2,38	66,98	123,52	602,30	272,43	379,11	478,69	110,50	22,65	5820,00
Interior-Puchuncaví	5,69	14,66	184,95	3716,71	1767,98	275,10	890,10	148,13	8,20	4260,23
Minimo	1,43	26,97	104,06	223,60	106,76	142,50	376,03	110,50	12,97	4198,05
Máximo	6,78	361,25	519,28	3628,64	1744,75	1252,30	1182,59	358,85	117,59	29014,76
Promedio	3,73	179,80	300,42	1003,37	433,72	712,40	618,05	164,08	54,30	13726,87
Intervalo según estudio Seremi Salud 2011, polvo en escuelas	0,42 – 13,19	13,21 – 228,4	12,16 - 279	12,62 – 215,54	10,18 – 183,92	226,4 - 2501	-	-	-	237,18 – 20200,2
Contenido ceniza volante ¹⁴	1,63-2,19	37,9 – 48,1	14,6 – 19,2	65,1 – 80,8	102 - 112	75,6 - 117	121 - 272	203 - 229	15,8 – 20,2	54,3 – 63,7

¹⁴ Tomado de http://seia.sea.gob.cl/archivos/Anexo_2_Verificacion_DS_148.pdf. Adenda N° 1 en respuesta a la Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones a la Adenda del Proyecto "Manejo y Disposición de RISES de combustión del Complejo Termoeléctrico Ventanas "



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 9.3 Concentraciones promedio de los metales estudiados en MPS insoluble o polvo grueso, para las estaciones ubicadas en la Comuna de Quintero.

COMUNA DE QUINTERO										
Estación	Concentración de metales en MPS insoluble (polvo grueso)									
	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	V (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Sur	1,91	133,05	252,60	636,14	158,62	393,44	353,14	115,22	38,77	8943,71
Valle Alegre	1,15	60,89	161,57	348,89	211,17	375,87	448,46	110,97	19,33	4830,96
Loncura	2,65	68,20	138,70	291,19	85,72	262,63	433,38	152,93	18,23	4795,59
Quintero-AES	2,06	49,34	149,09	4538,72	1053,00	297,19	422,15	195,19	28,25	3248,69
Quintero-GNL	1,61	63,63	116,47	2598,11	1167,01	205,76	387,07	169,85	12,14	3725,22
Mantagua	2,49	34,17	74,22	681,93	322,88	213,41	627,04	179,06	9,50	1551,03
Champiñon	1,75	17,31	42,81	1511,37	806,11	185,19	534,33	153,87	6,20	1013,58
Minimo	1,15	17,31	42,81	291,19	85,72	185,19	353,14	110,97	6,20	1013,58
Máximo	2,65	133,05	252,60	4538,72	1167,01	393,44	627,04	195,19	38,77	8943,71
Promedio	1,95	60,94	133,64	1515,19	543,50	276,21	457,94	153,87	18,92	4015,54

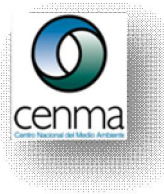


INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 9.4 Concentraciones promedio de los metales estudiados en MPS insoluble o polvo grueso, para las estaciones ubicadas en la Comuna de Concón.

COMUNA DE CONCON										
Estación	Concentración de metales en MPS insoluble (polvo grueso)									
	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	V (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Consultorio Concón	1,90	35,07	65,37	148,66	83,43	601,79	474,00	172,06	9,59	3399,42
Junta de Vecinos	1,37	16,47	76,28	311,12	132,69	221,99	463,57	139,66	6,30	782,49
Las Gaviotas	1,39	24,56	53,49	235,81	112,41	232,68	534,49	139,77	6,54	1135,73
Colmo	1,00	98,79	181,38	276,72	106,86	496,89	461,89	117,94	28,35	6239,54
Interior-Concon	1,47	13,89	29,04	348,26	168,20	221,66	595,35	102,99	2,14	415,90
Cementerio	1,16	15,24	66,99	1043,10	496,62	128,56	338,12	146,58	3,90	371,36
Caleta-Concón	1,23	113,73	163,52	366,58	157,28	255,88	407,70	130,12	40,57	1386,77
Minimo	1,00	13,89	29,04	148,66	83,43	128,56	338,12	102,99	2,14	371,36
Máximo	1,90	113,73	181,38	1043,10	496,62	601,79	595,35	172,06	40,57	6239,54
Promedio	1,36	45,39	90,87	390,04	179,64	308,49	467,87	135,59	13,92	1961,60



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



9.5.- Selección de contaminantes de interés.

9.5.1 Contaminantes positivamente identificados.

Respecto del material particulado sedimentable (MPS o polvo grueso), los contaminantes positivamente identificados, que pasan a ser contaminantes de interés son:

- Cadmio
- Arsénico
- Plomo
- Cobre
- Cromo
- Níquel
- Zinc
- Manganeso
- Vanadio
- Molibdeno

A continuación se presentan figuras que ilustran la distribución por metales en el material particulado sedimentable, destacando que las estaciones con mayor concentración de metales en el MPS, generalmente, se ubican en la comuna de Puchuncaví:



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

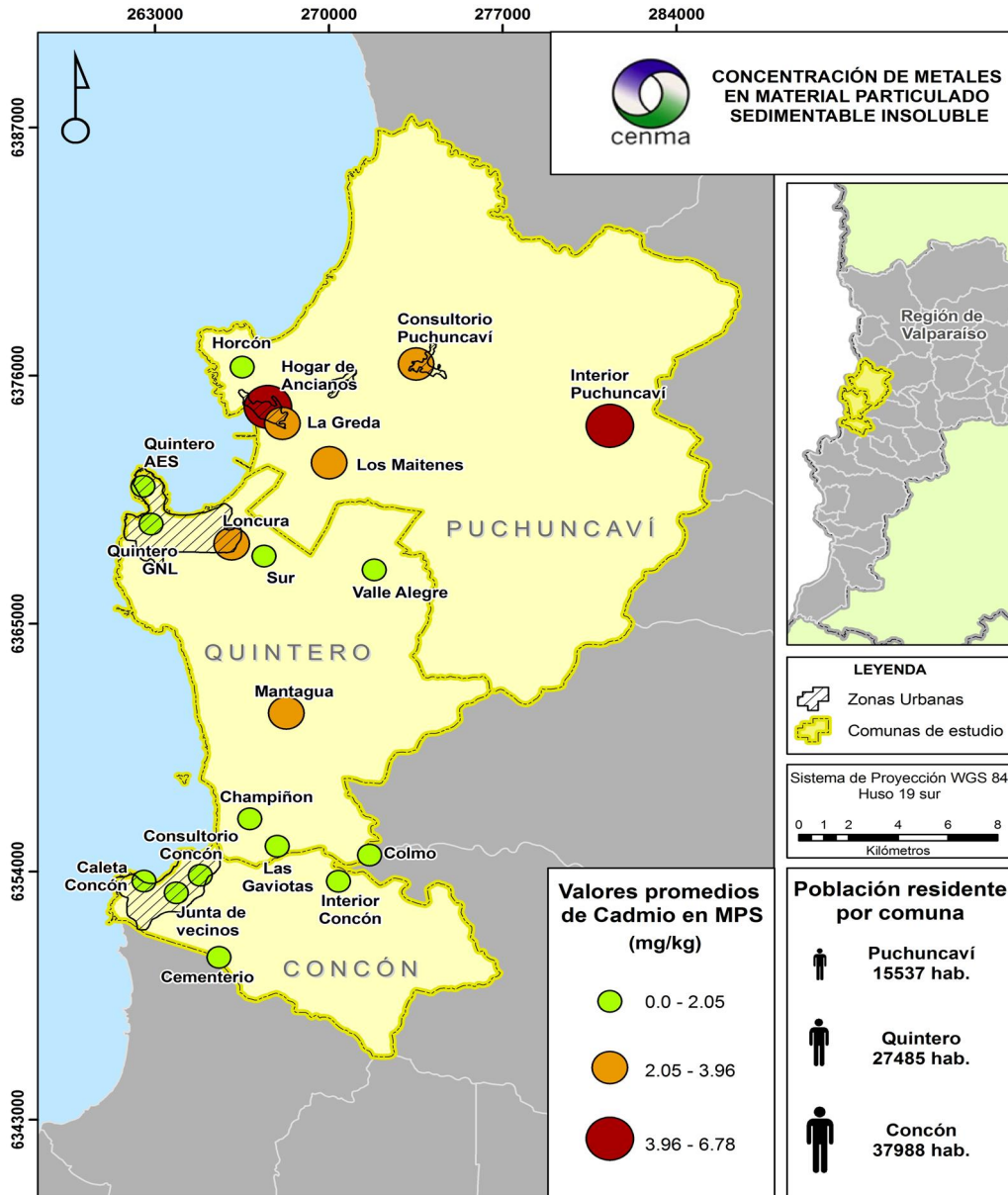


Figura 9.7. Concentración promedio de cadmio (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

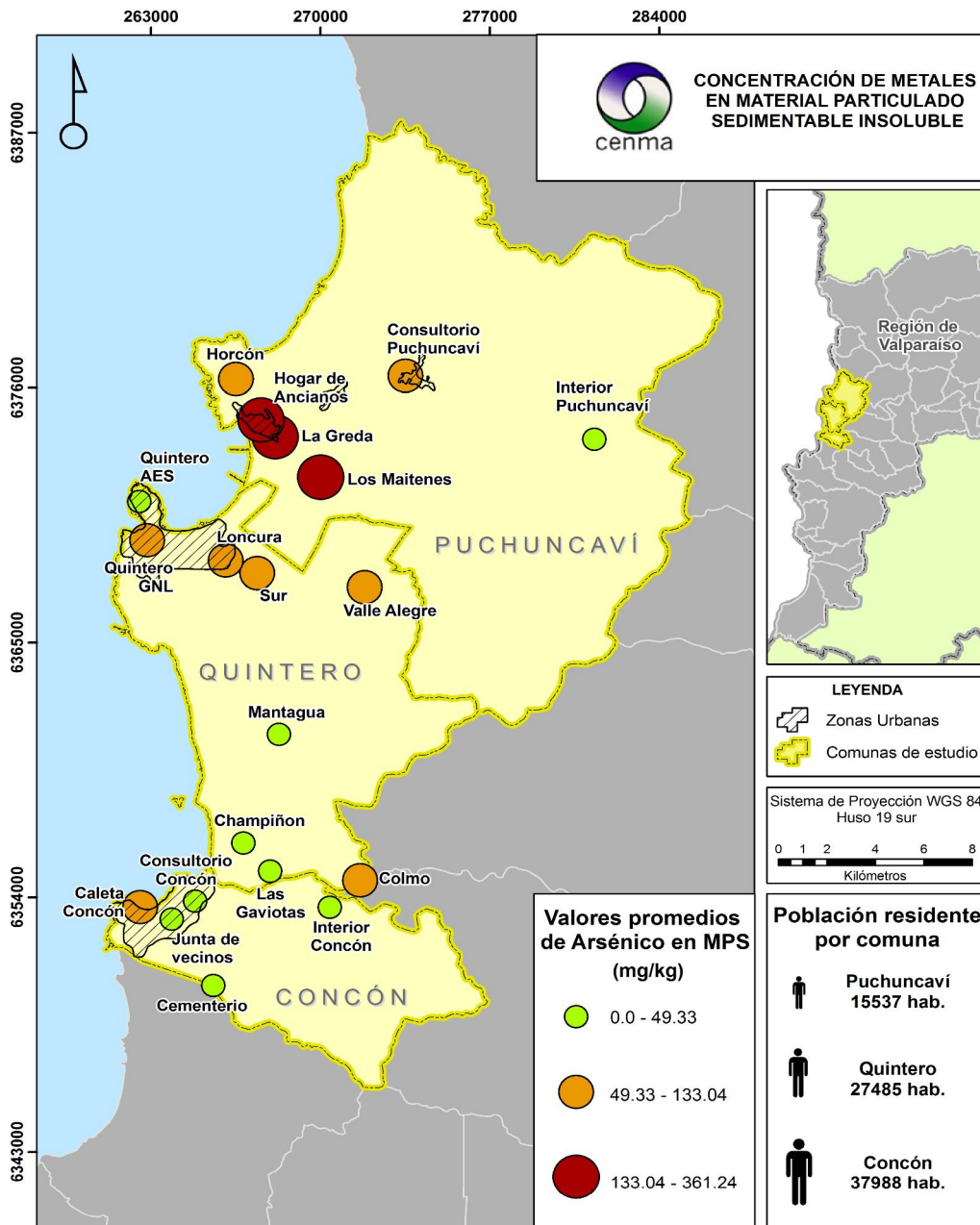


Figura 9.8. Concentración promedio de arsénico (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

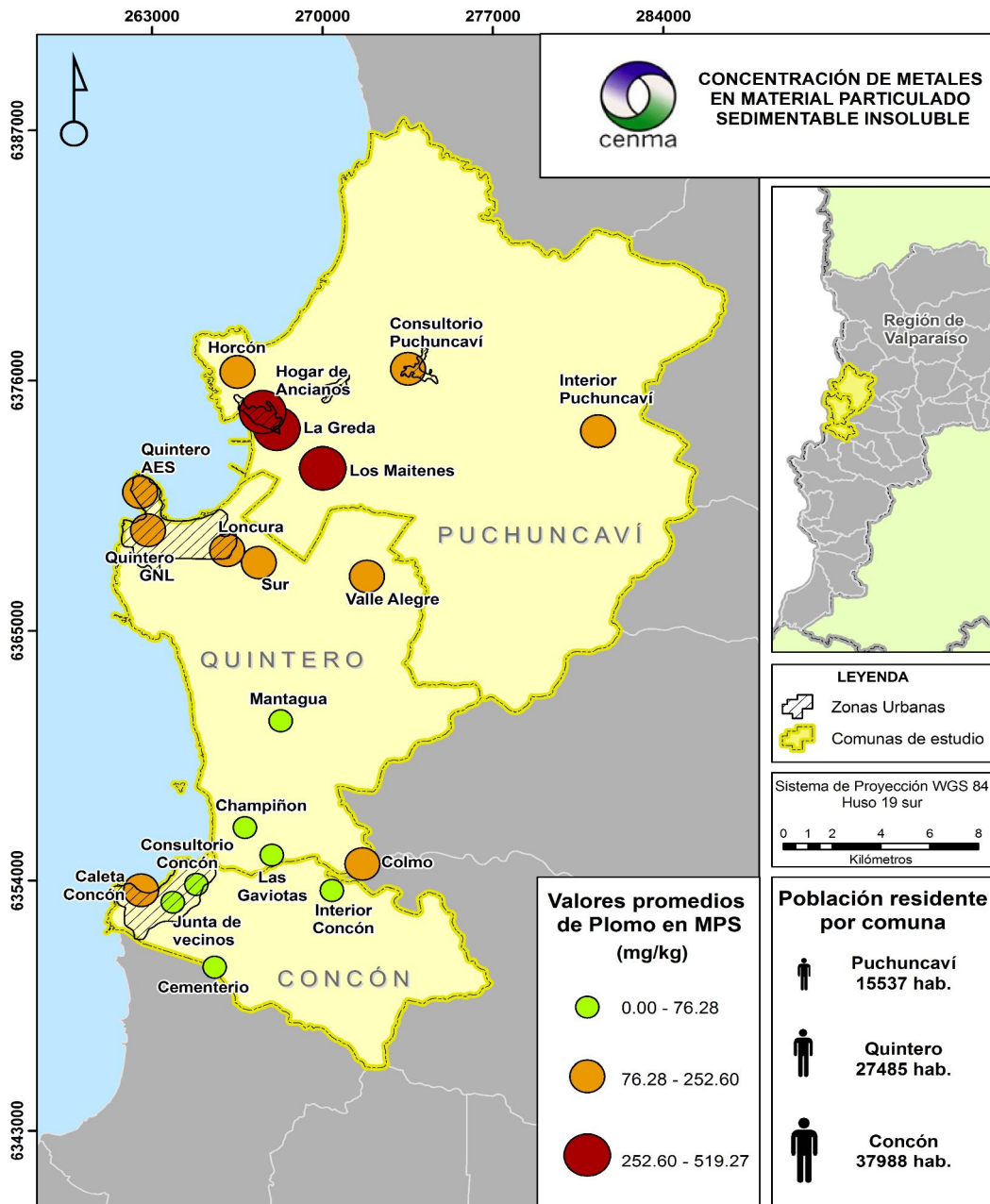


Figura 9.9. Concentración promedio de plomo (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

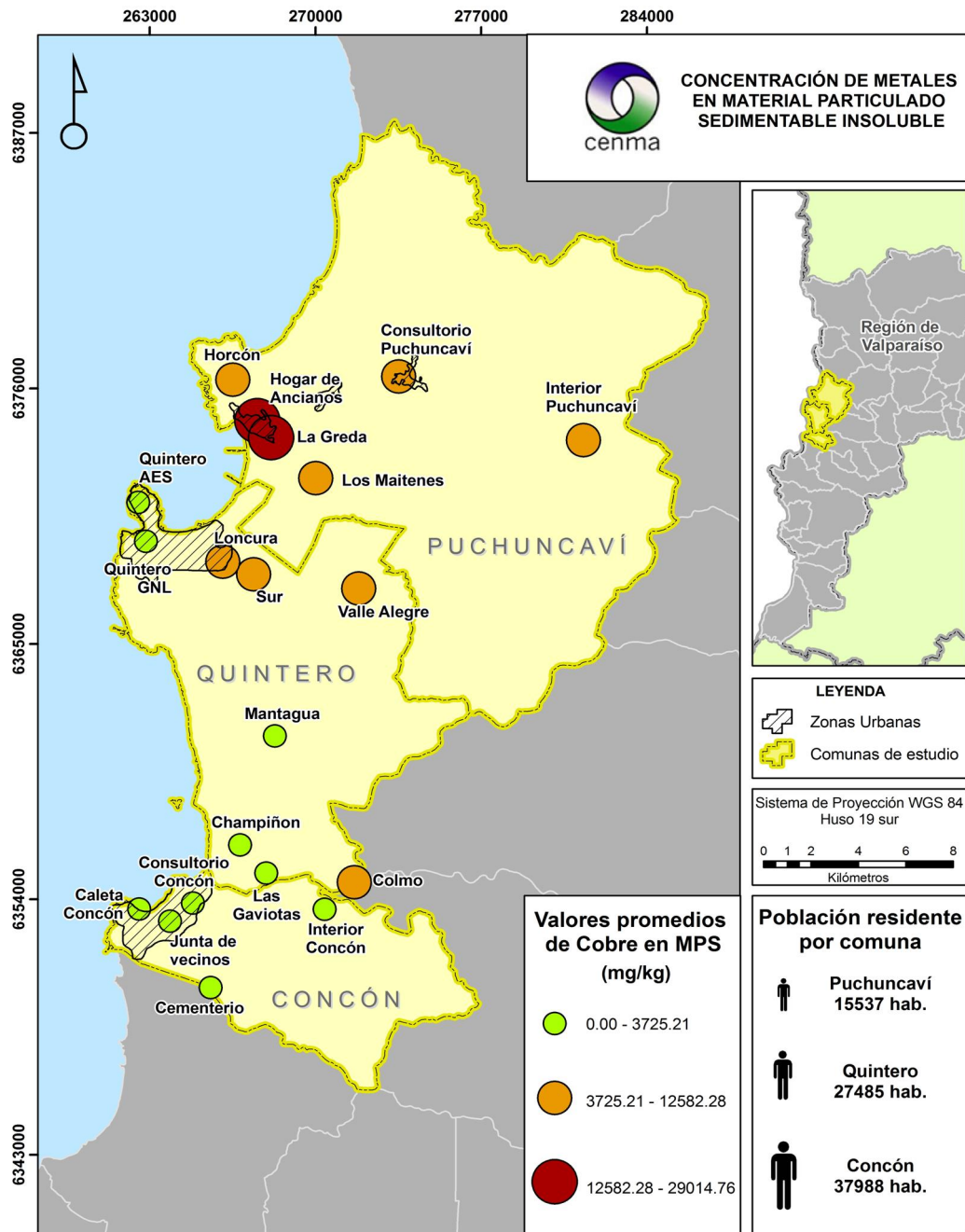


Figura 9.10. Concentración promedio de cobre (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

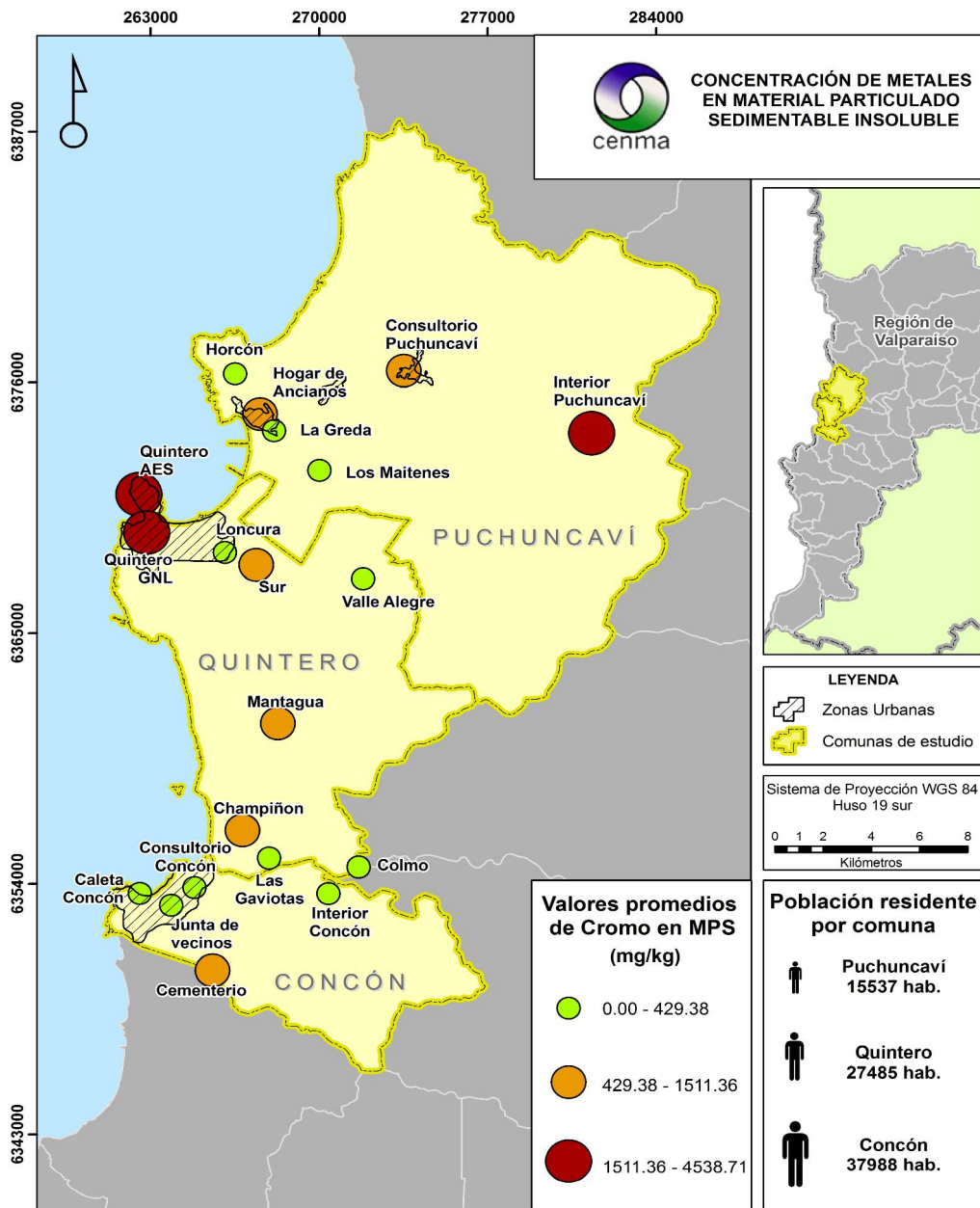


Figura 9.11. Concentración promedio de cromo (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Quintero y al interior de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

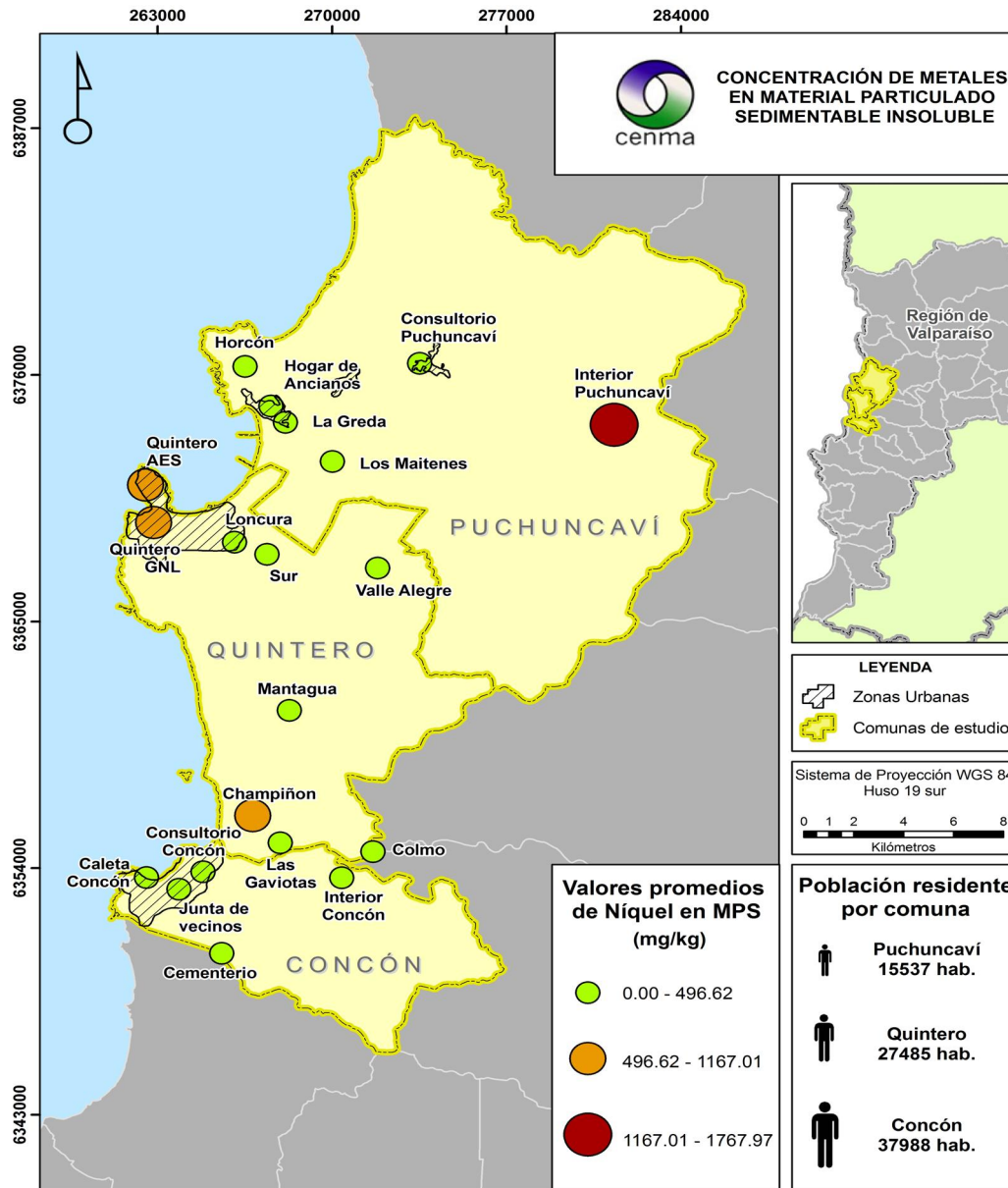


Figura 9.12. Concentración promedio de níquel (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en el interior de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

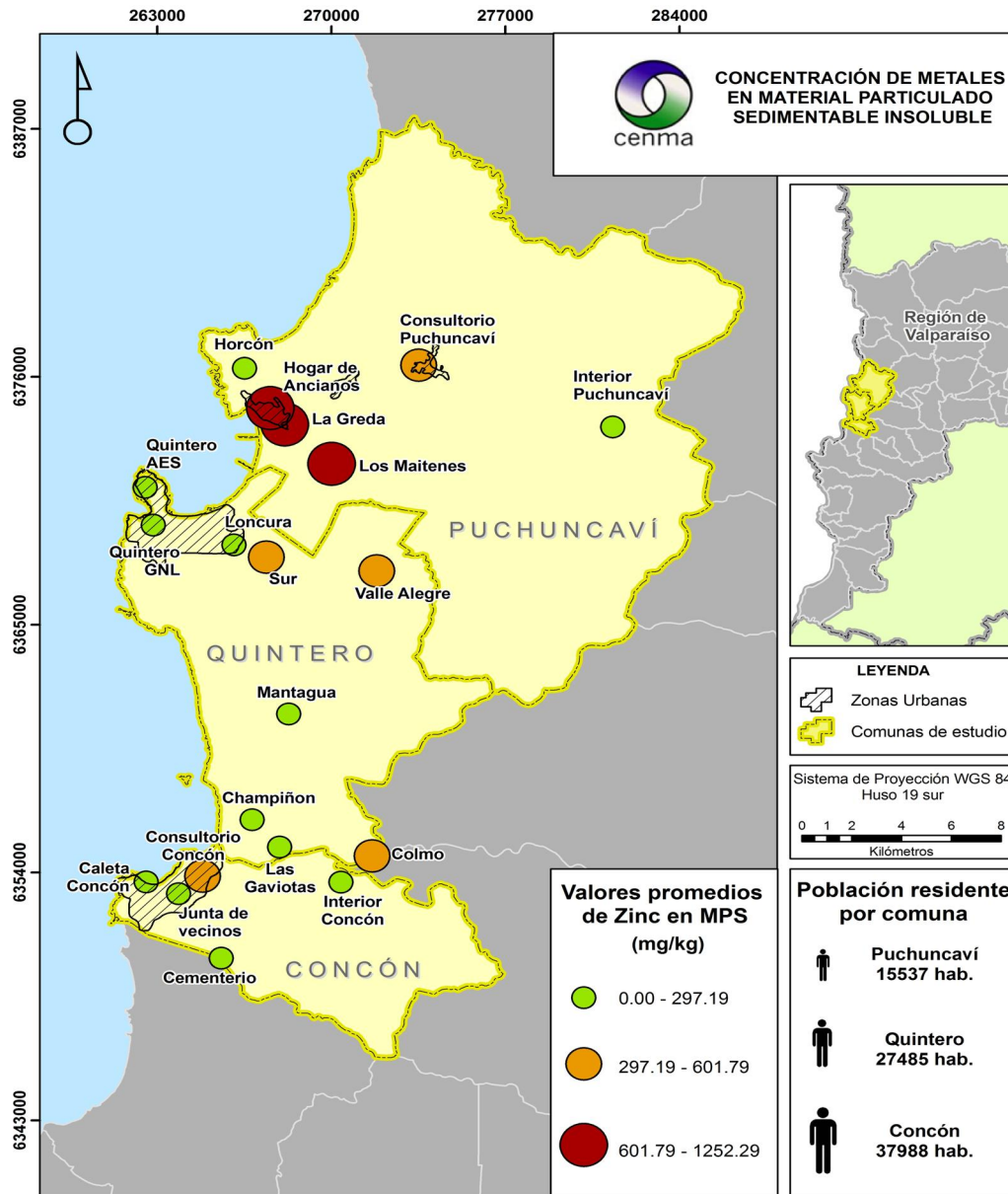


Figura 9.13. Concentración promedio de zinc (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

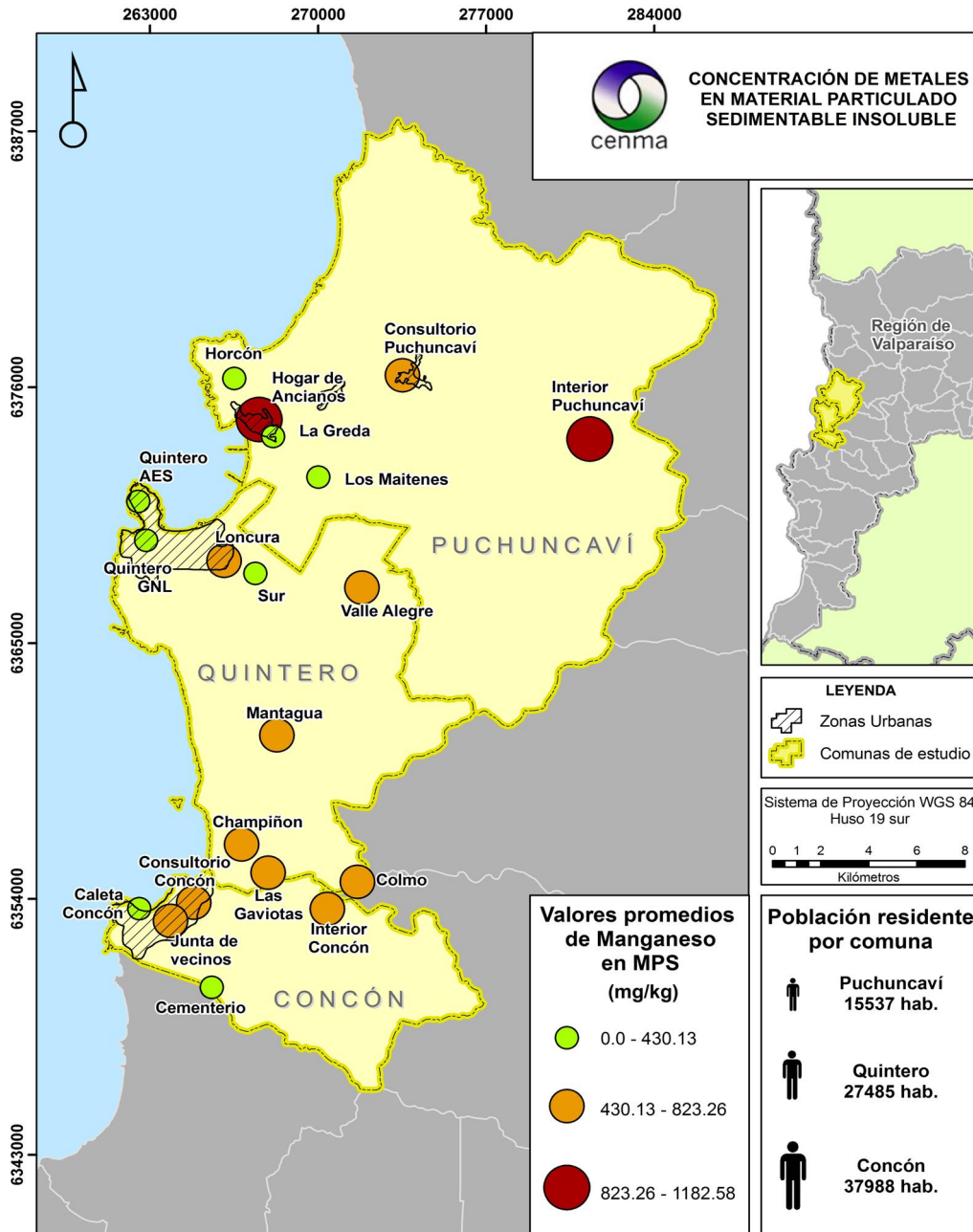


Figura 9.14. Concentración promedio de manganeso (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

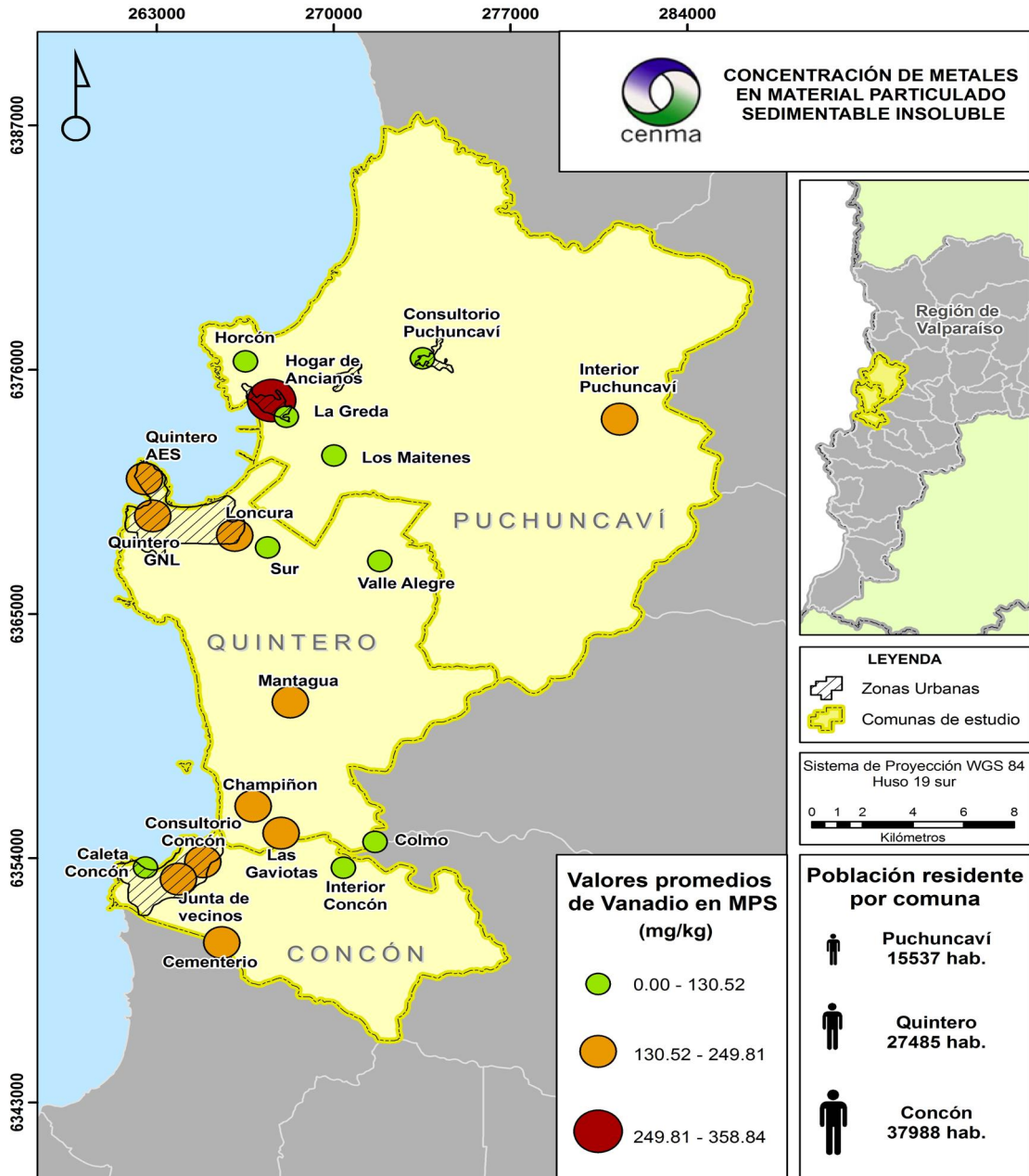


Figura 9.15. Concentración promedio de vanadio (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

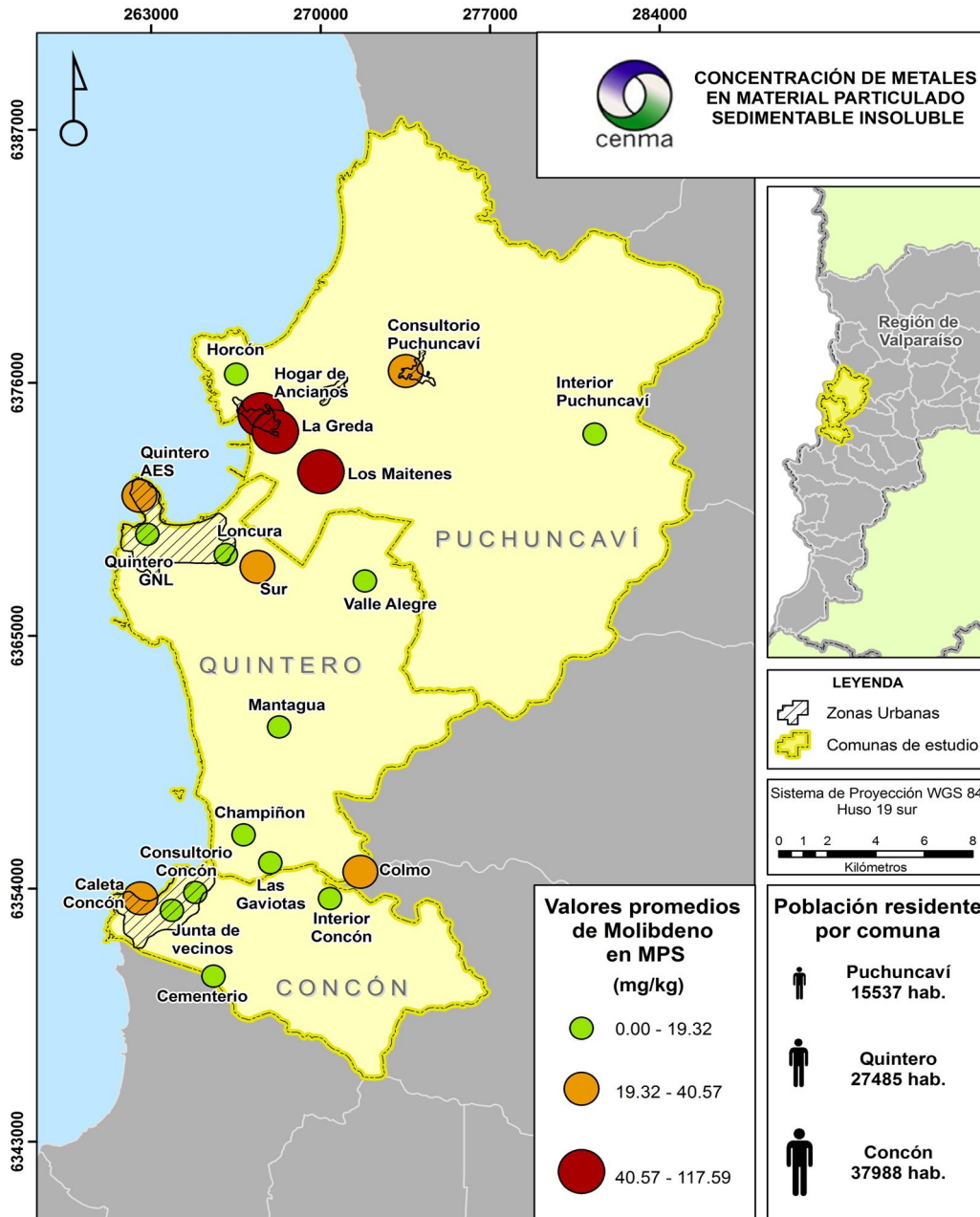


Figura 9.16. Concentración promedio de molibdeno (mg/kg) en Material Particulado Sedimentable en todas las estaciones en estudio. Las mayores concentraciones se encontraron en la comuna de Puchuncaví.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



9.5.2 Perfil de toxicidad.

Para estimar la exposición y el riesgo, es necesario recopilar información completa acerca de la toxicidad cualitativa y cuantitativa para cada contaminante en estudio.

A continuación se presenta una breve reseña del perfil de toxicidad de cada uno de los contaminantes de los cuales existe evidencia de presencia en las diversas fuentes en Concón, Quintero y Puchuncaví. Las vías de exposición de interés son la oral, dérmica e inhalación, para exposiciones agudas o crónicas.

Los perfiles de toxicidad se basan en una revisión de numerosas fuentes de información, incluyendo:

- Handbook on the Toxicology of Metals, G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, y L.T. Friberg. Third edition, 2007. Academic Press/Elsevier.
- Toxicological Profile (específico para cada sustancia peligrosa). ATSDR, U.S. DHHS.
- Present Knowledge of Nutrition. Seventh edition. E.E. Ziegler and L.J. Filer, editors. ILSI Press, Washington, DC, 1996.

El perfil de cada contaminante se ha centrado alrededor de estudios en humanos, y estudios de bajas concentraciones con exposición crónica. Estos son comparables a los niveles existentes en el medio ambiente en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Arsénico

El arsénico es una sustancia química con propiedades de toxicidad crónica no cancerígena, y cancerígena.

El arsénico urinario es un indicador de exposición reciente, ya que el arsénico inorgánico tiene una vida media de alrededor de 4 días. La concentración de arsénico urinario está relacionada principalmente con la concentración en el agua de bebida, y del consumo diario de agua. Se recomienda medir en orina recolectada por 24 horas, y reportar resultados respecto a creatinina o sin creatinina. El arsénico total urinario es un biomarcador menos útil de exposición a arsénico inorgánico, a menos que se pueda excluir la ingestión de productos marinos, porque el arsénico está presente como arsenobetaina proveniente del consumo de pescados y mariscos y aunque no es tóxico, aparece en la sangre. Los metabolitos ácido monometilarsónico (MMA) y ácido dimetilarsónico (DMA) en la orina pueden ser afectados por consumo de pescados, mariscos (mejillón), y algas marinas, que pueden contener DMA. El porcentaje de MMA en metabolitos totales de arsénico inorgánico en orina puede ser usado como marcador de exposición de dosis biológicamente efectiva.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



El arsénico sanguíneo no es un biomarcador sensible de exposición a arsénico inorgánico. Los niveles de arsénico en sangre no son buenos indicadores exactos de exposición, ya que el arsénico se elimina de la sangre dentro de pocas horas de la exposición (la vida media es de aproximadamente 4 días). Por lo tanto valores de arsénico sanguíneo reflejan exposición en el pasado reciente. Valores típicos en individuos no expuestos son inferiores a 1-2 $\mu\text{g/L}$. Niveles agudamente tóxicos y fatales están en los $\geq 1.000 \mu\text{g/L}$. Si la exposición es larga y continua, el arsénico sanguíneo alcanza un estado de equilibrio estable y refleja el grado de exposición. Debido a que los resultados se expresan como arsénico total, el valor puede estar afectado por consumo de pescado y mariscos, que contienen arsénico orgánico.

El efecto más característico de la exposición oral prolongada a arsénico inorgánico es un cuadro de alteraciones de la piel tales como la hiperpigmentación y queratosis. Estas incluyen un oscurecimiento de la piel y la aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de los pies y el torso, a menudo asociados con alteraciones en los vasos sanguíneos de la piel. Un número pequeño de callos puede a la larga transformarse en cáncer de la piel. La exposición más prolongada a niveles más bajos puede producir efectos de la piel y también desórdenes circulatorios y de los nervios periféricos. Si la piel entra en contacto directo con compuestos inorgánicos de arsénico, la piel puede sufrir irritación, enrojecimiento e hinchazón.

Otros efectos reportados en la literatura médica asociados a exposición al arsénico son bronquiectasia, una dilatación crónica de los bronquios o bronquiolos como secuela de una obstrucción o enfermedad inflamatoria. Ulceraciones del cuero cabelludo son comunes.

WHO, DHHS y la USEPA han determinado que el arsénico inorgánico es un carcinógeno en seres humanos basados en numerosos estudios que han demostrado que el arsénico inorgánico puede aumentar el riesgo de cáncer del pulmón, carcinoma (cáncer) de la piel, la vejiga, el hígado, el riñón y la próstata.

Biomarcadores de efectos biológicos *tempranos* al arsénico incluyen niveles sanguíneos de oxidantes reactivos y capacidad anti-oxidante, expresión genética de moléculas antiinflamatorias, como también cambios citogenéticos incluyendo intercambio de cromátidas hermanas, micronúcleos, y aberraciones cromosomales de linfocitos periféricos. Indicadores de exposición *crónica* a arsénico incluyen hiperpigmentación dérmica, e hiperqueratosis palmoplantar.

Exposición crónica al arsénico, está asociada a un aumento en los riesgos de enfermedad cardiovascular, vejiga, pulmonar, renal, y neurológico. Exposición en niños también aumenta el riesgo de déficit intelectual y desórdenes respiratorios.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Criterios de toxicidad. La DRf oral es $3,0E-04$ (mg/kg-día), y la CRf inh = $1.0E-05$ mg/m³. Los efectos críticos son la hiperpigmentación, queratosis y posibles complicaciones vasculares.

USEPA establece que el arsénico inorgánico es carcinogénico en seres humanos, con Peso de Evidencia Clase A (es un reconocido cancerígeno humano), con FPC oral $1,5$ (mg/kg-día)⁻¹, FUR inh = $4,3 \times 10^{-3}$ (μg/m³)⁻¹ [10]. El Riesgo Unitario oral = 5×10^{-5} para una exposición de por vida a agua conteniendo arsénico 1 μg/L. El arsénico no tiene AEGLs desarrollados.

Cadmio

El daño tubular renal es considerado un efecto crítico. Detección de daño temprano se hace por medición de niveles urinarios aumentados de beta₂-microglobulina (βMG), la enzima N-acetilglucosaminidasa, y la α₁-microglobulina (“proteína HC”). Un exceso en la excreción de βMG (>1 mg/g creatinina) o reabsorción tubular disminuida de fosfato son biomarcadores de daño tubular.

Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea. El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire, los alimentos o el agua; esta acumulación puede producir enfermedades renales. Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición de larga duración. Contacto de la piel con cadmio no parece constituir un riesgo para la salud ya sea en animales o seres humanos.

La USEPA ha determinado que el cadmio potencialmente causa los siguientes efectos cuando la gente ha sufrido exposición a niveles por encima del MCL por períodos relativamente breves: náuseas, vómitos, diarrea, calambres musculares, salivación, cambios sensoriales, daño hepático, convulsiones, shock y falla renal. Exposición crónica puede producir daño renal, daño óseo, cardiovascular, hematológico, hepático, neurológico, y testicular. Estudios recientes muestran relación entre cadmio urinario y aumento de riesgo prediabético y diabético, hipertensión, función pulmonar, y degeneración macular dependiente de la edad. Además, hay evidencia de una asociación cadmio-cáncer para los pulmones, páncreas, senos, endometrio, próstata, y vejiga urinaria.

Criterios de toxicidad. La DRf oral es $1,0E-03$ (mg/kg-día), y la CRf inh = $1,0E-05$ mg/m³. La dosis de referencia por exposición oral crónica en agua es DRf = $5E-4$ mg/kg-día, y para cadmio en alimentos es $1E-03$ mg/kg-día, basados en proteinuria significativa como efecto crítico. No hay AEGLs desarrollados para el cadmio.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La USEPA ha clasificado al cadmio con un peso de evidencia B1, es decir, es un *probable cancerígeno humano* basado en evidencia cancerígena limitada en humanos.

El Riesgo Unitario cancerígeno (FUR) por inhalación es $1,8E-03$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹.

Cromo

El cromo se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de Cr (0), trivalente (Cr (III)), y hexavalente (Cr (VI)). El cromo (III) es un elemento esencial que ayuda al organismo a promover la acción de la insulina en los tejidos a utilizar azúcar, proteínas y grasa. Sin embargo, respirar niveles altos de cromo (VI) puede causar irritación de la nariz, hemorragias nasales y úlceras así como perforaciones en el tabique nasal. La ingestión de grandes cantidades de cromo (VI) puede producir malestar estomacal y úlceras, convulsiones, daño en el hígado y en el riñón y puede causar la muerte. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede causar ulceración de la piel. Ciertas personas pueden ser extremadamente sensibles al cromo (VI) o al cromo (III). Se han descrito reacciones alérgicas consistentes en enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

Como evidencia de exposición de corto plazo, la USEPA ha encontrado que el Cr puede producir irritación de la piel o ulceración después de una exposición por encima del MCL = 0,1 mg/L en agua por períodos de tiempo relativamente cortos.

Criterios de toxicidad. Para el Cr (III), la DRf oral es $1,5E+0$ mg/kg-día, y no se han identificado efectos negativos en la salud, ya que el Cr (III) es un nutriente esencial.

Para el Cr (VI) la DRf oral es $3E-03$ mg/kg-día, y no se han observado efectos críticos.

Para aerosoles de ácido crómico y aerosoles con Cr (VI) disueltos, el CRfinh = $8E-06$ mg/m³, donde el efecto crítico es atrofia del tabique nasal, y para partículas de Cr (VI), la CRfinh = $1E-04$ mg/m³ donde el efecto crítico es presencia de deshidrogenasa láctica en fluido de lavado bronquialveolar. No hay AEGs desarrollados para el cromo (III) ni (VI).

USEPA y DHHS han determinado que ciertos compuestos de cromo (VI), tales como cromato de calcio, trióxido de cromo, cromato de plomo, cromato de estroncio y cromato de zinc, son carcinogénicos en seres humanos. IARC ha determinado que el cromo (VI) es carcinogénico en seres humanos sobre la base de suficiente evidencia en seres humanos expuestos al cromo (VI) en las



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



industrias de producción de cromatos, de colorantes de cromato y de cromado de metales. El cromo (VI) es un potente cancerígeno por la vía respiratoria, y puede causar reacciones irritativas y alérgicas de la piel.

El FPC oral es $5E-01$ mg/kg·día⁻¹ y el FUR inh $8,4E-02$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹.

Cobre

El cobre es liberado al medio ambiente principalmente en los procesos de extracción minera, plantas de tratamiento de lodos sépticos, disposición de desechos sólidos, procesos de soldadura y electroplateado, materiales de cableado eléctrico, materiales de instalación sanitarias (cañerías, grifos, abrazaderas, y varios tipos de tuberías), y procesos agrícolas (uso en pesticidas). Está presente en el aire y agua debido a descargas naturales tales como erupciones volcánicas y polvo arrastrado por el viento. Debido a su alta conductividad eléctrica, el cobre es usado extensivamente en la manufactura de equipo eléctrico y diferentes aleaciones metálicas.

El cobre se encuentra presente naturalmente en forma elemental y como componente de muchos compuestos. El Cu^{+2} es la forma más peligrosa a la salud. El agua potable se contamina con cobre debido a la presencia en diversos tipos de cañerías. Es un componente común de fungicidas y algicidas, y el uso agrícola del cobre para estos propósitos puede resultar en su presencia en suelos, agua subterránea, animales de granja (animales de pastoreo como vacas, caballos, etc.) y muchas formas de productos de animales (ATSDR 1990a).

El cobre también se encuentra presente en cerámicas, joyería, monedas, y pirotécnicos (ACGIH 1986). Aunque el cobre es un elemento traza esencial requerido por el organismo para una fisiología normal, un aumento en la exposición de cobre puede resultar en toxicidad por cobre y una gran variedad de complicaciones.

La absorción del cobre ocurre por los pulmones, tracto gastrointestinal y piel. La absorción por la vía digestiva depende de su estado químico y la presencia de otros metales tales como el zinc. Una vez absorbido se distribuye principalmente al hígado, riñones, bazo, corazón, pulmones, estómago, intestino, uñas y pelo.

Toxicidad. Personas con intoxicación cúprica muestran altos niveles de cobre en el hígado, riñones, cerebro y huesos. La toxicidad aguda por ingestión de cobre se caracteriza por dolores abdominales, diarrea, vómito, taquicardia, y un sabor metálico en la boca. Ingestión continua de cobre puede llevar a una cirrosis y otras condiciones debilitantes del hígado.

Inhalación de humos o polvos con cobre puede producir irritación de los ojos y del tracto respiratorio, dolores de cabeza, vértigo, somnolencia, escalofríos, fiebre, dolores musculares, y manchas en la piel y cabello en humanos. Trabajadores



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



vinícolas expuestos a humos o fumigaciones con cobre por largo tiempo desarrollaron fibrosis pulmonar y granuloma pulmonar, deterioro y enfermedad hepática (cirrosis, fibrosis, y varios cambios morfológicos).

Exceso de cobre parece afectar la reproducción y desarrollo en humanos y animales, y afecta la motilidad de los espermios. También se han descrito cambios fisiológicos y conductuales.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el cobre y sus compuestos es 4,0E-02 (mg/kg-día) donde el efecto considerado crítico es una selenosis clínica. No hay una concentración de referencia (CRf). El cobre es clasificable con peso de evidencia D, no carcinogénico en humanos. No hay AEGs desarrollados para el cobre.

Mercurio

La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar en forma permanente a los riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria. El sistema nervioso es muy susceptible a todas formas de mercurio.

La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos. El metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son más peligrosos que otras formas, ya que una mayor cantidad de estas formas de mercurio llega al cerebro. El mercurio puede causar severo daño neurológico, congénito, retardo sicomotor del niño, problemas gastrointestinales, problemas de la piel, nefritis glomerular, problemas inmunitarios, efectos tóxicos en el sistema cardiovascular e hígado.

El mercurio produce daño tubular renal. Detección de daño temprano se hace por medición de niveles urinarios aumentados de beta₂-microglobulina (βMG), la enzima N-acetilglucosaminidasa, y la proteína HC. Un exceso en la excreción de βMG (>1 mg/g creatinina) o reabsorción tubular disminuida de fosfato son biomarcadores de daño tubular.

El mercurio en el cuerpo de la madre puede traspasar las barreras de la placenta y cerebrales, pudiendo acumularse en el feto y en el cerebro. También puede pasar al niño a través de la leche materna. No obstante, los beneficios de amamantar pueden ser mayores que los posibles efectos nocivos del mercurio en la leche materna. Efectos nocivos del mercurio que puede pasar de la madre al feto incluyen daño cerebral, retardo mental, incoordinación, ceguera, convulsiones e incapacidad para hablar. Niños con envenenamiento de mercurio pueden desarrollar problemas al sistema nervioso y sistema digestivo y lesiones al riñón.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Criterios de toxicidad. La DRf oral para el mercurio inorgánico (cloruro de mercurio) es $3,0E-04$ (mg/kg-día) donde los efectos críticos son cambios en la autoinmunidad. La CRf inh = $3,0E-05$ mg/m³. El mercurio no es un reconocido cancerígeno en humanos. No hay AEGLs desarrollados para el mercurio.

Molibdeno

El molibdeno se encuentra en la naturaleza como mineral, principalmente en forma de molibdenita. También se recupera como desecho de la producción del cobre y operaciones mineras. El uso principal es en aleaciones de acero y en hierro fundido, y como tal, se utiliza en la industria de los armamentos, ingeniería aeronáutica, e industria automotriz. Se han identificado más de 50 formas inorgánicas de molibdeno, incluyendo los insolubles molibdeno metálico, disulfuro de molibdeno, y molibdato de plomo. Los compuestos solubles de molibdeno incluyen el molibdato de amonio, molibdato de calcio, óxido molibdico, molibdato sódico, y trióxido de molibdeno. El molibdeno en suelo normal varía entre 0,1 y 10 mg/kg, y en aire ambiental de zonas urbanas, varía entre 0,01-0,03 µg/m³.

El molibdeno es un elemento traza esencial para los humanos, animales, plantas, y microorganismos, en forma de molibdoenzimas. El requerimiento dietario es de 45-50µg/d. La ingesta diaria en humanos está alrededor del rango de las recomendaciones. Excepto por la nitrogenasa (una molibdoenzima necesaria para la fijación de nitrógeno en plantas), todas las molibdoenzimas contienen un cofactor de molibdeno conteniendo pteridina (un compuesto presente en vitamina B2 y ácido fólico, entre otros). Tres molibdoenzimas existen en animales y humanos, la xantino oxidasa (que produce ácido úrico), la aldehído oxidasa, y la sulfito oxidasa, que participan en el catabolismo de aminoácidos azufrados, purinas, y pirimidinas. Los suplementos nutricionales de molibdeno parecen producir toxicidad, con dolores de cabeza severos y psicosis.

No hay información acerca de la absorción del molibdeno por la vía de inhalación. La absorción gastrointestinal en humanos es rápida y alcanza 88-93%, pero en dietas conteniendo soya disminuye a 57%. Los compuestos solubles de molibdeno son fácilmente absorbidos después de la ingestión. Las concentraciones más altas se encuentran en riñones, hígado y huesos, y con exposición más prolongada, en la piel. El molibdeno reacciona con el colágeno de la piel y se acumula en el hueso largo y cartílago de crecimiento. La excreción, principalmente por la orina, es rápida. La vida media biológica $t_{1/2}$ es de pocas horas a unos pocos días; es más corta cuando la ingesta es alta, con un recambio más rápido. El nivel de molibdeno en plasma es de 0,3-1,1 µg/L, reflejando consumo dietario reciente. La excreción del molibdeno por la orina es proporcional a la ingesta.

El metabolismo del molibdeno está afectado por la ingesta de cobre y sulfatos. En ganado vacuno, una ingesta crónica alta en molibdeno y baja en cobre resulta en anemia, problemas gastrointestinales, problemas óseos, y retardo en el



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



crecimiento. En animales de laboratorio un exceso de molibdeno puede causar cambios funcionales y morfológicos en hígado, riñones, y bazo, con posible disminución del crecimiento y deformidades óseas.

Exposición ocupacional por 4-7 años a 1-19 mg/m³ a molibdeno metálico y trióxido de molibdeno puede causar irritación al tracto respiratorio superior, neumoconiosis (endurecimiento y fibrosis crónica del pulmón por depósito de polvos), con un aumento en ácido úrico sanguíneo y de síntomas semejantes a la gota, pero sin hiperuricosuria. En áreas con alta concentración de molibdeno y cobre en el suelo, se ha observado una alta incidencia de una enfermedad parecida a la gota. Los síntomas incluyen artralgia (dolor) de la articulación de la rodilla, manos, y pies, con deformación de las articulaciones, y aumento de molibdeno y ácido úrico en sangre y orina.

No se han identificado biomarcadores para el molibdeno. Hay una compleja interacción entre el molibdeno, cobre y azufre. Los tiomolibdatos, tienen poderosos efectos sobre el metabolismo del cobre. Algunos síntomas de toxicidad del molibdeno se parecen a los de una deficiencia de cobre, y un suplemento con cobre hace el problema reversible. En humanos, la toxicidad del cobre ha sido tratada con tetrahidromolibdato, como p.ej., en la enfermedad de Wilson (desorden recesivo autosomal con depósitos de cobre en hígado y cerebro en humanos que resulta en daño neurológico y cirrosis).

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el molibdeno y sus compuestos es 4,0E-02 (mg/kg·día) donde el efecto considerado crítico es un aumento en los niveles de ácido úrico. No hay CRf. El molibdeno no ha sido evaluado completamente para efectos cancerígenos.

Níquel

Níquel existe en la naturaleza principalmente en forma de sulfuros u óxidos. Las principales fuentes de contaminación ambiental son la combustión de carbón y petróleo en la generación de calor y energía, y la contaminación de las industrias del níquel. En grandes ciudades del mundo los niveles atmosféricos de níquel son de 120-170 ng/m³, y constituye la mayor fuente de exposición por inhalación no ocupacional. En el suelo los niveles están en el rango 0,2-1000 mg/kg, principalmente como cationes divalentes. En aguas naturales los niveles están en el rango 2-10 µg/L, y 0,2-0,7 µg/L en aguas de mar.

La U.S.EPA ha establecido que el nivel máximo de contaminante (MCL) de níquel en agua potable para consumo de por vida, es 0,1 mg/L, y la FDA limita el níquel en agua embotellada a 0.1 mg/L. Las principales fuentes de níquel en alimentos provienen de legumbres, espinaca, lechuga y nueces. Otras fuentes son los polvos de hornear, y cocoa en polvo. Se estima que el total de ingesta diaria de níquel es de alrededor de 200-300 µg/d. El contenido de níquel en los cigarrillos (2,3-4,2



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



mg/kg) y el tabaco (2,2-4,9 mg/kg) es alto, independiente del origen y tipo de tabaco.

Exposición ocupacional al níquel ocurre en las operaciones mineras, refinерías, fundiciones, fábricas y plantas químicas, además de exposición durante el manejo de herramientas de corte de metales, electrolisis y purificación de electrolito. También se liberan humos con níquel en la soldadura de acero inoxidable y soldadura de aleaciones con níquel. Los niveles ocupacionales de níquel y compuestos (soluble inorgánico, insoluble inorgánico, subsulfuro, tetracarbonilo $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$) están altamente regulados en muchos países debido a la alta toxicidad de los compuestos. P.ej., exposición a 2 ppm níquel carbonilo es considerada por la NIOSH como “inmediatamente peligrosos para la vida y la salud”.

La esencialidad del níquel en humanos no ha sido demostrada. El suplemento nutricional diario de níquel en humanos se estima en menos de 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

La absorción gastrointestinal del níquel en humanos es de alrededor de 1%, y es aún menor en presencia de contenido gástrico. La absorción en el tracto respiratorio es de alrededor del 20%, con aproximadamente 30% níquel inhalado depositado en los pulmones. La absorción por la piel es importante, con alrededor de 30% de la población padeciendo de dermatitis por contacto y alergia al níquel, más prevalente en mujeres. La retención de níquel es importante en riñón, seguido por pulmón, cerebro y páncreas.

El transporte de níquel hacia y desde las células depende de la transferrina, una proteína que también transporta hierro, manganeso, cobalto, cobre y zinc, lo que genera competencia entre níquel y hierro.

La excreción en humanos es principalmente por la orina, y secundariamente por la saliva y sudor. El níquel en las heces proviene del no absorbido, de la bilis, y del eliminado traqueal. La vida media ($t_{1/2}$) es de 2-3 días. El máximo de níquel en suero es 1 h después de la ingesta de níquel en agua potable, pero la depuración de partículas insolubles de níquel puede tomar varios meses.

El níquel sérico y urinario son mediciones útiles para exposiciones ambientales y ocupacionales. El nivel normal de níquel en adultos no expuestos es 0,05-0,1 $\mu\text{g}/\text{L}$ en suero y 0,5-4,0 mg/g creatinina en orina. Los niveles más altos de níquel se encuentran en los pulmones, los que aumentan con la edad. El níquel en la orina de fumadores es significativamente más alto que en la de no fumadores. No hay biomarcadores buenos y validados para exposición a níquel.

Efectos tóxicos por inhalación o ingestión aguda de compuestos solubles de níquel o níquel carbonilo resulta en dolor de cabeza, vértigo, náusea, vómito, efectos nefrotóxicos, y neumonía seguido de fibrosis pulmonar. Los efectos de una inhalación crónica incluyen rinitis, sinusitis, perforaciones del septum nasal, y



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



asma. El níquel es hepatotóxico e induce peroxidación lipídica sistémica con gasto de glutatión. Inhalación crónica de níquel puede producir rinitis hipertrófica y sinusitis, formación de pólipos nasales, y perforación del septum nasal. También puede haber cambios en el sentido del olfato.

El níquel está asociado con alergia por contacto: alrededor de un 30% de la población, en particular en personas con *body piercing*. La respuesta inmune y reacciones cutáneas incluyen urticaria, exema, eritema y prurito. La respuesta tardía incluye reacciones eccematosas. Se ha estimado que 5% de la población sensibilizada reacciona a concentraciones tan bajas de níquel como $0,44 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 10% reacciona a $1,04 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

El níquel es proinflamatorio y puede ligarse a haptenos e inducir reacciones alérgicas.

El níquel es tóxico al sistema reproductivo. En humanos atraviesa la placenta, con concentraciones en el feto similares a las del adulto. Exposición a níquel resulta en reducción de embarazos normales, aumento de abortos espontáneos, y aumento de deformaciones estructurales en nacidos vivos.

Mutagénesis y carcinogénesis. Varios compuestos de níquel tienen actividad citotóxica y apoptosis, como también aberraciones cromosómicas y transformaciones morfológicas, y los estudios indican que son mutagénicos débiles aun a altas dosis, y presentan actividad genotóxica. Compuestos de níquel inducen daño al DNA, inhiben la reparación de los aductos de benzo[a]pireno-DNA en células de pulmón humano, inhiben reparación de daño del DNA inducido por UV o MNNG, son inductores activos de especies reactivas de oxígeno en células de ovario de hámster Chino, e inducen independencia del anclaje y transformación celular

Si bien los estudios de carcinogenicidad del níquel son controversiales, en trabajadores de la industria del níquel predominan los cánceres de los senos nasales y respiratorios, con úlceras de la mucosa, perforaciones del septum nasal, reducción de la agudeza olfatoria, y cánceres sinonasales. La IARC ha clasificado *todos los compuestos* de níquel como “Grupo 1” cancerígenos a humanos sobre la base de una cantidad suficiente de datos epidemiológicos, aunque esta posición ha sido cuestionada para el níquel *metálico* para el cual no hay evidencia de que sea un cancerígeno por la vía respiratoria. Los estudios actuales se centran en establecer las diferencias entre níquel soluble, insoluble, y metálico. El níquel soluble en agua parece ser el factor de riesgo más importante en el exceso de cáncer respiratorio.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el níquel y sus compuestos es $2,0\text{E}-02$ (mg/kg-día) donde el efecto considerado crítico es un aumento en los niveles de ácido úrico. El CRf es $9,0\text{E}-05$ mg/m³.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



USEPA ha establecido que el níquel es un **cancerígeno** en seres humanos por la ruta de inhalación con $FUR_{inh} = 2,6 \times 10^{-4} (\mu g/m^3)^{-1}$, pero sin FPC oral. No hay AEGLs desarrollados para el níquel.

Plomo

Exposición crónica a bajos niveles de plomo es de mayor preocupación en niños de corta edad que en adolescentes o adultos. El plomo puede causar daño neurológico, hematológico, cardiovascular, renal y testicular, dependiendo de la cantidad que ingresa a diario al organismo (dosis interna), y de la duración de la exposición. Hay evidencia que exposición al plomo también causa déficit intelectual y daño cognitivo. Niños que ingieren de manera repetida (“pica”) pedazos de pinturas con plomo a veces pueden padecer de adultos de una enfermedad renal (enfermedad renal túbulointersticial crónica).

Los niveles de plomo sanguíneo reflejan una combinación de exposición durante los últimos meses y durante los últimos años. **Los efectos negativos en el metabolismo humano se observan cuando los niveles de plomo están alrededor por sobre los 10 $\mu g/dL$.** Alrededor de un nivel crónico de 10 $\mu g/dL$ se han observado efectos negativos tales como inhibición de la deshidratasa δ -aminolevulínica (ALA-D), inhibición de la actividad de la pirimidina-5'-nucleotidasa, cambios en potenciales evocados en un electroencefalograma del sistema nervioso central, interferencia en el metabolismo de la vitamina D, y un desarrollo postnatal y desarrollo neurológico más lento. También tiene efectos negativos en el embarazo y desarrollo fetal. Un efecto ampliamente reconocido es el retardo del crecimiento óseo, en el cual el plomo se deposita en las epífisis de los huesos, retardando el crecimiento.

Criterios de toxicidad. El plomo no tiene un criterio de toxicidad. La toxicidad del plomo se evalúa mediante el modelo PBTK, que estima los niveles de plomo en la sangre de diversos receptores. No hay evidencia de que el plomo sea un cancerígeno. No hay AEGLs desarrollados para el plomo.

Selenio

El selenio es un desecho de los minerales sulfurados, principalmente la industria de refinado de cobre.

El selenio es un elemento traza esencial para los humanos y es un componente natural de las enzimas glutatión peroxidasa (GSH-px 1-5), iodotironina 5'-deiodinasa tipo 1 y 2 (que convierte tiroxina a triiodotironina), tioredoxina reductasa (que cataliza la reducción dependiente de NADPH de la proteína redox tioredoxina), y selenoproteína P. El selenoproteoma humano consiste de 25 seleno-proteínas, todas conteniendo SeCis (selenio-cisteína). Las selenoproteínas de mamíferos participan en procesos anabólicos antioxidantes, protegiendo al



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



organismo contra daño oxidativo mediante la reducción de las lipoperoxidasas y peróxido de hidrógeno.

Los compuestos de selenio inorgánico y de bajo peso molecular son solubles en agua y pueden ser absorbidos en el intestino. Compuestos solubles como también insolubles de selenio, pueden ser absorbidos en los pulmones. La absorción por la vía oral para el selenito es de 40-80% y 75-97% para selenometionina. La absorción por los pulmones es alta, y también hay absorción dérmica.

Según la U.S. National Academy of Sciences, la ingesta dietaria de referencia para el selenio se estima en 55 µg/d para hombres y mujeres adultos. Los cereales, carnes, y pescados son las principales fuentes de selenio dietario. Las nueces de Brasil (nueces cajú, cashew nuts) y otras similares, contienen altas concentraciones de selenio

Una alta exposición resulta en una rápida distribución hacia los órganos principales en el cuerpo. En el hígado muchos compuestos del selenio son biotransformados en metabolitos excretables. La biotransformación parece ser un mecanismo importante para mantener la homeostasis del selenio durante exposición alta. En humanos, la eliminación ocurre en tres fases, la primera de 1 día, la segunda de 8-20 días, y la tercera de 65-116 días. En áreas geográficas con baja ingesta de selenio los niveles promedios son alrededor de 0,027 µg/mL, y de 0,11 µg/mL para una ingesta promedio de 90 µg/d.

Se han observado efectos tóxicos a niveles de 0,179-75 µg/mL. El nivel de referencia urinario no debe exceder 0,03 µg/mL (0,03mg/L). En ambiente ocupacional, los obreros expuestos típicamente excretan <0,1µg/mL. A concentraciones en aire tan altas como 3,6 mg/m³ el nivel urinario promedia 0,25-0,45 mg/L. Aliento con olor a ajo típicamente acompaña estos altos niveles de selenio.

El LD₅₀ varía entre 1,5-6 mg/kg peso corpóreo, donde el sistema nervioso central parece ser el órgano blanco, pero el hígado, corazón y pulmón también pueden ser afectados. Fatalidades por ingestión o inhalación al selenio son raras, con síntomas gastroenterológicos y neurológicos.

Selenosis. Intoxicación por altas concentraciones de selenio en el suelo. Los síntomas principales son pelo quebradizo con folículos intactos, pelo nuevo sin pigmento, lesiones en la piel, principalmente en el dorso de las manos y pies, el lado exterior de las piernas, brazos y cuello, dientes manchados, lesiones dérmicas, y cambios en los nervios periféricos,. La piel afectada se torna rojiza e inflamada, seguido de la aparición de ampollas acuosas y presencia de erupciones. Los síntomas neurológicos son frecuentes, los que incluyen anestesia periférica, acroparestesia (hormigueo, sensación de agujas y adormecimiento o rigidez), dolor, e hiperreflexia (aumento de los reflejos por sobre lo normal). Las



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



últimas etapas se caracterizan por convulsiones, entorpecimiento, parálisis, disturbios motores. La selenosis está asociada con selenio dietario mínimo de 1.200 µg, dosis entre 3.200-6.690 µg selenio, 3.200 µg/L en la sangre, y 2,68 mg/L en la orina. El Nivel inferior observable de efecto adverso (LOAEL, en inglés) para síntomas clínicos de selenosis es aproximadamente 900-1.000 µg/d de selenio.

El selenio transportado por el aire puede causar conjuntivitis y reacciones alérgicas en los ojos. No hay evidencia de teratogenicidad en humanos causada por selenio.

Se ha reportado intoxicación crónica en regiones del mundo con altos niveles de selenio en suelos. En humanos consumiendo selenio 1-5 mg/d se presentan problemas en las uñas y pelo quebradizo, problemas que son comunes a 5 mg/d. El NOAEL (Nivel de efecto adverso no observado) para selenosis clínica es de 850 µg/d, aunque la SGPT (transaminasa glutámico-pirúvica sérica) se ha observado aumentada a una dosis ligeramente inferior. Lesiones en la piel y despigmentación son síntomas comunes de intoxicación. En casos más severos, predominan los síntomas neurológicos y gastrointestinales.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el selenio y sus compuestos es 5,0E-03 (mg/kg·día) donde el efecto considerado crítico es una selenosis clínica. La CRf es 2,0E-02 mg/m³. El selenio es clasificable como peso de evidencia D, no carcinogénico en humanos. *Sólo el sulfuro de selenio en altas dosis orales tiene actividad cancerígena.* No hay AEGLs desarrollados para el selenio

Vanadio

Las fuentes más importantes de contaminación ambiental con vanadio son la combustión de petróleo y carbón. Por lo tanto los riesgos en la salud en la población en general son agudos y posiblemente crónicos sobre el sistema respiratorio.

Exposición de corto plazo en humanos por inhalación resulta en irritación del tracto respiratorio y ojos. Los síntomas típicos incluyen tos, jadeo, romadizo, irritación de garganta, y dolor de pecho, que aparecen después de 1-6 días de exposición. En casos de muy alta exposición pueden presentarse bronco espasmos y bronquitis, acompañados por jadeo y dipnea (respiración difícil). La irritación respiratoria por vanadio en polvos y humos ocurre a 0,1-85 mg/m³.

La ingesta total diaria de vanadio se estima entre 6 y 60 µg/día. La absorción del vanadio en el tracto gastrointestinal de humanos es pobre ($\leq 2\%$), pero es más alta en los pulmones ($\approx 25\%$ del vanadio soluble). La absorción dérmica es mínima. La absorción en los pulmones depende del tamaño de las partículas y de la solubilidad de los compuestos. Una vez absorbido, se distribuye preferencialmente en huesos, riñones, hígado y bazo, sin efectos acumulativos en tejidos humanos.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



El vanadio sanguíneo y urinario disminuye rápidamente una vez que la exposición termina. Se elimina principalmente por la orina en por lo menos dos etapas. Los efectos locales agudos y crónicos observados son principalmente en el sistema respiratorio, e incluyen bronquitis y neumonía.

Se han observado efectos sistémicos en hígado, riñón, sistema nervioso, sistema cardiovascular, y órganos productores de sangre. Los efectos metabólicos incluyen interferencia con la biosíntesis de la cistina y colesterol, depresión y estimulación de la síntesis de fosfolípidos, y a concentraciones más altas, inhibición de la oxidación de la serotonina. El vanadato inhibe la Na⁺-K⁺-ATPasa, fosfatasas, y varios otros sistemas enzimáticos. Hay evidencia que los compuestos de vanadio aumentan los efectos de la insulina y disminuyen los niveles de glicemia en diabéticos. El pentóxido de vanadio (V₂O₅) tiene efectos agudos y crónicos retardados pero reversibles en el tracto respiratorio, con producción excesiva de mucus y tos prolongada, acompañada de bronco espasmos, jadeo, y diarrea en casos de exposición más severa. También está presente la irritación de ojos y conjuntivitis. Exposición de largo plazo puede resultar en traqueo bronquitis. En la población expuesta a vanadio, se ha observado una disminución en la inmunidad natural mediada por células, expresada en forma de una mayor incidencia de infecciones virales y bacterianas.

Exposición al vanadio puede ser estudiada por monitoreo en sangre, suero, y orina.

Criterios de toxicidad. La DRf oral para el vanadio y sus compuestos es 5,0E-03 (mg/kg·día) donde el efecto considerado crítico es una disminución de la cistina en pelo. No hay CRf inh.

La U.S. EPA ha determinado que no hay evidencia de que el vanadio sea *posiblemente* carcinogénico en seres humanos. El vanadio ha sido recientemente aceptado para ser estudiado por carcinogenicidad. La International Agency for Research on Cancer (IARC) ha clasificado vanadio como posible cancerígeno (Grupo 2B). No hay AEGs desarrollados para el vanadio.

Zinc

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. El zinc se encuentra en el aire, el suelo y el agua y está presente en todos los alimentos. En su forma pura, elemental (o metálico), el zinc es un metal blanco azulado, brillante. Zinc en polvo es explosivo y puede estallar en llamas si se almacena en lugares húmedos. Los compuestos de zinc tienen muchos usos en la industria, tales como el proceso de galvanización y su incorporación en aleaciones como el latón y el bronce, y para la fabricación de pilas secas. Una aleación de zinc y de cobre se utiliza para hacer monedas de un centavo en los Estados Unidos.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



El zinc también se puede combinar con otros elementos, tales como el cloro, oxígeno, y azufre, para formar numerosos compuestos. La mayoría de mineral de zinc que se encuentra de forma natural en el medio ambiente es en forma de sulfuro de zinc. Los compuestos de zinc son ampliamente utilizados en la industria:

- Sulfuro de zinc y óxido de zinc se usan para hacer pinturas blancas, cerámica, y otros productos.
- El óxido de zinc también se utiliza en la producción de caucho.
- Acetato de zinc, cloruro de zinc, sulfato de zinc, se utilizan en la preservación de la madera y en la fabricación y teñido de telas.
- Cloruro de zinc es también el principal ingrediente en el humo de bombas de humo.

Los compuestos de zinc son utilizados por la industria farmacéutica como ingredientes de algunos productos comunes, como los suplementos vitamínicos, bloqueadores solares, ungüentos erupción del pañal, desodorantes, preparaciones para el pie de atleta, acné y preparaciones hiedra venenosa y champús anticaspa

El zinc entra en el aire, el agua y el suelo como resultado de procesos naturales y las actividades humanas. La mayoría del zinc que entra al medio ambiente como resultado de la extracción, purificación de zinc, plomo y cadmio, minerales, producción de acero, la quema de carbón, y la quema de los desechos. Estas actividades pueden aumentar los niveles de zinc en la atmósfera. Los flujos de desechos procedentes de la fabricación de zinc y otros metales y las industrias químicas de zinc, las aguas residuales domésticas y la escorrentía de suelos que contienen zinc pueden descargar zinc en las vías fluviales. El nivel de zinc en el suelo aumenta principalmente de la eliminación de desechos de zinc de las industrias de fabricación de metal y ceniza de carbón de las centrales eléctricas. Lodos y fertilizantes también contribuyen a un aumento de los niveles de zinc en el suelo. En el aire, el zinc está presente principalmente como partículas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita en el suelo y el agua. La lluvia y la nieve ayuda en la eliminación de zinc a partir de aire. La mayor parte del zinc en lagos o ríos se asienta en la parte inferior. Sin embargo, una pequeña cantidad puede permanecer disuelta en agua o en forma de partículas finas en suspensión. El nivel de zinc disuelto en el agua puede aumentar a medida que aumenta la acidez del agua. Los peces pueden recoger zinc en sus cuerpos desde el agua en que nadan, y de los alimentos que comen. La mayor parte del zinc en el suelo está ligado a la tierra y no se disuelve en agua. Sin embargo, dependiendo del tipo de suelo, algo de zinc puede llegar a las aguas subterráneas, y la contaminación de las aguas subterráneas se ha producido a partir de sitios de desechos peligrosos. El zinc puede ser absorbido por los animales que comen tierra o beber agua que contiene zinc. El zinc es también un nutriente mineral traza y se necesitan, tales como pequeñas cantidades de zinc en todos los animales.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



La inhalación de grandes cantidades de zinc (en forma de polvo o humos de fundición o soldadura de zinc) puede causar una enfermedad de corta duración llamada fiebre de humos metálicos, que generalmente es reversible una vez que cesa la exposición al zinc. Sin embargo, muy poco se sabe sobre los efectos a largo plazo de la inhalación de polvo o vapores de zinc.

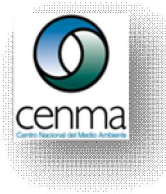
Tomar demasiada cantidad de zinc en el cuerpo a través de alimentos, agua, o suplementos dietéticos también puede afectar la salud. Los niveles de zinc que producen efectos nocivos para la salud son muy superiores a las cantidades diarias recomendadas (CDR) de zinc de 11 mg / día para los hombres y 8 mg / día para las mujeres. Si grandes dosis de zinc (10 a 15 veces superior a la dosis diaria recomendada) se toman por vía oral, aunque sea por un corto período de tiempo, se pueden presentar calambres estomacales, náuseas y vómitos. La ingestión de altos niveles de zinc durante varios meses puede causar anemia, daño del páncreas, y disminuir los niveles de lipoproteína de alta densidad (HDL).

Comer alimentos que contienen grandes cantidades de zinc (1000 veces superior a la dosis diaria recomendada) durante varios meses causó muchos efectos sobre la salud en ratas, ratones y hurones, incluyendo anemia y lesiones en el páncreas y los riñones. Las ratas que consumieron grandes cantidades de zinc se volvieron infértiles. Las ratas que consumieron grandes cantidades de zinc después de quedar embarazadas tienen bebés más pequeños. Poner los bajos niveles de ciertos compuestos de zinc, tales como acetato de zinc y cloruro de zinc, en la piel de conejos, conejillos de indias, y ratones causó irritación de la piel. Irritación de la piel de la exposición a estas sustancias químicas probablemente ocurrir en seres humanos. La EPA ha determinado que debido a la falta de información, el zinc no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

El consumo de muy poco zinc es al menos tan importante problema de salud como el consumo excesivo de zinc. Sin suficiente zinc en la dieta, las personas pueden experimentar pérdida de apetito, disminución del sentido del gusto y del olfato, disminución de la función inmune, la curación lenta de las heridas y llagas en la piel. Muy poco de zinc en la dieta también puede causar que los órganos sexuales poco desarrollados y el crecimiento retardado en los hombres jóvenes. Si una mujer embarazada no recibe suficiente zinc, sus bebés pueden tener defectos de nacimiento.

USEPA ha declarado que el agua potable no debe contener más de 5 mg de zinc por litro de agua (5 mg / L o 5 ppm).

La Academia Nacional de Ciencias (NAS) estima una dosis diaria recomendada de zinc de 11 mg / día (hombres). Una dosis diaria recomendada de 8 mg / día, o 0,13 mg por kg de peso corporal de una mujer adulta media (60 kg), se estableció para las mujeres, ya que por lo general pesan menos que los hombres. Baja ingesta de zinc se recomienda para lactantes (2-3 mg / día) y niños (5-9 mg / día) a causa de



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



su peso corporal promedio más bajos. La RDA proporciona un nivel de nutrición adecuado para la mayoría de la población. Se recomienda a los niveles dietéticos de más de zinc para las mujeres durante el embarazo y la lactancia. Una dosis diaria recomendada de 11-12 mg / día se estableció para las mujeres embarazadas. Las mujeres que amamantan a sus bebés necesitan 12-13 mg / día.

Para proteger a los trabajadores, la OSHA ha establecido un límite legal promedio de 1 mg/m³ para los humos de cloruro de zinc y 5 mg/m³ para el óxido de zinc (polvo y humo) en el aire del trabajo durante una jornada de 8 horas, la semana laboral de 40 horas. Esta norma significa que el aire del trabajo no debe contener más de un promedio de 1 mg/m³ de cloruro de zinc durante un turno laboral de 8 horas de la semana laboral de 40 horas. NIOSH recomienda igualmente que el nivel de óxido de zinc en el aire del trabajo no debe exceder de un promedio de 1 mg/m³ durante un período de 10 horas de la semana laboral de 40 horas.

9.6 Dosis de exposición.

En las tablas a continuación se presentan los resultados del cálculo de las dosis de ingesta media diaria para las vías de exposición consideradas en los escenarios genéricos descritos para este estudio, según las fórmulas descritas en la Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes (2012).



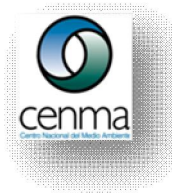
INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.5.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 1.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 1: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	días	kg	días	mg/kg_día
Cd	0,043	3,73	0,5	0,69	10000	80	18250	9,12E-09
As	0,043	179,80	0,5	0,69	10000	80	18250	4,40E-07
Pb	0,043	300,42	0,5	0,69	10000	80	18250	7,34E-07
Cr	0,043	1003,37	0,5	0,69	10000	80	18250	2,45E-06
Ni	0,043	433,72	0,5	0,69	10000	80	18250	1,06E-06
Zn	0,043	712,40	0,5	0,69	10000	80	18250	1,74E-06
Mn	0,043	618,05	0,5	0,69	10000	80	18250	1,51E-06
V	0,043	164,08	0,5	0,69	10000	80	18250	4,01E-07
Mo	0,043	54,30	0,5	0,69	10000	80	18250	1,33E-07
Cu	0,043	13726,87	0,5	0,69	10000	80	18250	3,36E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.6.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 2.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 2: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (Iv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	3,73	0,5	0,63	4500	12,6	6570	6,63E-08
As	0,043	179,80	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,19E-06
Pb	0,043	300,42	0,5	0,63	4500	12,6	6570	5,34E-06
Cr	0,043	1003,37	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,78E-05
Ni	0,043	433,72	0,5	0,63	4500	12,6	6570	7,70E-06
Zn	0,043	712,40	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,27E-05
Mn	0,043	618,05	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,10E-05
V	0,043	164,08	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,91E-06
Mo	0,043	54,30	0,5	0,63	4500	12,6	6570	9,65E-07
Cu	0,043	13726,87	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,44E-04

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



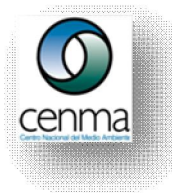
INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".



Tabla 9.7.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 3.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 3: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 dias por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m3N	mg/kg		m3/h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	3,73	0,5	0,69	18250	80	18250	1,66E-08
As	0,043	179,80	0,5	0,69	18250	80	18250	8,02E-07
Pb	0,043	300,42	0,5	0,69	18250	80	18250	1,34E-06
Cr	0,043	1003,37	0,5	0,69	18250	80	18250	4,48E-06
Ni	0,043	433,72	0,5	0,69	18250	80	18250	1,93E-06
Zn	0,043	712,40	0,5	0,69	18250	80	18250	3,18E-06
Mn	0,043	618,05	0,5	0,69	18250	80	18250	2,76E-06
V	0,043	164,08	0,5	0,69	18250	80	18250	7,32E-07
Mo	0,043	54,30	0,5	0,69	18250	80	18250	2,42E-07
Cu	0,043	13726,87	0,5	0,69	18250	80	18250	6,12E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m3/hN
 (3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.8.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 4.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
QUINTERO								
ESCENARIO 4: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	días	kg	días	mg/kg_día
Cd	0,043	1,95	0,5	0,69	10000	80	18250	4,76E-09
As	0,043	60,94	0,5	0,69	10000	80	18250	1,49E-07
Pb	0,043	133,64	0,5	0,69	10000	80	18250	3,27E-07
Cr	0,043	1515,19	0,5	0,69	10000	80	18250	3,70E-06
Ni	0,043	543,50	0,5	0,69	10000	80	18250	1,33E-06
Zn	0,043	276,21	0,5	0,69	10000	80	18250	6,75E-07
Mn	0,043	457,94	0,5	0,69	10000	80	18250	1,12E-06
V	0,043	153,87	0,5	0,69	10000	80	18250	3,76E-07
Mo	0,043	18,92	0,5	0,69	10000	80	18250	4,62E-08
Cu	0,043	4015,54	0,5	0,69	10000	80	18250	9,82E-06

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



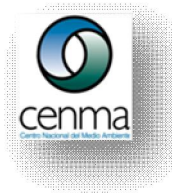
INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.9.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 5.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
QUINTERO								
ESCENARIO 5: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (Iv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	1,95	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,46E-08
As	0,043	60,94	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,08E-06
Pb	0,043	133,64	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,37E-06
Cr	0,043	1515,19	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,69E-05
Ni	0,043	543,50	0,5	0,63	4500	12,6	6570	9,66E-06
Zn	0,043	276,21	0,5	0,63	4500	12,6	6570	4,91E-06
Mn	0,043	457,94	0,5	0,63	4500	12,6	6570	8,14E-06
V	0,043	153,87	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,73E-06
Mo	0,043	18,92	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,36E-07
Cu	0,043	4015,54	0,5	0,63	4500	12,6	6570	7,13E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.10.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 6.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
QUINTERO								
ESCENARIO 6: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 dias por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (Iv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	1,95	0,5	0,69	18250	80	18250	8,68E-09
As	0,043	60,94	0,5	0,69	18250	80	18250	2,72E-07
Pb	0,043	133,64	0,5	0,69	18250	80	18250	5,96E-07
Cr	0,043	1515,19	0,5	0,69	18250	80	18250	6,76E-06
Ni	0,043	543,50	0,5	0,69	18250	80	18250	2,42E-06
Zn	0,043	276,21	0,5	0,69	18250	80	18250	1,23E-06
Mn	0,043	457,94	0,5	0,69	18250	80	18250	2,04E-06
V	0,043	153,87	0,5	0,69	18250	80	18250	6,86E-07
Mo	0,043	18,92	0,5	0,69	18250	80	18250	8,44E-08
Cu	0,043	4015,54	0,5	0,69	18250	80	18250	1,79E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.11.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 7.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10) CONCON								
ESCENARIO 7: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (iv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	días	kg	días	mg/kg_día
Cd	0,043	1,36	0,5	0,69	10000	80	18250	3,32E-09
As	0,043	45,39	0,5	0,69	10000	80	18250	1,11E-07
Pb	0,043	90,87	0,5	0,69	10000	80	18250	2,22E-07
Cr	0,043	390,04	0,5	0,69	10000	80	18250	9,53E-07
Ni	0,043	179,64	0,5	0,69	10000	80	18250	4,39E-07
Zn	0,043	308,49	0,5	0,69	10000	80	18250	7,54E-07
Mn	0,043	467,87	0,5	0,69	10000	80	18250	1,14E-06
V	0,043	135,59	0,5	0,69	10000	80	18250	3,31E-07
Mo	0,043	13,92	0,5	0,69	10000	80	18250	3,40E-08
Cu	0,043	1961,60	0,5	0,69	10000	80	18250	4,80E-06

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10
 (2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, para 71-81 años. Expresado en unidades de m³/hN
 (3) Exposure Factors Handbook (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



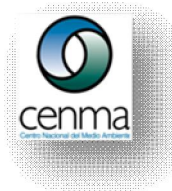
Tabla 9.12.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 8.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
CONCON								
ESCENARIO 8: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (Iv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	1,36	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,41E-08
As	0,043	45,39	0,5	0,63	4500	12,6	6570	8,06E-07
Pb	0,043	90,87	0,5	0,63	4500	12,6	6570	1,61E-06
Cr	0,043	390,04	0,5	0,63	4500	12,6	6570	6,93E-06
Ni	0,043	179,64	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,19E-06
Zn	0,043	308,49	0,5	0,63	4500	12,6	6570	5,48E-06
Mn	0,043	467,87	0,5	0,63	4500	12,6	6570	8,31E-06
V	0,043	135,59	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,41E-06
Mo	0,043	13,92	0,5	0,63	4500	12,6	6570	2,47E-07
Cu	0,043	1961,60	0,5	0,63	4500	12,6	6570	3,48E-05

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10

(2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m³/hN

(3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



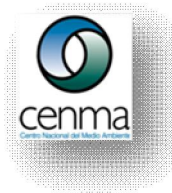
Tabla 9.13.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por inhalación de partículas en forma de polvo-MPS, para Escenario 9.

VIA DE EXPOSICION INHALACION DE PARTICULAS DE MPS (EN FORMA DE MP10)								
CONCON								
ESCENARIO 9: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 dias por año, durante 50 años								
	CONCENT- PARTICULAS (1)	CONCENT- MPS	FRACCION PARTICULAS RESPIRABLES	TASA INHALACION AIRE (2)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (3)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lv)
	mg/m ³ N	mg/kg		m ³ /h N	dia	kg	dia	mg/kg_dia
Cd	0,043	1,36	0,5	0,69	18250	80	18250	6,06E-09
As	0,043	45,39	0,5	0,69	18250	80	18250	2,03E-07
Pb	0,043	90,87	0,5	0,69	18250	80	18250	4,05E-07
Cr	0,043	390,04	0,5	0,69	18250	80	18250	1,74E-06
Ni	0,043	179,64	0,5	0,69	18250	80	18250	8,01E-07
Zn	0,043	308,49	0,5	0,69	18250	80	18250	1,38E-06
Mn	0,043	467,87	0,5	0,69	18250	80	18250	2,09E-06
V	0,043	135,59	0,5	0,69	18250	80	18250	6,05E-07
Mo	0,043	13,92	0,5	0,69	18250	80	18250	6,21E-08
Cu	0,043	1961,60	0,5	0,69	18250	80	18250	8,75E-06

(1) Promedio anual para estación La Greda considerada el peor escenario, para MP10

(2) Exposure Factors Handbook (2011) Tabla 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation, 95th Percentile, Mediana para los valores entre 1 y 21 años. Expresado en unidades de m³/hN

(3) Exposure Factors Handbook. Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".

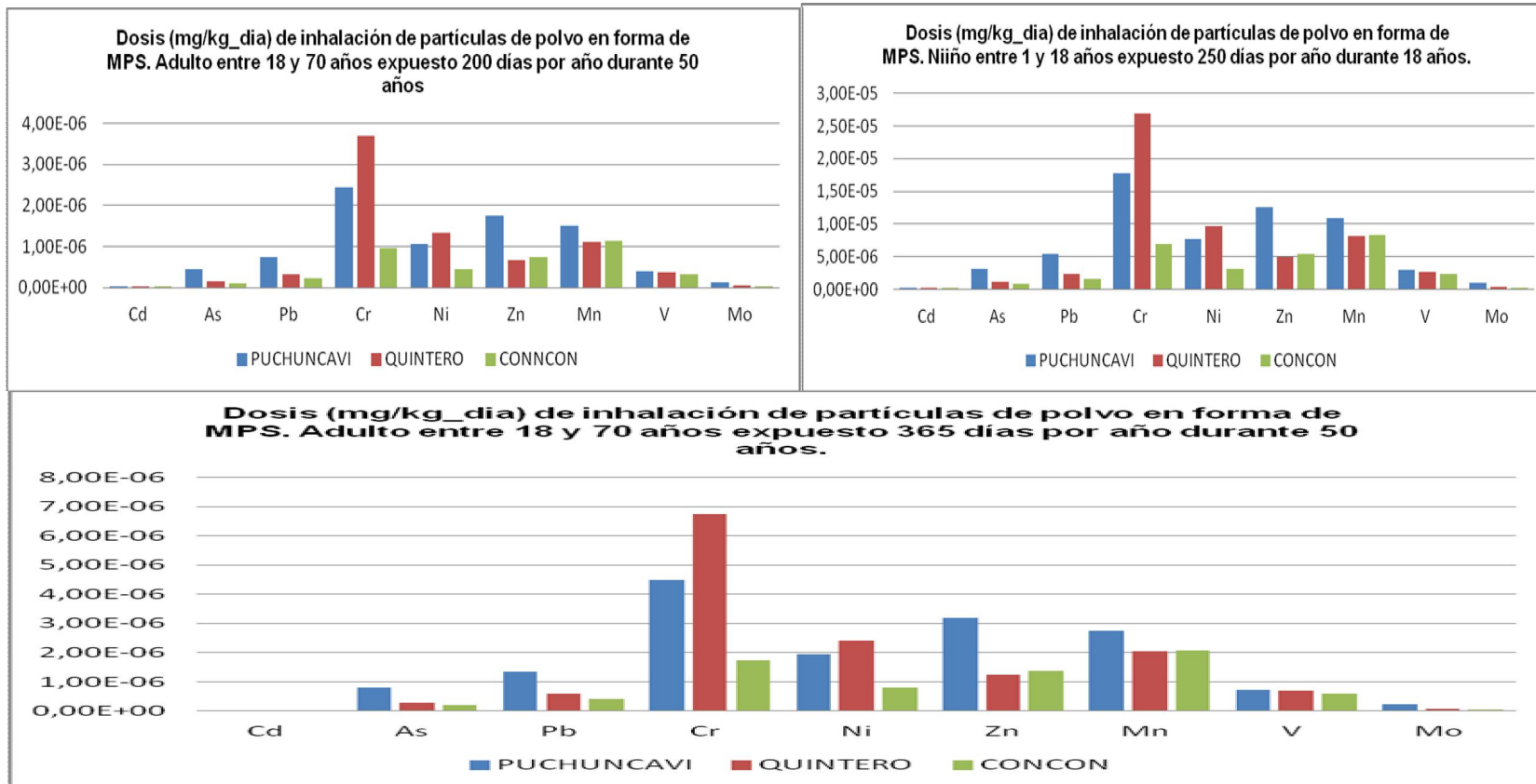


Figura 9.16- Representación de las dosis (mg/kg_día) de inhalación de partículas de polvo (MPS) para los escenarios considerados en las tres comunas.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.14.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 1.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 1: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	3,73	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	2,48E-07
As	179,80	19400	0,5	0,03	10000	80	18250	3,58E-04
Pb	300,42	19400	0,5	0,0001	10000	80	18250	2,00E-06
Cr	1003,37	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	6,67E-04
Ni	433,72	19400	0,5	0,0002	10000	80	18250	5,76E-06
Zn	712,40	19400	0,5	0,0006	10000	80	18250	2,84E-05
Mn	618,05	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	4,11E-04
V	164,08	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	1,09E-05
Mo	54,30	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	3,61E-05
Cu	13726,87	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	9,12E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.15.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 2.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 2: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	3,73	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	1,47E-06
As	179,80	14490	0,5	0,03	4500	12,6	6570	2,12E-03
Pb	300,42	14490	0,5	0,0001	4500	12,6	6570	1,18E-05
Cr	1003,37	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	3,95E-03
Ni	433,72	14490	0,5	0,0002	4500	12,6	6570	3,42E-05
Zn	712,40	14490	0,5	0,0006	4500	12,6	6570	1,68E-04
Mn	618,05	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	2,43E-03
V	164,08	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	6,46E-05
Mo	54,30	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	2,14E-04
Cu	13726,87	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	5,41E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

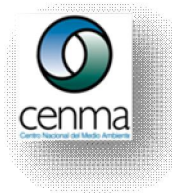


Tabla 9.16.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 3.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
PUCHUNCAVI								
ESCENARIO 3: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm ² /d	mg/cm ²		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	3,73	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	4,52E-07
As	179,80	19400	0,5	0,03	18250	80	18250	6,54E-04
Pb	300,42	19400	0,5	0,0001	18250	80	18250	3,64E-06
Cr	1003,37	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	1,22E-03
Ni	433,72	19400	0,5	0,0002	18250	80	18250	1,05E-05
Zn	712,40	19400	0,5	0,0006	18250	80	18250	5,18E-05
Mn	618,05	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	7,49E-04
V	164,08	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	1,99E-05
Mo	54,30	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	6,58E-05
Cu	13726,87	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	1,66E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.17.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 4.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
QUINTERO								
ESCENARIO 4: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,95	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	1,29E-07
As	60,94	19400	0,5	0,03	10000	80	18250	1,21E-04
Pb	133,64	19400	0,5	0,0001	10000	80	18250	8,88E-07
Cr	1515,19	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	1,01E-03
Ni	543,50	19400	0,5	0,0002	10000	80	18250	7,22E-06
Zn	276,21	19400	0,5	0,0006	10000	80	18250	1,10E-05
Mn	457,94	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	3,04E-04
V	153,87	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	1,02E-05
Mo	18,92	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	1,26E-05
Cu	4015,54	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	2,67E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.18.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 5.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
QUINTERO								
ESCENARIO 5: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,95	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	7,66E-07
As	60,94	14490	0,5	0,03	4500	12,6	6570	7,20E-04
Pb	133,64	14490	0,5	0,0001	4500	12,6	6570	5,26E-06
Cr	1515,19	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	5,97E-03
Ni	543,50	14490	0,5	0,0002	4500	12,6	6570	4,28E-05
Zn	276,21	14490	0,5	0,0006	4500	12,6	6570	6,53E-05
Mn	457,94	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	1,80E-03
V	153,87	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	6,06E-05
Mo	18,92	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	7,45E-05
Cu	4015,54	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	1,58E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

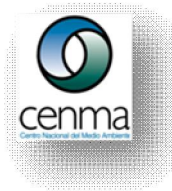


Tabla 9.19.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 6.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
QUINTERO								
ESCENARIO 6: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm ² /d	mg/cm ²		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,95	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	2,36E-07
As	60,94	19400	0,5	0,03	18250	80	18250	2,22E-04
Pb	133,64	19400	0,5	0,0001	18250	80	18250	1,62E-06
Cr	1515,19	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	1,84E-03
Ni	543,50	19400	0,5	0,0002	18250	80	18250	1,32E-05
Zn	276,21	19400	0,5	0,0006	18250	80	18250	2,01E-05
Mn	457,94	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	5,55E-04
V	153,87	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	1,87E-05
Mo	18,92	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	2,29E-05
Cu	4015,54	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	4,87E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

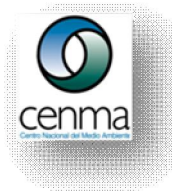


Tabla 9.20.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 7.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
CONCON								
ESCENARIO 7: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,36	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	9,03E-08
As	45,39	19400	0,5	0,03	10000	80	18250	9,05E-05
Pb	90,87	19400	0,5	0,0001	10000	80	18250	6,04E-07
Cr	390,04	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	2,59E-04
Ni	179,64	19400	0,5	0,0002	10000	80	18250	2,39E-06
Zn	308,49	19400	0,5	0,0006	10000	80	18250	1,23E-05
Mn	467,87	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	3,11E-04
V	135,59	19400	0,5	0,001	10000	80	18250	9,01E-06
Mo	13,92	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	9,24E-06
Cu	1961,60	19400	0,5	0,01	10000	80	18250	1,30E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



Tabla 9.21.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 8.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
CONCON								
ESCENARIO 8: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm2/d	mg/cm2		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,36	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	5,35E-07
As	45,39	14490	0,5	0,03	4500	12,6	6570	5,36E-04
Pb	90,87	14490	0,5	0,0001	4500	12,6	6570	3,58E-06
Cr	390,04	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	1,54E-03
Ni	179,64	14490	0,5	0,0002	4500	12,6	6570	1,41E-05
Zn	308,49	14490	0,5	0,0006	4500	12,6	6570	7,29E-05
Mn	467,87	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	1,84E-03
V	135,59	14490	0,5	0,001	4500	12,6	6570	5,34E-05
Mo	13,92	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	5,48E-05
Cu	1961,60	14490	0,5	0,01	4500	12,6	6570	7,73E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.22.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por contacto dérmico con partículas en forma de polvo-MPS, Escenario 9.

VIA DE EXPOSICION CONTACTO DERMICO CON POLVO SUPERFICIAL (EN FORMA DE MPS)								
CONCON								
ESCENARIO 9: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 365 días por año, durante 50 años								
	CONCENT- POLVO	SUPERFICIE CORPORAL	FACTOR ADHERENCIA POLVO-PIEL	FACTOR DE ADSORCION DERMICA	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (lds)
	mg/kg	cm ² /d	mg/cm ²		días	kg	días	mg/kg_día
Cd	1,36	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	1,65E-07
As	45,39	19400	0,5	0,03	18250	80	18250	1,65E-04
Pb	90,87	19400	0,5	0,0001	18250	80	18250	1,10E-06
Cr	390,04	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	4,73E-04
Ni	179,64	19400	0,5	0,0002	18250	80	18250	4,36E-06
Zn	308,49	19400	0,5	0,0006	18250	80	18250	2,24E-05
Mn	467,87	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	5,67E-04
V	135,59	19400	0,5	0,001	18250	80	18250	1,64E-05
Mo	13,92	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	1,69E-05
Cu	1961,60	19400	0,5	0,01	18250	80	18250	2,38E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.

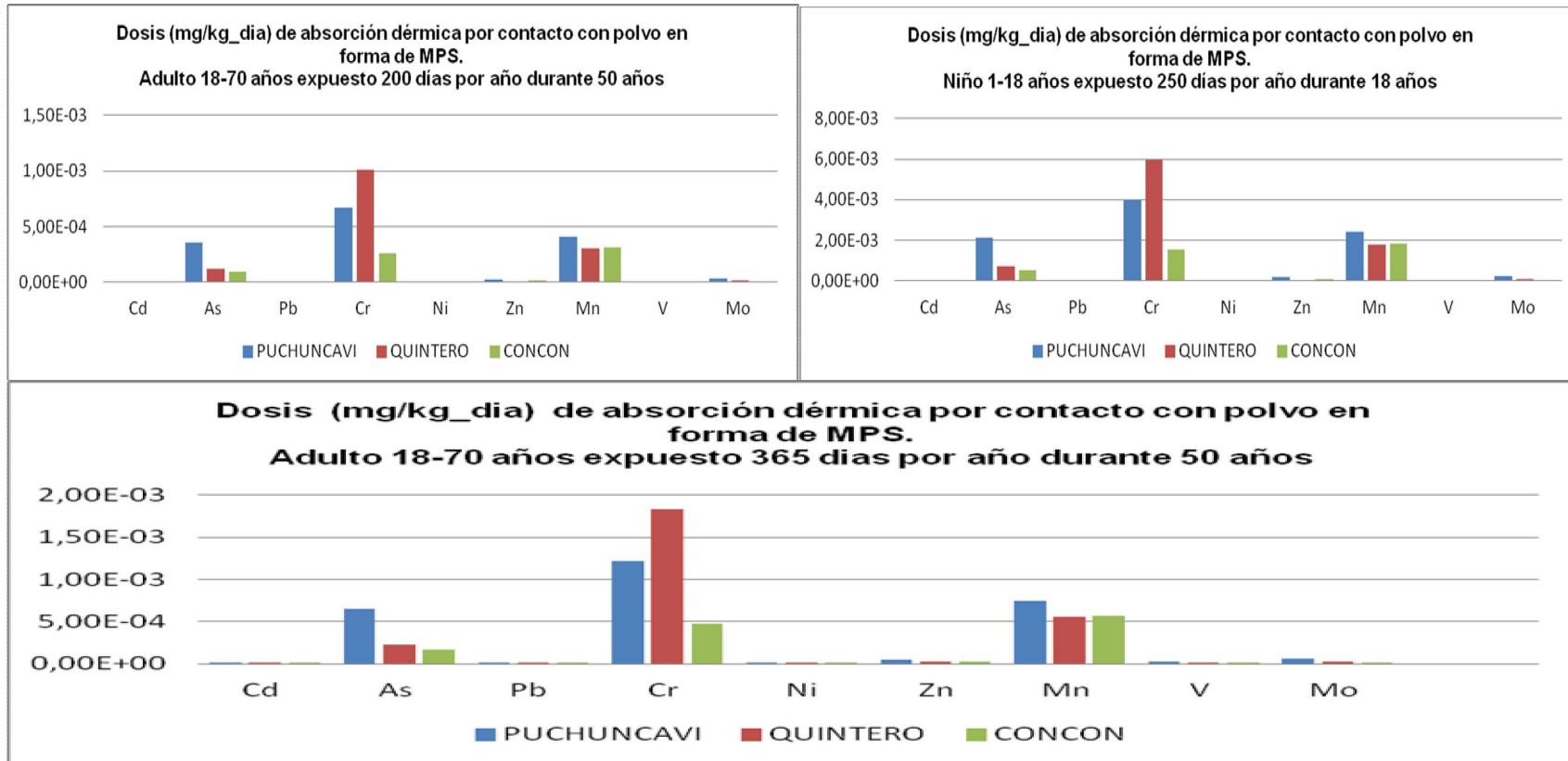
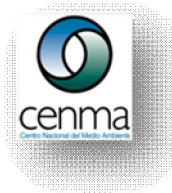


Figura 9.17- Representación de las dosis (mg/kg_día) de ingestión por absorción dérmica de partículas de polvo (MPS) para los escenarios considerados en las tres comunas.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".



Tabla 9.23.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 1.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 1: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/dia	días	kg	días	mg/kg_dia
Cd	3,73	50	10000	80	18250	2,48E-07
As	179,80	50	10000	80	18250	3,58E-04
Pb	300,42	50	10000	80	18250	2,00E-06
Cr	1003,37	50	10000	80	18250	6,67E-04
Ni	433,72	50	10000	80	18250	5,76E-06
Zn	712,40	50	10000	80	18250	2,84E-05
Mn	618,05	50	10000	80	18250	4,11E-04
V	164,08	50	10000	80	18250	1,09E-05
Mo	54,30	50	10000	80	18250	3,61E-05
Cu	13726,87	50	10000	80	18250	9,12E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011). Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011). Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

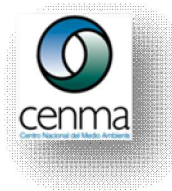


Tabla 9.24.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 2.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 2: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/dia	días	kg	días	mg/kg_dia
Cd	3,73	100	4500	12,6	6570	2,03E-05
As	179,80	100	4500	12,6	6570	9,77E-04
Pb	300,42	100	4500	12,6	6570	1,63E-03
Cr	1003,37	100	4500	12,6	6570	5,45E-03
Ni	433,72	100	4500	12,6	6570	2,36E-03
Zn	712,40	100	4500	12,6	6570	3,87E-03
Mn	618,05	100	4500	12,6	6570	3,36E-03
V	164,08	100	4500	12,6	6570	8,92E-04
Mo	54,30	100	4500	12,6	6570	2,95E-04
Cu	13726,87	100	4500	12,6	6570	7,46E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011). Table 8-1. Recommended Values for Body Weight (mediana del intervalo entre 1 y 16 años)



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".

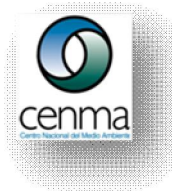


Tabla 9.25.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 3.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
PUCHUNCAVI						
ESCENARIO 3: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/día	días	kg	días	mg/kg_día
Cd	3,73	50	18250	80	18250	4,52E-07
As	179,80	50	18250	80	18250	6,54E-04
Pb	300,42	50	18250	80	18250	3,64E-06
Cr	1003,37	50	18250	80	18250	1,22E-03
Ni	433,72	50	18250	80	18250	1,05E-05
Zn	712,40	50	18250	80	18250	5,18E-05
Mn	618,05	50	18250	80	18250	7,49E-04
V	164,08	50	18250	80	18250	1,99E-05
Mo	54,30	50	18250	80	18250	6,58E-05
Cu	13726,87	50	18250	80	18250	1,66E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

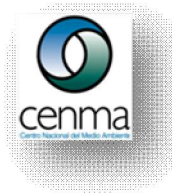


Tabla 9.26.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 4.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
QUINTERO						
ESCENARIO 4: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol mg/kg	TASA INGESTION (1) mg/dia	TIEMPO EXPOSICION días	PESO CORPORAL (2) kg	PERIODO DE EXPOSICION días	DOSIS (I) mg/kg_dia
Cd	1,95	50	10000	80	18250	1,29E-07
As	60,94	50	10000	80	18250	1,21E-04
Pb	133,64	50	10000	80	18250	8,88E-07
Cr	1515,19	50	10000	80	18250	1,01E-03
Ni	543,50	50	10000	80	18250	7,22E-06
Zn	276,21	50	10000	80	18250	1,10E-05
Mn	457,94	50	10000	80	18250	3,04E-04
V	153,87	50	10000	80	18250	1,02E-05
Mo	18,92	50	10000	80	18250	1,26E-05
Cu	4015,54	50	10000	80	18250	2,67E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

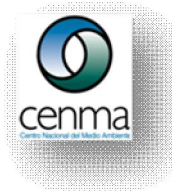


Tabla 9.27.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 5.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
QUINTERO						
ESCENARIO 5: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/dia	día	kg	día	mg/kg_dia
Cd	1,95	100	4500	12,6	6570	1,06E-05
As	60,94	100	4500	12,6	6570	3,31E-04
Pb	133,64	100	4500	12,6	6570	7,26E-04
Cr	1515,19	100	4500	12,6	6570	8,24E-03
Ni	543,50	100	4500	12,6	6570	2,95E-03
Zn	276,21	100	4500	12,6	6570	1,50E-03
Mn	457,94	100	4500	12,6	6570	2,49E-03
V	153,87	100	4500	12,6	6570	8,36E-04
Mo	18,92	100	4500	12,6	6570	1,03E-04
Cu	4015,54	100	4500	12,6	6570	2,18E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight (mediana del intervalo entre 1 y 16 años)



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".



Tabla 9.28.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 6.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
QUINTERO						
ESCENARIO 6: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/día	día	kg	día	mg/kg_día
Cd	1,95	50	18250	80	18250	2,36E-07
As	60,94	50	18250	80	18250	2,22E-04
Pb	133,64	50	18250	80	18250	1,62E-06
Cr	1515,19	50	18250	80	18250	1,84E-03
Ni	543,50	50	18250	80	18250	1,32E-05
Zn	276,21	50	18250	80	18250	2,01E-05
Mn	457,94	50	18250	80	18250	5,55E-04
V	153,87	50	18250	80	18250	1,87E-05
Mo	18,92	50	18250	80	18250	2,29E-05
Cu	4015,54	50	18250	80	18250	4,87E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.29.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 7.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
CONCON						
ESCENARIO 7: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto durante 200 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/día	día	kg	día	mg/kg_día
Cd	1,36	50	10000	80	18250	9,03E-08
As	45,39	50	10000	80	18250	9,05E-05
Pb	90,87	50	10000	80	18250	6,04E-07
Cr	390,04	50	10000	80	18250	2,59E-04
Ni	179,64	50	10000	80	18250	2,39E-06
Zn	308,49	50	10000	80	18250	1,23E-05
Mn	467,87	50	10000	80	18250	3,11E-04
V	135,59	50	10000	80	18250	9,01E-06
Mo	13,92	50	10000	80	18250	9,24E-06
Cu	1961,60	50	10000	80	18250	1,30E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla 9.30.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 8.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
CONCON						
ESCENARIO 8: Niño entre 1 y 18 años, expuesto 250 días por año durante 18 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/día	día	kg	día	mg/kg_día
Cd	1,36	100	4500	12,6	6570	7,39E-06
As	45,39	100	4500	12,6	6570	2,47E-04
Pb	90,87	100	4500	12,6	6570	4,94E-04
Cr	390,04	100	4500	12,6	6570	2,12E-03
Ni	179,64	100	4500	12,6	6570	9,77E-04
Zn	308,49	100	4500	12,6	6570	1,68E-03
Mn	467,87	100	4500	12,6	6570	2,54E-03
V	135,59	100	4500	12,6	6570	7,37E-04
Mo	13,92	100	4500	12,6	6570	7,56E-05
Cu	1961,60	100	4500	12,6	6570	1,07E-02

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight (mediana del intervalo entre 1 y 16 años)



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".

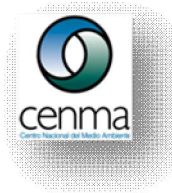


Tabla 9.31.- Cálculo de la dosis de ingesta media diaria por ingestión accidental de suelo en forma de polvo-MPS, Escenario 9.

VIA DE EXPOSICION INGESTION DE SUELO (EN FORMA DE MPS-POLVO)						
CONCON						
ESCENARIO 9: Adulto entre 18 y 70 años, expuesto 365 días por año, durante 50 años						
	CONCENT-MPS insol	TASA INGESTION (1)	TIEMPO EXPOSICION	PESO CORPORAL (2)	PERIODO DE EXPOSICION	DOSIS (I)
	mg/kg	mg/día	día	kg	día	mg/kg_día
Cd	1,36	50	18250	80	18250	1,65E-07
As	45,39	50	18250	80	18250	1,65E-04
Pb	90,87	50	18250	80	18250	1,10E-06
Cr	390,04	50	18250	80	18250	4,73E-04
Ni	179,64	50	18250	80	18250	4,36E-06
Zn	308,49	50	18250	80	18250	2,24E-05
Mn	467,87	50	18250	80	18250	5,67E-04
V	135,59	50	18250	80	18250	1,64E-05
Mo	13,92	50	18250	80	18250	1,69E-05
Cu	1961,60	50	18250	80	18250	2,38E-03

(1) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 5-1. Recommended Values for Daily Soil, Dust, and Soil + Dust Ingestion (mg/day).

(2) Exposure Factors Handbook. (2011) Table 8-1. Recommended Values for Body Weight



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncavi".

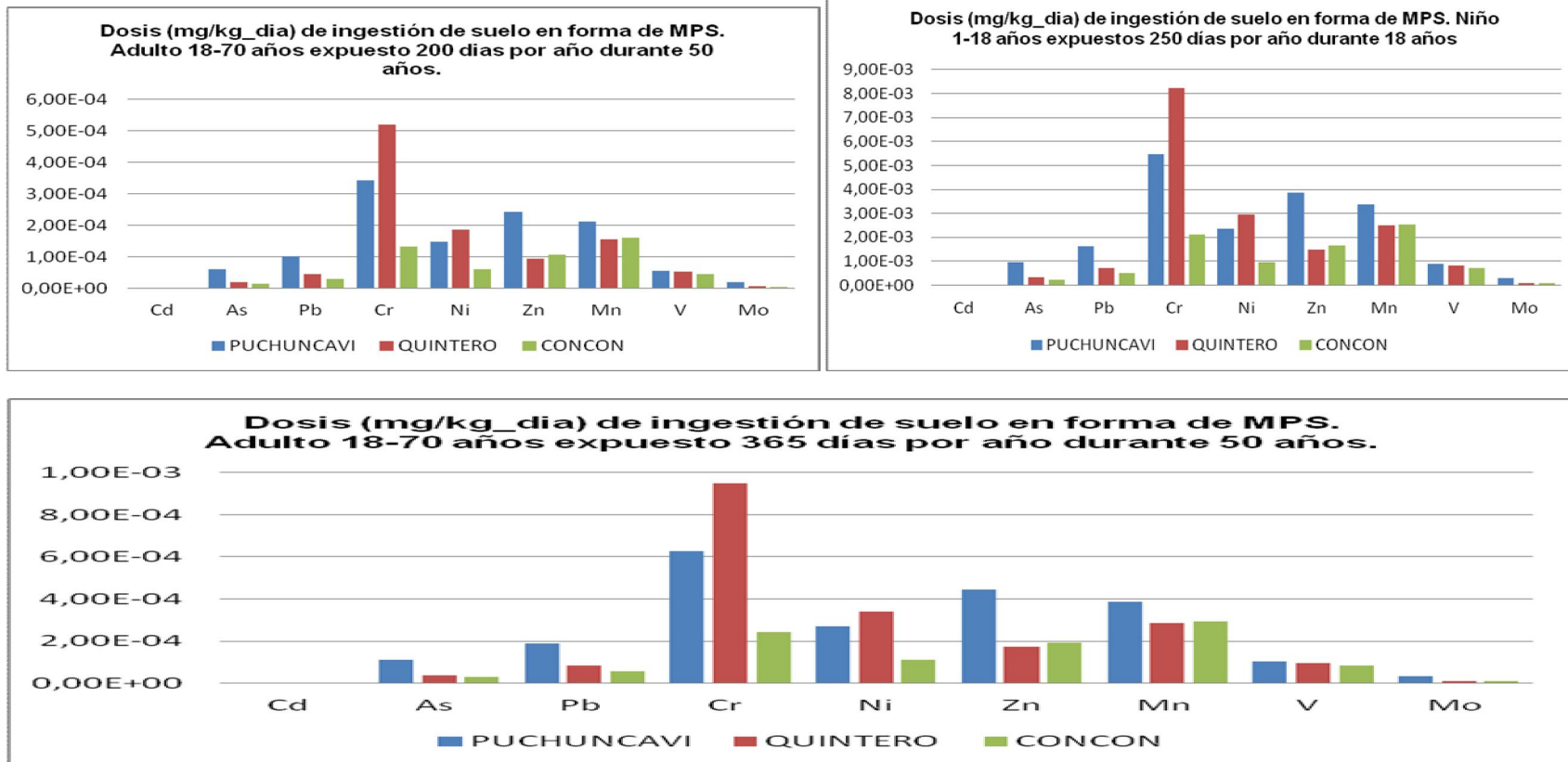


Figura 9.18- Representación de las dosis (mg/kg_día) de ingestión accidental de suelo en forma de polvo (MPS) para los escenarios considerados en las tres comunas.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



9.7 Conclusiones parciales.

La determinación de material particulado sedimentable (MPS) en 20 estaciones ubicadas en toda la zona de estudio, durante ocho meses, arrojó cantidades promedio de MPS por comuna que resultaron mayores en Concón ($166 \text{ mg/m}^2_{\text{d}}$), seguido de Puchuncaví ($115 \text{ mg/m}^2_{\text{d}}$) y Quintero ($96 \text{ mg/m}^2_{\text{d}}$), respecto de la masa de material particulado sedimentable que sedimenta en un área estándar (1 m^2) durante un período de tiempo especificado (1 día en este caso). O sea, en la Comuna de Concón, de manera promedio se deposita más polvo que en el resto de las comunas estudiadas.

Sin embargo, el análisis de composición química del material particulado sedimentable (MPS) arrojó que las mayores concentraciones de metales (Cd, As, Pb, Cu, Ni, Zn, Mn, V, Mo, Ni) se encuentran en la comuna de Puchuncaví, especialmente en el sector de La Greda, Los Maitenes y al interior de Puchuncaví.

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Cd (mg/kg)	1,36	1,95	3,84
As (mg/kg)	45,39	60,94	177,75
Pb (mg/kg)	90,87	133,64	313,90
Cr (mg/kg)	390,04	1515,19	1018,05
Ni (mg/kg)	179,64	543,50	437,59
Zn (mg/kg)	308,49	276,21	709,77
Mn (mg/kg)	467,87	457,94	623,15
V (mg/kg)	135,59	153,87	166,30
Mo (mg/kg)	13,92	18,92	53,51
Cu (mg/kg)	1961,60	4014,54	13626,87

Aunque esta evaluación no permite establecer inequívocamente la fuente industrial que aporta cada uno de los metales estudiados, la distribución general puede estar relacionada con la movilización de material fino por acción de los vientos.

Las concentraciones de metales encontradas en el MPS en la comuna de Puchuncaví son semejantes a las encontradas en el estudio de la Seremi de Salud en el año 2011.

Se estimaron dosis de ingesta media diaria para varias vías de exposición relacionadas con la presencia de polvo, lo que sin embargo, no permite establecer si estas dosis significan un riesgo para la salud de la población de la zona de estudio. Estas dosis, tampoco permiten descartar efectos sobre los ecosistemas terrestres de este sector.

9.8.- Propuesta de medidas de gestión

Se recomiendan las siguientes acciones para la gestión ambiental de los contaminantes metálicos en polvo (MPS) en la zona de estudio:



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



1.- RESPECTO DE LA AFECTACION A LA SALUD DE LA POBLACION Y LOS ECOSISTEMAS:

Se recomienda acometer evaluación de riesgo a la salud y los ecosistemas con los resultados obtenidos en este estudio. Esto porque la mera estimación de las dosis de exposición no permite emitir ningún juicio respecto de su nivel de riesgo y restringe su interpretación.

2.- RESPECTO DE LA CONTINUIDAD DE MEDICIONES DE MPS EN LA ZONA:

Se recomienda acometer un Programa de Monitoreo de MPS en la zona de estudio, utilizando los 26 colectores¹⁵ instalados por CENMA, aprovechando la experiencia adquirida en este estudio, tanto en la toma de muestras como para el análisis de las mismas, con duración de **cinco años**, de manera de establecer un diagnóstico fundamentado en mediciones respecto de la presencia de metales en el polvo sedimentable de este sector. Lo anterior, justificado en que la afectación ambiental de la zona a través del sector industrial ha estado sucediendo durante más de 40 años, mientras que el monitoreo efectuado en este proyecto se desarrolló durante 9 meses. Las conclusiones que se pueden obtener de valores correspondientes a 9 meses respecto de un fenómeno que ha sucedido durante decenas de años, podrían atribuirse a condiciones poco representativas para la magnitud del fenómeno mismo, si bien, constituyen el mayor despliegue realizado en el sector para estos efectos. La duración de cinco años, a razón de una muestra mensual permitirá obtener una cantidad suficiente de datos para estimar la evolución del polvo en la zona. Además, con la duración de cinco años se debería abarcar alguna combinación que incluya años lluviosos, años secos y años con comportamiento climático normal. Esto porque las lluvias disminuyen los niveles de polvo sedimentable e impiden la obtención de muestras, por lo que en años muy lluviosos se podría obtener 9 muestras y sus respectivos resultados en lugar de los 12 esperados en años secos.

3.- RESPECTO DE MEJORAS NORMATIVAS.

En el mediano plazo, a partir de los antecedentes del estudio de evaluación de riesgo y de nuevas mediciones, se recomienda avanzar en formular normas de calidad ambiental para material particulado sedimentable (MPS) en la zona de estudio. Esto porque, la existencia de normativa es lo que garantiza, en el largo tiempo, la continuidad de las mediciones y es lo que permite activar mecanismos legales para la descontaminación, en caso de que se sobrepasen los niveles de latencia y saturación.

¹⁵ Corresponden a los 20 colectores instalados para este estudio más los 6 colectores instalados en el borde costero de la Bahía de Quintero, instalados para la consultoría de evaluación de riesgo ecológico acometida por CEA con participación de CENMA, que se encuentra en desarrollo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



4.- RESPECTO DE LA PREVENCIÓN DE LOS EFECTOS DEL POLVO EN LA SALUD DE LA POBLACION:

En este sentido se recomiendan acciones de diferentes tipos:

- **Por parte de las empresas en el complejo industrial:** mejorar prácticas operacionales tendientes a disminuir la emisión de polvos tales como operación con coberturas en los graneles, humectación de espacios industriales durante operaciones de carga y descarga, mejorar protección de los trabajadores mediante máscaras y extractores de polvo que no emitan al ambiente el polvo industrial extraído, reforestación o encapsulado de las cenizas contenidas en cenizales, entre otras acciones. Estas recomendaciones no modifican los compromisos contraídos en las Resoluciones de Calificación Ambiental, sino que pretenden complementarlas. Las mediciones efectuadas no permiten distinguir fuentes emisoras de polvo, ni tampoco concluir que los niveles encontrados sean constitutivos de riesgo. Sin embargo, lo cierto es que hay polvo, por lo que podrían diseñarse medidas para disminuirlo.
- **Por parte de las autoridades educacionales y de salud:**
Considerando que, cualquiera sea la significación del riesgo que estas dosis de exposición puedan representar, existen acciones que disminuyen el riesgo al interrumpir la exposición. En esta dirección se recomiendan algunas acciones que pretenden interrumpir el proceso en que los contaminantes en el polvo sedimentable se conviertan en dosis internas. Específicamente:
 - Aumentar las acciones de limpieza de polvo en escuelas y establecimientos de salud (consultorios y postas médicas).
 - Acometer campañas intensivas de educación a niños y ancianos respecto de la importancia de lavarse las manos antes de ingerir alimentos.
 - Capacitar a madres y educadores de párvulos respecto de lavar las manos a los niños luego de jugar en el suelo o en el jardín.
- **Por parte de las autoridades locales:** Instalar sistemas de lavado de manos en plazas, jardines y espacios públicos para que cualquier persona que se encuentre en el sector, pueda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.

5.- RESPECTO DE LA PREVENCIÓN DE LOS EFECTOS DEL POLVO EN LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES.

Se recomienda estudiar la factibilidad de acometer acciones de protección de cultivos con sistemas tecnológicos que permitan su protección del polvo, generando los fondos para conocer y desarrollar emprendimientos en este sentido.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CAPITULO 10: RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES.

En este estudio se evaluó la exposición de los receptores humanos y ecológicos de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví a contaminantes en el aire y polvo, según metodología del Ministerio de Medio Ambiente para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes, incorporando criterios adicionales de la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para fines similares.

La zona se caracteriza por un clima templado, cálido lluvioso, con vientos predominantes en dirección mar-valle durante el día y valle-mar durante la noche. Además, se presentan nieblas matinales y lloviznas débiles que producen baja amplitud térmica diaria y anual; la humedad atmosférica es alta, alcanzando un valor promedio de 82% y el 80% de la precipitación anual ocurre entre los meses de mayo a agosto.

Se desarrolló un modelo conceptual, que con base en la información existente, describe las relaciones posibles de presuntos contaminantes genéricos en el aire y en el polvo, desde las fuentes industriales hasta los receptores de interés. Los presuntos contaminantes en el aire y en el polvo pueden ser transportados pasivamente hasta los puntos de contacto con los receptores de las comunidades aledañas así como seguir otros destinos ambientales tales como los suelos superficiales o las aguas. Aunque estos contaminantes pueden provenir de una o varias fuentes puntuales o de fuentes areales, el objetivo mismo de estudiar la exposición es evaluar las dosis que con mayor probabilidad puedan estar en contacto con receptores de interés. Por consiguiente, no es una evaluación de cumplimiento normativo ni tampoco un inventario de emisiones de contaminantes.

A partir de la información preliminar entregada por los antecedentes de licitación se conoció tempranamente que existe preocupación de que las emisiones aéreas provenientes de las actividades industriales que se desarrollan en la zona puedan afectar a los núcleos poblados de la misma. Para la estimación de las dosis de exposición crónica, se diseñaron **nueve escenarios de exposición** considerando las vías de exposición que incluyen como rutas las siguientes: inhalación de gases, inhalación de partículas, ingestión accidental de partículas y contacto dérmico con partículas. Para la exposición aguda por dióxido de azufre (SO₂), se compararon las concentraciones encontradas con los niveles guía de exposición aguda –denominados AEGL–, desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

La toma de muestras y las mediciones en terreno se organizaron cumpliendo requerimientos de representatividad poblacional concordante con el objetivo del estudio: adquirir la información de la concentración de los potenciales contaminantes en los sectores más próximos a los receptores de interés. Durante más de 9 meses, se desarrolló un despliegue experimental que abarcó la instalación de estaciones de monitoreo continuo en tres sectores de toda la zona para mediciones de material particulado fino (MP2,5) y parámetros de condición



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



meteorológica así como las concentraciones de dióxido de azufre. También se obtuvieron muestras discretas de Material Particulado Sedimentable (MPS) y compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos: BTEX) en 20 puntos distribuidos en toda el área. Como complemento a la información ambiental se obtuvieron también 95 muestras puntuales de suelo superficial y 26 muestras de agua superficial y sedimentos fluviales en 13 puntos como información complementaria.

A partir de las concentraciones medidas para 940 muestras y 17360 resultados experimentales, se seleccionaron contaminantes de interés para los cuales se desarrolló la evaluación de exposición. Las conclusiones por contaminante efectivamente detectado, se pueden expresar como sigue:

Dióxido de azufre (SO₂)

La modelación de la dispersión de dióxido de azufre demuestra que los aportes de las fuentes puntuales de las empresas Aga, Gasmar y Oxiquim es prácticamente despreciable en comparación con el resto de las fuentes. En el sector de Concón, la refinería de ENAP contribuye a la presencia de SO₂ en la comuna. Sin embargo, los mayores aportes provienen indiscutiblemente de las fuentes areales y puntuales de Codelco Ventanas, del Puerto de Ventanas y de AES Gener.

La influencia de niveles intermedios de dióxido de azufre (en el orden de 500 µg/m³; o sea, en niveles próximos al valor AEGL-1 descrito como la concentración que provoca molestia en la población y efectos pasajeros; o sea, perceptibles) se mantiene fundamentalmente sobre la bahía durante las horas de la noche pero durante el día, se desplaza sobre la comuna de Puchuncaví, llegando incluso a la comuna de Quintero en algunas condiciones de viento favorables para ello. El sector de La Greda recibe la influencia sostenida de las mayores concentraciones modeladas de dióxido de azufre.

Del mismo modo, la modelación evidenció que las estaciones que monitorean SO₂ en el sector, no siempre coinciden con el área de influencia de la pluma de dispersión por lo que, eventualmente, puede que no registren las concentraciones existentes y, para el caso de los eventos de alta concentración de SO₂, puede ser que los registren de manera parcial o incompleta.

La modelación de algunos de los eventos de altas concentraciones registrados en la zona entre enero y junio de 2012, permite ratificar la importancia de las condiciones meteorológicas para el manejo de estos eventos. La modelación está realizada considerando las condiciones normales de emisión y revisando las condiciones meteorológicas en días específicos. Por consiguiente, esta modelación describe la trayectoria de los contaminantes, no necesariamente, las condiciones de emisión que originaron uno u otro episodio.

Las concentraciones medidas en las estaciones existentes en la zona y en las estaciones Cenma, respecto de las normas primaria y secundaria de calidad para



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



SO₂, indican que ninguna estación se encuentra en condiciones de latencia, lo que puede estar influenciado por la ubicación relativa de las mismas, como se indicó anteriormente.

Las concentraciones absolutas de SO₂ medidas en la Nueva Escuela La Greda son relativamente bajas pero destaca que existen concentraciones medibles durante todo el día, por lo que esta zona no puede considerarse como libre de la influencia de estas emisiones gaseosas provenientes del complejo industrial, aunque los niveles son menores que los existentes en el sector donde se ubicaba la antigua escuela.

En repetidas ocasiones durante el año 2012, se superaron valores de alerta de tipo AEGL-2, tanto en las estaciones Cenma como en las estaciones de la red existente en la zona.

Los receptores humanos de la zona de estudio, se encuentran expuestos a relativamente altas concentraciones, de corta duración (exposición aguda), que puede afectar su salud con el incremento de enfermedades respiratorias.

Compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos: BTEX)

Las concentraciones promedio detectadas en cada una de las comunas, durante 7 meses de toma de muestras con frecuencia de 14 días de exposición de los tubos pasivos corresponden a:

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Benceno (µg/m ³)	1,93	1,60	1,59
Tolueno (µg/m ³)	8,98	7,61	8,34
Etilbenceno (µg/m ³)	2,74	2,14	2,45
Xilenos (µg/m ³)	7,48	5,81	7,26

Estas concentraciones son relativamente menores que los niveles de contaminantes basados en riesgo, correspondientes a 3,0 µg/m³ para benceno; 5000 µg/m³ para tolueno; 1000 µg/m³ para etilbenceno y 100 µg/m³ para xilenos.

A pesar de que este estudio constituye el mayor despliegue experimental respecto de toma de muestras y medición de este tipo de compuestos en la zona de estudio, el mismo no constituye una evaluación de riesgo que permita descartar el efecto de estos contaminantes en la salud humana.

Material particulado fino (MP2,5) y de metales en filtros impactados con material particulado fino.

La comparación referencial de los contenidos de MP2,5 con la norma primaria (D.S. N°12/2011) que establece un valor límite de 50 µg/m³ para el promedio del percentil 98 de las concentraciones diarias durante 3 años y un valor de 20 µg/m³



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



para el promedio trianual permitió establecer que, durante los nueve meses de medición, en la zona de Concón se superó el límite de la norma para la concentración diaria durante un día mientras que el promedio mensual se superó en los meses de mayo y julio. En la zona de Ventanas, el límite de la norma para concentración diaria se superó tres días mientras que el mayor promedio mensual correspondió al mes de julio.

Las concentraciones medidas en la Nueva Escuela La Greda resultaron menores que las medidas en la zona de Ventanas, aunque para este sector la medición se realizó sólo durante tres meses.

Si bien este estudio no constituye una evaluación del cumplimiento de normativas en el sentido estricto, la comparación referencial con los límites establecidos en las normas primarias es una herramienta metodológica válida por cuanto estas normas establecen los niveles de contaminantes en el ambiente para los cuales existe un riesgo para la vida o salud de la población, de modo que, por debajo de los valores establecidos, se considera que la exposición no representa un riesgo para la población. Este principio ha sido descrito en la Guía de Evaluación de Impacto Ambiental. Riesgo para la salud de la población en el SEIA desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Salud y el Servicio de Evaluación Ambiental como integrantes del Gobierno de Chile.

Respecto de la presencia de metales en filtros impactados por material particulado MP 2,5, los metales zinc, cadmio, molibdeno, vanadio y manganeso no fueron detectados en ninguno de los dos sectores durante todo el estudio. Para los metales arsénico, níquel y mercurio, se encontraron valores detectables en menos de cinco días durante el período de estudio, lo que puede vincularse con presencia ocasional en la zona. En estas condiciones no es posible realizar el cálculo de dosis de exposición para estos contaminantes.

Los metales que con mayor frecuencia fueron detectados corresponden a cobre y selenio tanto para el sector de Concón como para el sector de Ventanas, para los cuales se calcularon dosis de ingesta promedio diaria, por inhalación de partículas, las que resultaron mayores en las comunas de Puchuncaví-Quintero comparadas con Concón. Estas dosis consideran también la cantidad de partículas y la proporción de partículas más finas (MP2,5) respecto de la cantidad de partículas de MP10. Lo anterior, en consideración a que la evidencia obtenida por la USEPA indica que es la fracción fina la que con mayor probabilidad induce efectos demostrables en la salud.

Material particulado sedimentable (MPS): cantidad y contenido de metales.

La determinación de material particulado sedimentable (MPS) en 20 estaciones ubicadas en toda la zona de estudio, durante ocho meses, arrojó cantidades promedio de MPS por comuna que resultaron mayores en Concón ($166 \text{ mg/m}^2\text{-d}$), seguido de Puchuncaví ($115 \text{ mg/m}^2\text{-d}$) y Quintero ($96 \text{ mg/m}^2\text{-d}$), respecto de la masa de material particulado sedimentable que sedimenta en un área estándar (1



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



m²) durante un período de tiempo especificado (1 día en este caso). O sea, en la Comuna de Concón, de manera promedio se deposita más polvo que en el resto de las comunas estudiadas.

Sin embargo, el análisis de composición química del material particulado sedimentable (MPS) arrojó que las mayores concentraciones de metales (Cd, As, Pb, Cu, Ni, Zn, Mn, V, Mo, Ni) se encuentran en la comuna de Puchuncaví, especialmente en el sector de La Greda, Los Maitenes y al interior de Puchuncaví.

	Concón	Quintero	Puchuncaví
Cd (mg/kg)	1,36	1,95	3,84
As (mg/kg)	45,39	60,94	177,75
Pb (mg/kg)	90,87	133,64	313,90
Cr (mg/kg)	390,04	1515,19	1018,05
Ni (mg/kg)	179,64	543,50	437,59
Zn (mg/kg)	308,49	276,21	709,77
Mn (mg/kg)	467,87	457,94	623,15
V (mg/kg)	135,59	153,87	166,30
Mo (mg/kg)	13,92	18,92	53,51
Cu (mg/kg)	1961,60	4014,54	13626,87

Aunque esta evaluación no permite establecer inequívocamente la fuente industrial que aporta cada uno de los metales estudiados, la distribución general puede estar relacionada con la movilización de material fino por acción de los vientos.

Las concentraciones de metales encontradas en el MPS en la comuna de Puchuncaví son semejantes a las encontradas en el estudio de la Seremi de Salud en el año 2011.

Se estimaron dosis de ingesta media diaria para varias vías de exposición relacionadas con la presencia de polvo, lo que sin embargo, no permite establecer si estas dosis significan un riesgo para la salud de la población de la zona de estudio. Estas dosis, tampoco permiten descartar efectos sobre los ecosistemas terrestres de este sector.

Otros resultados obtenidos en muestras de suelo, sedimentos fluviales y aguas superficiales fueron entregados como soporte analítico para la consultoría de evaluación de riesgo que desarrolla la PUCV, quienes deberán evaluar la significación que estas concentraciones tienen para la salud de las personas y del ecosistema. Es importante destacar, que **todos** los resultados emitidos respecto de mediciones analíticas desarrolladas tanto en laboratorio como en terreno, han sido sometidos a procesos internos de aseguramiento y control de calidad, para los que se dispone evidencia objetiva de su calidad tanto analítica como ambiental.

De manera general, sin constituir una evaluación de exposición ni de riesgo, las mayores concentraciones de metales en suelo superficial se ubicaron en el sector inmediato a la Bahía de Quintero, entre La Greda y Los Maitenes. En el sector de



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Concón se encontraron altas concentraciones de V y Cr en suelo superficial. Las concentraciones de metales pesados en aguas superficiales son bajas para todos los metales estudiados. El Mn fue el metal con mayores contenidos. En las estaciones de los sectores altos de las cuencas estudiadas, se encontraron las mayores concentraciones de cobre en aguas. Los sedimentos fluviales de todas las estaciones presentaron concentraciones medibles de casi todos los metales estudiados, pero la significación del riesgo que estas concentraciones en aguas y sedimentos representan para el ecosistema deberá evaluarse mediante un análisis específico.

A partir de los valores experimentales obtenidos en este estudio, se puede concluir que la zona se encuentra expuesta a la presencia de contaminantes, con niveles relativamente diferentes para las tres comunas en estudio, tal como se aprecia en la siguiente tabla que resume los valores promedio por contaminante en cada matriz de interés, por comuna:



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Tabla resumen de concentraciones promedio por analito por matriz, para cada una de las comunas estudiadas, incluyendo mediciones realizadas en el sector de la Nueva Escuela La Greda, durante el año 2012 (**Basado en mediciones realizadas por CENMA**).

Analito	Matriz	Concón	Quintero	Puchuncaví	Nueva Escuela La Greda
SO ₂ (µg/m ³ N)	Aire	22	-	21	21
Benceno (µg/m ³)	Aire	1,93	1,60	1,59	-
Tolueno (µg/m ³)	Aire	8,98	7,61	8,34	-
Etilbenceno (µg/m ³)	Aire	2,74	2,14	2,45	-
Xileno (µg/m ³)	Aire	7,48	5,81	7,26	-
MP2,5 (µg/m ³)	Aire	15	-	22	9
Cu- MP2,5 (mg/kg)	Polvo respirable	10039,80	-	10840,56	-
Se- MP2,5 (mg/kg)	Polvo respirable	14223,53	-	17055,36	-
MPS total (mg/m ² _d)	Polvo sedimentable	166	96	115	-
Cd (mg/kg)	Polvo sedimentable	1,36	1,95	3,73	-
As (mg/kg)	Polvo sedimentable	45,39	60,94	179,8	-
Pb (mg/kg)	Polvo sedimentable	90,87	133,64	300,42	-
Cr (mg/kg)	Polvo sedimentable	390,04	1515,19	1003,37	-
Ni (mg/kg)	Polvo sedimentable	179,64	543,50	433,72	-
Zn (mg/kg)	Polvo sedimentable	308,49	276,21	712,40	-
Mn (mg/kg)	Polvo sedimentable	467,87	457,94	618,05	-
V (mg/kg)	Polvo sedimentable	135,59	153,87	164,08	-
Mo (mg/kg)	Polvo sedimentable	13,92	18,92	54,30	-
Cu (mg/kg)	Polvo sedimentable	1961,60	4015,54	13726,87	-
As (mg/kg)	Suelo superficial rural	13,5	26,8	50,6	
As (mg/kg)	Suelo superficial urbano	15,9	21,6	30,2	
Zn (mg/kg)	Suelo superficial rural	118	136,4	177,2	
Zn (mg/kg)	Suelo superficial urbano	223,4	132,9	167,0	
Mn (mg/kg)	Suelo superficial rural	1002	1079	947,5	
Mn (mg/kg)	Suelo superficial urbano	1157	917,1	975,5	
V (mg/kg)	Suelo superficial rural	243	218,3	170,9	
V (mg/kg)	Suelo superficial urbano	311,6	197,2	139,2	
Cu (mg/kg)	Suelo superficial rural	148	223,3	705,4	
Cu (mg/kg)	Suelo superficial urbano	140,7	327,1	425,6	



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Las concentraciones promedio de los contaminantes gaseosos (SO_2 , Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) son relativamente parecidas entre una comuna y otra, lo que indica que el patrón de vientos y las condiciones meteorológicas son los forzantes del sistema ambiental que condicionan la dispersión de los contaminantes en el sector.

Respecto de los contaminantes en el material particulado fino, su distribución también es relativamente parecida entre las tres comunas.

Para As y Cu el comportamiento promedio en el material particulado sedimentable y en el suelo superficial, sigue la secuencia Puchuncaví > Quintero > Concón lo que corrobora la influencia de los vientos en la dispersión de contaminantes desde el complejo industrial hasta la zona interior de Puchuncaví. Para el resto de los metales no se establecieron patrones específicos.

Estas concentraciones y sus respectivas dosis, según los escenarios de exposición considerados, deberán ser evaluadas para determinar el nivel de riesgo que estos contaminantes suponen en los receptores.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



CAPITULO 11: RECOMENDACIONES PARA LA GESTION AMBIENTAL

Incluso sin haber desarrollado un análisis de riesgo, la existencia de contaminantes en dosis de ingesta promedio diaria para diferentes escenarios, sugiere que pueden acometerse diferentes medidas de gestión de manera de evitar los posibles puntos de contacto entre los receptores y los contaminantes en las matrices ambientales, lo que significa, intrínsecamente, disminuir el riesgo cualquiera sea el valor de ese riesgo. Por consiguiente, en virtud de los resultados obtenidos, se pueden formular las siguientes recomendaciones para la gestión ambiental de la zona de estudio.

Respecto de la exposición aguda al dióxido de azufre, se formulan varias recomendaciones, separadas por temas:

1. **RESPECTO DE LA RED DE ESTACIONES DE MEDICION DE CALIDAD DE AIRE:** Se valora positivamente la cantidad de estaciones que existen en la zona. Sin embargo, se proponen las siguientes mejoras:
 - **Instalar nuevas estaciones adicionales** a las existentes, **deseablemente** operadas por entidades públicas. La cantidad y ubicación de dichas estaciones deberá estudiarse en función de la factibilidad técnica y logística de su instalación. Como recomendación inicial, se propone al menos instalar nuevas estaciones en el sector de la Nueva Escuela de La Greda y en el sector de Horcón.
 - Realizar **auditorías externas documentadas** a las estaciones de monitoreo verificando sus calibraciones y operación.
2. **RESPECTO DE LOS EVENTOS DE ALTAS CONCENTRACIONES DE SO₂ Y CORTA DURACION:** En la zona se producen eventos de altas concentraciones de SO₂, de corta duración, provenientes de la actividad industrial y con fuerte incidencia de las condiciones meteorológicas, que cambian bruscamente en la zona. En estas condiciones, se recomienda avanzar en la modelación de estos eventos para utilizar esta herramienta con carácter predictivo y anticipativo, de manera de mejorar la gestión de estos eventos, con relación a la operación de las empresas industriales coordinada por las condiciones meteorológicas y con la supervisión de la autoridad competente. Este sistema supone una cooperación público-privada, con avance tecnológico que tienda a disminuir la frecuencia de eventos de altas concentraciones de SO₂ y corta duración.
3. **RESPECTO DE LA NORMATIVA:** La existencia de normativa de calidad primaria y secundaria para SO₂, ha permitido generar una cantidad importante de mediciones. Sin embargo, al presente se recomienda avanzar en la revisión de la normativa existente, especialmente en los aspectos relacionados con la frecuencia de obtención de los valores y su



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



evaluación estadística, para detectar tempranamente la presencia de altas concentraciones de este contaminante.

4. **RESPECTO DE LA CAPACITACION AMBIENTAL DEL PERSONAL:** Considerando las condiciones de la zona respecto de los niveles de SO₂, es posible recomendar la capacitación especializada en este tema, para residentes en la zona, autoridades locales, profesores, dirigentes vecinales, operarios industriales y otros.
5. **RESPECTO DE LOS PLANES DE EVACUACION EN SITUACIONES DE EMERGENCIA POR SO₂:** Se deben revisar los planes de evacuación en situaciones de emergencia por SO₂, considerando la extensión del área de influencia de las concentraciones de este gas en todo el sector.
6. **RESPECTO DEL AISLAMIENTO DE LOS RECEPTORES DE LA INFLUENCIA DEL SO₂:** Es innegable que existen concentraciones de SO₂ que afectan a la población de la zona, de todas las comunas, aunque con mayor grado en Puchuncaví y Quintero, seguidos por Concón. Por consiguiente, se propone avanzar en la formulación de alternativas tecnológicas que mejoren el aislamiento de las viviendas e instalaciones públicas como colegios, jardines infantiles e instituciones de salud, a través de sistemas que permitan captar los contenidos de SO₂ atmosférico, retenerlos y disminuir su interacción intradomiciliaria con los receptores humanos. Esta solución puede constituir un desafío tecnológico importante considerando la reactividad del SO₂. Por lo que se propone generar un Fondo de Innovación que licite a concurso las mejores alternativas para la "Mitigación de los efectos del SO₂ sobre las personas y las plantas".
7. **RESPECTO DE LA EXPOSICION LABORAL:** Si bien este estudio, no consideró la exposición laboral de manera explícita para ninguno de los contaminantes, es recomendable que se revisen, mejoren y/o implementen protocolos tendientes a proteger a los trabajadores de las distintas fuentes de las emisiones de SO₂.

Para la gestión de la exposición crónica, independientemente de los resultados de la evaluación del riesgo, es posible proponer las siguientes medidas genéricas:

- Se continúe el monitoreo de estos analitos (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno) especialmente en la comuna de Concón de modo de esclarecer si las concentraciones aparentemente mayores encontradas en este estudio, se mantienen en el tiempo. Estas mediciones debiesen constituir la base para evaluar la significación de las respectivas dosis para efectos en la salud de las personas, y con esa evaluación se podrá avanzar o no en la formulación de



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



normativas específicas para la zona, si hubiese mérito para ello con base en un enfoque basado en riesgo.

- Aumentar la cobertura de estaciones con capacidad para medición de MP2,5 en la zona, lo que es coherente con el cumplimiento de la norma de calidad para MP2,5.
- Realizar evaluación de riesgo en la salud respecto de las concentraciones de Cu y Se encontradas en los filtros impactados con MP2,5 como soporte para evaluar la continuidad de la medición de la concentración de metales en material particulado.
- La implementación y consolidación de las normas de emisión de fundiciones y de termoeléctricas debiesen, en el largo plazo, consolidar la disminución de la exposición de los pobladores de esta zona de estudio y de todo el país.
- Se recomienda acometer un Programa de Monitoreo de MPS en la zona de estudio, Se recomienda acometer un Programa de Monitoreo de MPS en la zona de estudio, utilizando los 26 colectores¹⁶ instalados por CENMA, aprovechando la experiencia adquirida en este estudio, tanto en la toma de muestras como para el análisis de las mismas, con duración de **cinco años**, de manera de establecer un diagnóstico fundamentado en mediciones respecto de la presencia de metales en el polvo sedimentable de este sector. Lo anterior, justificado en que la afectación ambiental de la zona a través del sector industrial ha estado sucediendo durante más de 40 años, mientras que el monitoreo efectuado en este proyecto se desarrolló durante 9 meses. Las conclusiones que se pueden obtener de valores correspondientes a 9 meses respecto de un fenómeno que ha sucedido durante decenas de años, podrían atribuirse a condiciones poco representativas para la magnitud del fenómeno mismo, si bien, constituyen el mayor despliegue realizado en el sector para estos efectos. La duración de cinco años, a razón de una muestra mensual permitirá obtener una cantidad suficiente de datos para estimar la evolución del polvo en la zona. Además, con la duración de cinco años se debería abarcar alguna combinación que incluya años lluviosos, años secos y años con comportamiento climático normal. Esto porque las lluvias disminuyen los niveles de polvo sedimentable e impiden la obtención de muestras, por lo que en años muy lluviosos se podría obtener 9 muestras y sus respectivos resultados en lugar de los 12 esperados en años secos.
- Avanzar, de conjunto con estos resultados y con los que se obtengan del Programa de Monitoreo propuesto, en el diseño de normas de calidad

¹⁶ Corresponden a los 20 colectores instalados para este estudio más los 6 colectores instalados en el borde costero de la Bahía de Quintero, instalados para la consultoría de evaluación de riesgo ecológico acometida por CEA con participación de CENMA, que se encuentra en desarrollo.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



ambiental para material particulado sedimentable (MPS) en la zona de estudio. Esto porque, la existencia de normativa es lo que garantiza, en el largo tiempo, la continuidad de las mediciones y es lo que permite activar mecanismos legales para la descontaminación.

- Mejorar prácticas operacionales tendientes a disminuir la emisión de polvos tales como operación con coberturas en los graneles, pavimentación de caminos, humectación de espacios industriales durante operaciones de carga y descarga, mejorar protección de los trabajadores mediante máscaras y extractores de polvo que no emitan al ambiente el polvo industrial extraído, reforestación o encapsulado de las cenizas contenidas en cenizales, entre otras acciones. Estas recomendaciones no modifican los compromisos contraídos en las Resoluciones de Calificación Ambiental, sino que pretenden complementarlas.
- Considerando que, cualquiera sea la significación del riesgo que estas dosis de exposición puedan representar, existen acciones que disminuyen el riesgo al interrumpir la exposición. Es esta dirección se recomiendan algunas acciones que pretenden interrumpir el proceso en que los contaminantes en el polvo sedimentable se conviertan en dosis internas. Específicamente:
 - Aumentar las acciones de limpieza de polvo en escuelas y establecimientos de salud (consultorios y postas médicas).
 - Acometer campañas intensivas de educación a niños y ancianos respecto de la importancia de lavarse las manos antes de ingerir alimentos.
 - Capacitar a madres y educadores de párvulos respecto de lavar las manos a los niños luego de jugar en el suelo o en el jardín.
- Instalar sistemas de lavado de manos en plazas, jardines y espacios públicos para que cualquier persona que se encuentre en el sector, pueda lavarse las manos antes de ingerir alimentos.
- Estudiar la factibilidad de acometer acciones de protección de cultivos con sistemas tecnológicos que permitan su protección del polvo, generando los fondos para conocer y desarrollar emprendimientos en este sentido.

Finalmente, por el nivel de intervención de la zona y las condiciones de altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos de las lagunas correspondientes al Estero Campiche, se recomienda acometer un proceso de norma secundaria de calidad de aguas combinada con sedimentos para la cuenca del Estero Campiche.



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INE (2012) Resultados preliminares del Censo 2012

Plan Intercomunal Valparaíso: "Modificación Plan Intercomunal de Valparaíso, Zonas Industriales Peligrosas y Adyacentes - Comunas de Viña del Mar, Quintero y Puchuncaví"

Ministerio de Medio Ambiente (2012) Guía Metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes

GUÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. RIESGO PARA LA SALUD DE LA POBLACIÓN EN EL SEIA. Editor: Servicio de Evaluación Ambiental ISBN: 978-956-9076-06-0 2012

Resolución Exenta No 1690 de 2011, Aprueba Metodología para la Identificación y evaluación preliminar de suelos abandonados con potencial presencia de contaminantes.

Guía Para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos de Reparación o Recuperación de Terrenos que Contengan Contaminantes, 2007

Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. EPA /600/R-090/052F

Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso. Implementación de un Modelo Atmosférico”, UNTEC-2012

DS No 113 de 6 de agosto de 2012, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Establece Norma Primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO₂)).

DS No 22 de 2009, Ministerio Secretaría General de la Presidencia: Establece norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso (SO₂).

Decreto Supremo N° 346/94 Ministerio de Agricultura, que declara Zona Saturada por material particulado respirable MP10 y SO₂, como concentración anual, a la zona circundante a la Refinería Ventanas.

DS No 252 de 1992, del Ministerio de Minería que apruebe el plan de descontaminación del complejo industrial Las Ventanas.

Dcto. 45/2001 Ministerio Secretaria General De La Presidencia MODIFICA DECRETO N° 59, DE 1998, QUE ESTABLECE LA NORMA DE CALIDAD PRIMARIA PARA MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE MP10



INFORME FINAL "Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví".



Decreto 12 :09-05-2011 :18-01-2011 :MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
:ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP 2,5 :

D.S. N° 61/08 del MINSAL

Perfil toxicológico del benceno: <http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>

Perfil toxicológico del etilbenceno:
http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts110.pdf

Perfil toxicológico del xileno http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.pdf

Perfil toxicológico del anhídrido sulfuroso:
http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts116.pdf

Perfil toxicológico del zinc: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.pdf>

SASS/SUPER SASS Speciation Samplers:
<http://www.metone.com/documents/SASS0301Particulate.pdf>

CENMA (2011): PLM-CA-009 "Procedimiento de codificación y cadena de custodia de filtros". Versión 1.

CENMA (2012) ILQAA-0011,"Gravimetría de filtros". Versión 2.

CENMA (2012) ILQAL-0018 "Mercurio por EAA- Vapor Frío" Versión 1-

CENMA (2012): ILQAL-0019 "Determinación de metales por ICP", Versión 4.

CENMA (2011) PLM-CA-005: PROCEDIMIENTO DE USO, MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE MONITORES DE GASES. Versión 1

Seremi de Salud, Valparaíso, Ordinario No 1448/2011, comunica Informe de análisis de metales en polvo y suelo en colegios de Puchuncaví,

DS N°4/1992 que "Establece Normas de Calidad de Aire para Material Particulado Sedimentable en la cuenca del río Huasco, III Región"

Informe "Especificaciones técnicas para implementación red de monitoreo material de polvo sedimentable en cuenca de Río Huasco", realizado por el CIMM.

ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter)



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



CENMA (2012) ILQAA-0001: Determinación de Material Particulado Sedimentable. Versión 2

CENMA (2012) ILQAA-0002: Determinación de Metales en MPS. Versión 1

CENMA (2012) PLM-CA-012: PROCEDIMIENTO DE MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE. Versión 1.

CADE-IDEPE 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. 160 pp.

DGA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS 2012. Caudales instantáneos. Disponible en: <http://dgasatel.mop.cl/>

Martínez, C. y C. Cortez 2007. Características hidrográficas y sedimentológicas en el estuario del río Aconcagua, Chile central. Revista de Geografía Norte Grande. 37: 63-74.

Ingendesa 1987. Estudio y modelo de simulación hidrogeológico zona de desembocadura del río Aconcagua.

Concón, Ilustre Municipalidad 2012. Sitio web Municipalidad. Disponible en: <http://www.concon.cl/turismo-en-concon/principales-atractivos/item/66-parque-la-isla-desembocadura-r%C3%ADo-aconcagua.html>

COREMA 2008. Informe consolidado de la evaluación del proyecto “Central termoeléctrica Campiche”. 64 p.

Chinchimen 2010. Portal difusión del medio ambiente. Disponible en: <http://www.chinchimen.org/SAVE.html>.

Municipalidad de Puchuncaví sin fecha. Portal web. Diponible en: <http://www.munipuchuncavi.cl/derramepetcoke.htm>

UTFSM, 2002. Universidad Técnico Federico Santa María. Portal web. Disponible en: http://www.arq.utfsm.cl/wp-content/files_mf/1281769200Sitios_de_la_Estrategia_para_la_Conservaci%C3%B3n.pdf

Simeone, A., E. Oviedo, M. Bernal y M. Flores 2008. Las aves del humedal de Mantagua: Riqueza de especies, amenazas y necesidades de conservación. Boletín Chileno de Ornitología. 14(1): 22-35.

Cosío, F., M. Negrón, J. Gastó y J.L. Villate 2007. Distritos y sitios de la provincia templada secoestival nubosa o Valparaíso: secoano de la costa. Revista Conservación de Suelo 7(1): 38-61.



INFORME FINAL “Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví”.



INE INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS. Portal web Censo 2002. Disponible en: <http://www.ine.cl/cd2002/index.php>

Caleta Horcón 2001. Portal web Disponible en: <http://caletahorcon.cl/>

CONAF/CONAMA/BIRF 2002. Actualización del Catastro y evaluación de los recursos nativos de Chile.

Handbook on the Toxicology of Metals, G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg, y L.T. Friberg. Third edition, 2007. Academic Press/Elsevier.

Present Knowledge of Nutrition. Seventh edition. E.E. Ziegler and L.J. Filer, editors. ILSI Press, Washington, DC, 1996.

Ministerio de Medio Ambiente. (2011). TERMINOS DE REFERENCIA. Evaluación de exposición ambiental a sustancias potencialmente contaminantes presentes en el aire, Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

U.S.EPA. Method 6010C. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. In: United States Environmental Protection Agency. Test methods for evaluating solid wastes. Physical/chemical methods. SW-846 on-line.

USEPA Method 6200 Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment.

U.S. Environmental Protection Agency (1986). The Risk Assessment Guidelines of 1986. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC 20460. EPA/600/8-87/045.

U.S. Environmental Protection Agency (1992). Guidelines for Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency. 57 Federal Register 22888-22938. May 29, 1992. EPA/600/Z-92/001.