



Contaminación por metales en suelos de Copiapó: Diagnóstico y propuestas públicas

CONTAMINACIÓN POR METALES EN SUELOS DE COPIAPÓ: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS PÚBLICAS

© Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable
CEDEUS

Cómo citar este documento:

CEDEUS (2022). *Contaminación
por metales en suelos de Copiapó:
Diagnóstico y propuestas públicas.*
CEDEUS, Reporte Técnico. Santiago,
Chile.



Atribución-NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC 4.0)
Primera edición
Octubre 2022



TABLA DE CONTENIDOS

1 Información para tomadores de decisión _____ 7

2 Contaminación, salud y minería entrelazadas en el desarrollo urbano sustentable ____ 14

3 Copiapó: metales en suelos y polvos de calles, problemas de salud y condiciones ____ 17

naturales

 3.1 Metales: valores referenciales internacionales y caso de estudio _____ 17

 3.2 ¿Se expone la población a riesgos a la salud? _____ 19

 3.2.1 ¿Qué metales presentan un posible riesgo a la salud? Estimación preliminar del riesgo _____ 20

 3.2.2 Limitaciones de la metodología y proyecciones _____ 23

 3.3 Línea base y enriquecimiento de metales para zonas urbanas _____ 25

 3.3.1 ¿Cuáles son las concentraciones de metales en zonas naturales? ____ 25

 3.3.2 Enriquecimiento en zonas urbanas ¿Origen natural o humano? ____ 26

4 ¿Cuáles son las fuentes del enriquecimiento de metales? _____ 29

 4.1 Procesos mineros _____ 30

 4.2 Relaves enriquecidos en mercurio _____ 31

 4.3 Relaves de la minería del cobre _____ 32

5 ¿Cuáles son las áreas prioritarias para futuros estudios de riesgo? _____ 32

6 Planificación urbana y calidad química de suelos _____ 34

 6.1 Regulación sobre zonificación _____ 34

 6.2 Áreas restringidas de desarrollo urbano _____ 35

 6.3 Evaluación ambiental estratégica _____ 40

 6.4 Planificación urbana y normas _____ 41

 6.4.1 ¿Normas de calidad ambiental o normas de uso? _____ 41

 6.4.1.1 Normas de calidad de suelo _____ 41

 6.4.1.2 Normas de uso _____ 44

 6.4.2 Decreto de emergencia sanitaria _____ 46

7 Conclusiones _____ 46

 7.1 Conclusiones técnicas _____ 46

 7.2 Propuestas y proyecciones _____ 50

Bibliografía _____ 53

Glosario _____ 58

Anexo técnico _____ 60

Equipo _____ 70

El presente documento tiene como objetivo informar sobre la situación actual de la ciudad de Copiapó, donde coexisten zonas urbanizadas con actividades y residuos mineros, exponiendo potencialmente a la población a metales y metaloides. Se realizó una evaluación de la situación con tres métodos complementarios. Primero se compararon las concentraciones de metales en suelos y polvos de calle con valores de referencia internacionales. En segundo lugar, se realizó un estudio con enfoque en las posibles consecuencias en la salud de la población. El tercer método fue la comparación con las concentraciones de metales naturales de la zona para descartar que la situación tenga un origen natural. Los tres métodos indican que en Copiapó existe un potencial riesgo de salud para la población debido a metales como arsénico y cobre. Además, se identificaron, a través de diversas metodologías, las fuentes que aportan metales en la ciudad, destacando principalmente los aportes de las actividades mineras. Se establecieron cinco áreas dentro de la ciudad como priorización para futuros estudios de riesgo y acciones de control. Se analizó la normativa de planificación urbana existente relacionada a la problemática de calidad de suelos y cómo esta puede ser utilizada para el control de la actual situación. Por último, se sugieren propuestas y proyecciones para abordar esta problemática presente en la ciudad de Copiapó.

1. INFORMACIÓN PARA TOMADORES DE DECISIÓN

En el siglo XIX la ciudad de Copiapó sufrió un explosivo incremento demográfico producto del exponencial desarrollo de la actividad minera en la zona. El **crecimiento urbano ocurrió en forma descontrolada**, sin una planificación adecuada, **alcanzando sectores industriales-mineros** en las zonas periurbanas. Esto provocó que los **nuevos pobladores** se asentaran en lugares que potencialmente poseían enriquecimiento de metales en el aire, suelos y polvos de calles; debido a la cercanía con **industrias mineras y sus residuos**, exponiendo potencialmente a la población a diversos metales y sus **consecuencias en la salud**. Este problema continúa sin solución en diversas ciudades y poblados de Chile, entre ellos Chañaral, Diego de Almagro, El Salado, Andacollo, Illapel, Tierra Amarilla y **Copiapó**. Este último corresponde a nuestro caso de estudio con **más de 30 relaves mineros en la zona urbana y periurbana de la ciudad**.

Objetivos

El objetivo general que persiguió el presente trabajo fue realizar un **diagnóstico** rápido y simple de la **condición ambiental de Copiapó**, para luego estimar de forma preliminar el **riesgo a la salud de la población** y definir **áreas para futuras evaluaciones de riesgos para la salud e intervenciones integrales (salud, ambiente, sociales) en la ciudad**. Además, se realizaron estudios complementarios con el objetivo de identificar el origen de los metales en la ciudad, las **fuentes** de donde provienen y cómo estas influyen en Copiapó. También se espera analizar y entender cómo los **instrumentos de planificación territorial** pueden ser utilizados para controlar la situación de los relaves en la ciudad.

Metodología

Se obtuvieron **muestras de polvo de calles y suelos** para determinar la distribución y concentraciones de metales a las que la población se encuentra potencialmente expuesta. Se obtuvieron muestras de polvos de calle debido a que corresponden a un indicador de la contaminación urbana y tienen la ventaja de guardar la historia de acumulación de metales del lugar (Acosta, Faz, Kalbitz, Jansen, & Martínez-Martínez, 2014; Salim & Madany, 1993). Por otro lado, se tomaron **muestras de relaves** para caracterizar químicamente una de las potenciales fuentes de contaminación por metales. Todas las muestras se analizaron bajo metodologías estandarizadas y validadas internacionalmente.

Diagnóstico ambiental y potencial riesgo para la población: para determinar la situación ambiental urbana de la ciudad y si existe un potencial riesgo para la población frente a metales, se utilizaron tres enfoques de comparación, análisis y estudio:

- 1) Comparaciones de **concentraciones urbanas** con **valores de referencias internacionales**.
- 2) Estimación de **potenciales riesgos para la salud** como consecuencia de la exposición a sistemas urbanos con metales.

3) Estimación de la **línea base natural de metales** para descartar el origen natural de estos.

Estudios complementarios: a modo de complementar y comprender de mejor manera la situación actual de la ciudad se realizaron otros estudios que se enumeran a continuación:

- 1) Identificación de **fuentes contaminantes** de la ciudad.
- 2) Determinación de **zonas prioritarias para futuros estudios orientados** a salud poblacional.
- 3) Análisis de **instrumentos de planificación urbana** y su relación con aspectos de contaminación.

Resultados

A continuación, se presentan los principales resultados del trabajo realizado en la ciudad de Copiapó:

1) Concentraciones urbanas y valores de referencia: las concentraciones elementales de las muestras se compararon bajo dos criterios: (i) normas de referencia internacionales para suelos de sectores residenciales (Canadá y Brasil) y (ii) valores de referencia establecidos para el caso de Polimetales de Arica. En la Tabla 1-1 se observa el número de muestras que supera cada uno de estos valores de referencia en comparación con el total de muestras obtenidas. Cabe destacar que los valores de Canadá son en general más exigentes frente a Brasil y que en el caso del **arsénico** existe **superación de los valores de referencia utilizados en Arica para establecer sitios de potencial peligro para la población**¹. Un caso particular y emblemático de Copiapó es la **Plaza Colipi**, lugar que debe ser estudiado en mayor detalle debido al **potencial riesgo para la población**. Los suelos de esta plaza poseen altas concentraciones de contaminantes como arsénico, mercurio y plomo; originados en el **antiguo relave** ubicado en el mismo lugar donde se ubica la actual plaza.

2) Potenciales riesgos para la salud de la población: se realizó una evaluación teórica del riesgo a la salud de la población. Este estudio preliminar consideró que los receptores de mayor exposición y riesgo potencial son los **niños menores a 6 años** y que la principal vía de exposición corresponde a la **ingesta oral de suelo o polvos de calle enriquecido en metales**. Para esta estimación se utilizaron las recomendaciones de la *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) del departamento de salud de Estados Unidos y de la *Environmental Protection Agency* (EPA). Estos resultados preliminares indican que el **arsénico, cobalto y cobre poseen un potencial riesgo para la salud** y que se necesitan estudios de mayor profundidad para evaluar la situación de la ciudad a cabalidad. Dadas las condiciones de la estimación, se considera que el riesgo calculado es conservador y que no se puede descartar la existencia de riesgo para estos y otros metales como el cadmio, mercurio, plomo y zinc. La suposición de una **ingesta de material realizada solo de forma oral es conservadora y puede subestimar el riesgo real al que se expone la**

Elemento	Número de muestras que superan los valores de referencia ^{2,3}					
	Canada ^a		Brasil ^b		Polimetales Arica ^c	
	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo
Arsénico	64/71	41/42	3/71	2/42	29/71	26/42
Cobalto	2/71	2/42	1/71	1/42	-	-
Cromo	4/71	0/42	0/71	0/42	-	-
Cobre	71/71	39/42	5/71	1/42	-	-
Mercurio	1/71	1/42	4/71	21/42	-	-
Níquel	0/71	0/42	0/71	0/42	-	-
Plomo	6/71	1/42	0/71	1/42	0/71	1/42
Vanadio	9/71	2/42	-	-	-	-
Zinc	14/71	2/42	0/71	0/42	-	-

Tabla 1-1: Número de muestras que superan valores de referencia para sectores residenciales. Fuente: Elaboración propia.

Los datos se presentan como “número de muestras que superan el valor/número de muestras totales”. Concentraciones de metales obtenidas con ICP-OES.

a. *Canadian Council of Ministers of the Environment* (2022). *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Summary tables*.

b. *Conselho Nacional do Meio Ambiente* (2021). *Resolução nº 125/2021/E*.

c. Secretaría Regional Ministerio de Salud (2011). Plan de Salud de Polimetales SEREMI de salud de Arica y Parinacota. Valores definidos en base a US y UE.

población¹, ya que existen otras vías de exposición como la inhalación, el contacto dérmico, la ingesta de alimentos y agua. Estos estudios de riesgo son de carácter preliminar y deben extenderse tanto espacialmente como en su detalle, abarcando los principales metales relacionados a la minería que pueden presentar peligro para la población. Deben realizarse futuros estudios de salud que incluyan estudios de toxicología para conocer la exposición real que tiene la población. La estimación preliminar de la **biodisponibilidad⁴ de metales** en muestras de suelo, polvo de calles y relaves indicó que en general es **mayor en relaves, seguido por polvo de calles y luego suelos**. Lo anterior indica que el **material de relave posee mayor cantidad de metales que son potencialmente absorbidos por el cuerpo humano**, a una misma concentración total.

3) Concentraciones naturales o valores background: las condiciones geológicas del área de estudio y la alta cantidad de yacimientos minerales expuso la posibilidad de un alto aporte natural de metales hacia la ciudad. Se decidió **obtener una línea base para Copiapó**, llamados valores *background* (Tabla 1-2) para comparar así con las condiciones naturales. Se obtuvieron dos resultados de este estudio, por un lado, se observó un **enriquecimiento** generalizado debido a la **deposición atmosférica de las emisiones originadas en la industria minera** (principalmente ricas en arsénico) que afecta a los suelos naturales de la zona. Se destaca que de las 59 muestras naturales obtenidas 40 de ellas poseen concentraciones de arsénico sobre los valores de referencia establecidos para el caso de Polimetales de Arica. Y, por otro lado, reveló que las **concentraciones naturales**

¹ Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Reglamento de la Ley N°20.590 que establece un Programa de Intervención en Zonas con Presencia de Polimetales en la Comuna de Arica. Disponible en: <https://www.fima.cl/site/wp-content/uploads/2009/10/Plan-Maestro-Contaminacion-Arica.pdf>

² Normas de Canadá y Brasil, recomendadas para su uso por el Servicio de Evaluación Ambiental. Disponibles en: <http://sea.gob.cl/documentacion/normas-de-calidad-y-valores-referenciales>

³ Estas normas son actualizadas en forma continua.

⁴ No considerado en la evaluación teórica de riesgo.

para algunos metales se encuentran muy elevadas (cobre, hierro y manganeso) con respecto a similares estudios internacionales. Como consecuencia, el polvo que llega naturalmente a la ciudad es rico en metales debido a las condiciones naturales de la zona.

Valores <i>background</i> (mg/kg)		
Elemento	Símbolo	Copiapó
Aluminio	Al	23,251
Arsénico	As	30
Cobalto	Co	22
Cromo	Cr	31
Cobre	Cu	223
Hierro	Fe	47,997
Mercurio	Hg	0,21
Manganeso	Mn	1,068
Níquel	Ni	20
Plomo	Pb	22
Titanio	Ti	2,102
Vanadio	V	150
Zinc	Zn	195

Tabla 1-2. Valores *background* estimados para Copiapó. Fuente: Elaborado en base a Moya (2017).

En base a las concentraciones naturales se obtuvieron los **factores de enriquecimiento**, que descartan el aporte natural que existe en las muestras urbanas y de esta forma indican cuando existe enriquecimiento por fuentes no naturales. Metales como el **arsénico, cobre, mercurio y plomo**, elementos altamente relacionados a las actividades mineras, presentan **factores de enriquecimiento sobre la condición natural**. Dentro de la ciudad el enriquecimiento depende de la ubicación de las muestras, en el caso del mercurio existe un enriquecimiento similar en todo Copiapó, pero intensificado en sectores cercanos a relaves ricos en mercurio (Ojancos y Santa Blanca). En el caso del cobre los enriquecimientos son mayores en las zonas cercanas a relaves de la minería del cobre y a la fundición. Esta información nos indica dos hechos, por un lado, que **a pesar del alto aporte natural de metales aun así existe un enriquecimiento debido a causas humanas y segundo que el enriquecimiento de metales depende altamente de las fuentes cercanas**.

4) **Identificación de fuentes de metales en polvos de calle y suelos urbanos:** luego de que se definieran las zonas enriquecidas se buscó **identificar las fuentes originarias de los metales**, éstos pueden tener diferentes orígenes ya sea **natural o antropogénico**. Nueve relaves de Copiapó fueron caracterizados química y físicamente para conocer a qué metales se expone la población. Luego con un modelo de receptor (Matriz de Factorización Positiva) se identificó el origen del enriquecimiento de metales en los suelos y polvos de calles de la ciudad. Se **identificaron 6 fuentes responsables de aportar diversos metales a la ciudad, correspondientes a los relaves ricos en mercurio, los relaves de la minería**

del cobre, los procesos mineros, el tráfico, las prácticas agrícolas y el aporte de los suelos naturales de la región. Cinco de estas fuentes son de origen humano y solo una de origen natural, destacando que tres de estas fuentes se relacionan con las actividades mineras en la ciudad.

Se analizaron las tres fuentes relacionadas a la minería de la zona para los polvos de calles; primero los procesos mineros, que aportan el **88% del cobre, 48% del arsénico, 43% del zinc y 9% del plomo**; además poseen un mayor efecto en las zonas industriales y mineras de la ciudad. En segundo lugar, **los relaves ricos en mercurio, aportan 88% del mercurio, 8% del plomo y 5% del arsénico**; sus aportes se concentran en las zonas cercanas a los relaves Ojancos y Santa Blanca, ambos con altas concentraciones de Hg; relaves ubicados cerca del centro de la ciudad y en la zona agrícola de San Fernando, respectivamente. Por último, **los relaves de la minería del cobre aportan 65% del vanadio, 60% del hierro, 33% del cromo, 16% del arsénico, 11% del calcio y 5% del cobre**; existe un aporte generalizado de esta fuente en toda la ciudad, pero los mayores aportes se centran en los sectores de mayor densidad de relaves, en la zona agrícola e industrial al sur de la ciudad.

5) **Áreas prioritarias para futuras evaluaciones de riesgo para la salud:** en base al enriquecimiento en la ciudad, la comparación con las condiciones naturales, el estudio preliminar del riesgo a la salud y la ubicación de los relaves, se establecieron **cinco áreas que deberán ser priorizadas en futuros estudios de riesgo a la salud de la población de Copiapó, como parte de intervenciones integrales en la zona (Figura 1-1)**. De las cinco áreas, dos corresponden a zonas residenciales, por lo que se supone una mayor exposición para la población, correspondientes al área centro de la ciudad (Área B) y a la población El Palomar en la ribera sur del río (Área C).

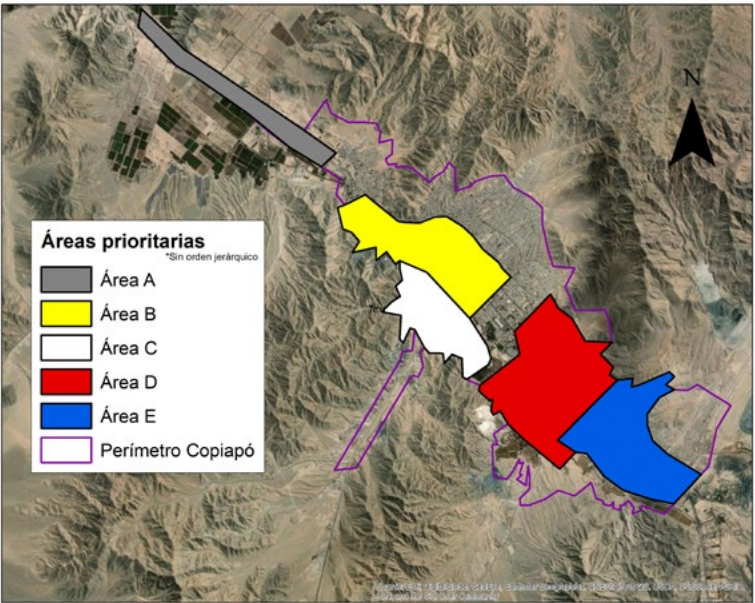


Figura 1-1: Áreas prioritarias en Copiapó (sin orden jerárquico). Fuente: Elaboración propia.

6) Implicancias del presente estudio en normativa, planificación territorial y riesgos para la salud por exposición a metales: el estudio demostró la importancia de contar con normas de suelos para metales en Chile y con líneas base de metales para los suelos naturales del país. Se deben **establecer normas y líneas base en las zonas de interés, e idealmente en todo el país**, de modo de poder identificar sitios enriquecidos por acción humana o debido a las condiciones naturales del lugar. En las zonas con **enriquecimiento identificado se debiese limitar las actividades de la población, especialmente para aquellos subgrupos más vulnerables como los infantes**.

Es esencial para el **crecimiento sustentable de la ciudad que se considere la planificación urbana, la contaminación y la evaluación de riesgos con foco en la salud poblacional en el diseño de Instrumentos de Planificación Territorial (IPT)**. La regulación del uso de suelo urbano en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) no muestra evidencia que permita afirmar que para efectos de definir los usos de suelo de cada zona o determinar la zonificación se considere como un factor relevante el nivel de contaminación del suelo por la presencia de metales u otras causas, ni la calidad del mismo asociado a los usos que pueden fijar los planes reguladores. Sin embargo, **en los IPT es posible establecer “áreas de riesgo”, dentro de las cuáles se encuentran las “zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana”,** siendo posible incorporar bajo esta categoría las áreas de suelos contaminados con metales que pudiesen poner en riesgo la salud de las personas que en el futuro habiten dichas áreas, pero permitiendo que el área puede desarrollarse como habitacional (entre otros usos) si es que se desarrollan las acciones necesarias, en este caso de remediación.

Por otra parte, dentro de la **Evaluación Ambiental Estratégica de los IPT deben incluirse los aspectos de calidad de suelo y zonas de riesgo** para así considerar durante la elaboración de los mismos la situación de contaminación en los suelos de cada ciudad y los riesgos en la salud de sus habitantes. De tal modo, si bien es necesario realizar ajustes en el campo de la planificación territorial, hoy en día **existen herramientas** que se pueden utilizar, al menos **para evitar futuras poblaciones en áreas que cuentan con antecedentes suficientes para que desde una perspectiva preventiva no existan asentamientos**.

Conclusiones

Se presentan las principales conclusiones de este trabajo. Más detalles pueden ser consultados en la sección de conclusiones en el cuerpo del informe.

1) El arsénico y el cobre superan en numerosas muestras las normas de Canadá y Brasil para suelos residenciales. El **arsénico supera también los valores impuestos para el caso de Polimetales de Arica**.

2) En base a la estimación de coeficientes de riesgo se concluyó que el arsénico, cobalto y cobre tienen el potencial de producir consecuencias crónicas (no asociadas a cáncer) en la salud de niños menores a 6 años que ingieran los materiales de estudio (suelo o polvo de calles), a pesar de ser una **estimación conservadora** del riesgo a la

salud, por lo cual se requerirían estudios adicionales focalizados en la zona orientados a establecer intervenciones integrales en las dimensiones de salud, ambiente, educación, social, según sea el caso y su posterior evaluación.

3) Se estimó la línea base de metales para el sector de estudio, donde el cobre, hierro, manganeso y zinc destacan por sus altos niveles, comparado con estudios internacionales. Niveles de **arsénico anómalamente altos** en muestras naturales puntuales **se atribuyeron a la larga historia de deposición atmosférica de las emisiones originadas en la fundición de cobre**.

4) Los factores de enriquecimiento muestran el efecto antropogénico en la ciudad, descartando el aporte natural. Estos demostraron que **el arsénico, cobre, mercurio y plomo se encuentran enriquecidos dentro de la zona urbana debido a actividades antrópicas**.

5) El estudio realizado por CEDEUS, los factores de enriquecimiento, los coeficientes de riesgo, la superación de valores de referencia internacionales y nacionales, la biodisponibilidad de los metales y la ubicación de los relaves mineros justifican que en Copiapó existe un potencial riesgo para la salud de la población.

6) Existen herramientas en la normativa de regulación que permiten **proteger a futuros asentamientos poblacionales ante posibles zonas de riesgo antrópico sin necesidad de modificaciones legales** o dictación de normas de calidad.

7) La existencia de lugares habitados y a la vez enriquecidos en metales puede requerir decretos de emergencia sanitaria según sea el caso, como también planes de descontaminación y prevención, siempre bajo una perspectiva de un programa integral que requiere ser evaluado periódicamente en cuanto a su efectividad para proteger la salud poblacional y la prevención de enfermedades vinculadas a la calidad ambiental. Ambos **instrumentos requieren** de numerosos pasos intermedios, dictación de normas, zonas saturadas o latentes y otros planes, con un **horizonte de tiempo de años, según el común de los casos**.

2 CONTAMINACIÓN, SALUD Y MINERÍA ENTRELAZADAS EN EL DESARROLLO URBANO SUSTENTABLE

La actividad minera de la Región de Atacama se remonta a la época Incaica y prehispánica (Zori & Tropper, 2013; Zori, Tropper, & Scott, 2013) y continúa hoy en día como la principal actividad económica en la región. Esta actividad dio origen a los principales poblados mineros, muchos de los cuales crecieron alrededor de operaciones y residuos mineros. La Figura 2-1 muestra que la presencia de residuos y procesos mineros data desde el origen de Copiapó. Este plano antiguo de San Francisco de la Selva de Copiapó de 1722 muestra (i) la existencia de trapiches de oro en el área cercana al río (debido al agua necesaria para el proceso). Los trapiches son molinos artesanales donde se extrae oro usando azogue (mercurio); (ii) que existen explotaciones de diversos minerales en los alrededores de Copiapó; (iii) en aquella época el río presentaba flujo subterráneo en sectores de la ciudad.

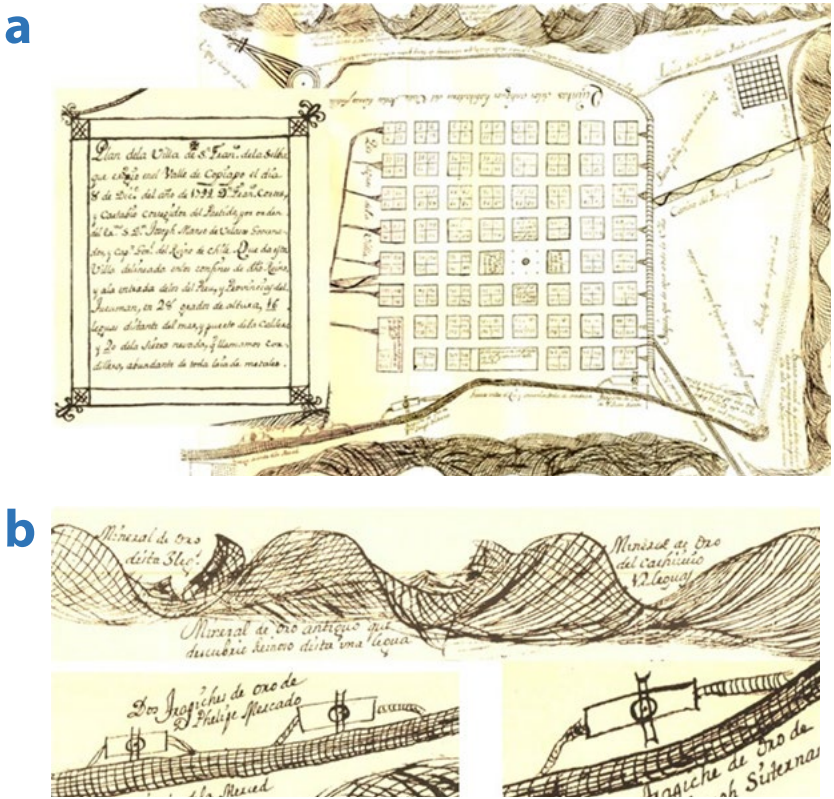


Figura 2-1. Diagrama de San Francisco de la Selva de Copiapó en 1722, mostrando trazado urbano, red de acequias y desagües, y faenas mineras periurbanas (trapiches de oro). Fuente: IGM, 1981.

En el siglo XIX la ciudad de Copiapó sufrió un explosivo crecimiento demográfico producto del aumento exponencial de la actividad minera en la zona. El crecimiento urbano ocurrió en forma descontrolada, sin una planificación adecuada, alcanzando sectores industriales-mineros adyacentes. Esto provocó que los nuevos pobladores se instalaran en lugares que potencial-

mente poseen enriquecimiento de metales en el aire, suelo y polvo de calles. Como también en lugares cercanos a industrias mineras y sus desechos, exponiendo a la población a diversos metales y sus potenciales implicancias en salud poblacional. Algunas consecuencias de salud son: diversos tipos cáncer por larga exposición al arsénico; el cobre, manganeso o mercurio se asocian a diversas enfermedades crónicas (gastrointestinales, renales y respiratorias).

La problemática de las ciudades mineras y la exposición de la población a metales aún no tiene solución a nivel nacional. Esta situación continúa ocurriendo hoy en día en diversas ciudades y poblados de Chile, entre ellos Chañaral, Diego de Almagro, El Salado, Andacollo, Illapel, Tierra Amarilla y Copiapó. Este último, nuestro caso de estudio con más de 30 relaves mineros en la zona urbana y periurbana de la ciudad.

Copiapó se ubica en el Desierto de Atacama, en condiciones de extrema aridez. Las precipitaciones corresponden a 18 mm anuales y temperaturas medias de 16.1 °C⁵. La ciudad posee 150,804 habitantes y abarca una superficie de 34 km² aproximadamente⁶. Dentro de la ciudad y sus cercanías existen más de 30 relaves mineros que la historia y el crecimiento de la ciudad han dejado inmersos en las zonas urbanas y agrícolas de la ciudad. Además, existe a 8 km del centro de la ciudad, una fundición de cobre que funciona desde 1952 hasta la fecha.

La situación de los “relaves urbanos” se encuentra actualmente en etapa de evaluación por el gobierno a través del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), quién licitó un estudio que en su primera fase determinó la existencia de sitios con potencial presencia de contaminantes metálicos. Se estableció una priorización para continuar los estudios de riesgo a la salud a través del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA, 2012). Cabe señalar que el estudio fue actualizado, concluyéndose que la concentración de Fe y Cu no significan un riesgo a la salud de los receptores en los escenarios de exposición analizados (CITUC, 2018). Los estudios realizados se centran en relaves y residuos mineros, sin embargo, aún existen brechas de información con respecto al contenido de metales y la calidad del suelo en las zonas urbanas y periurbanas. Actualmente la ciudad de Copiapó ha realizado diversos esfuerzos para retirar, mejorar y remediar relaves. Algunos ejemplos son la construcción de un centro comercial que necesitó hacer retiro de parte del relave Ojancos. También el retiro parcial y estabilización del relave San Juan para dar paso a la construcción de un skate park. Algunos otros ejemplos son la construcción de la plaza Cacique Colipi donde antes existió un relave; como también la remoción parcial del relave Victoria para la construcción de la segunda etapa del parque Kaukari.

Además, los relaves están siendo evaluados por el SERNAGEOMIN, según escenarios de peligro asociados a la seguridad de la población y a la contaminación por sus efectos en la salud de la población y el ecosistema, para tener un catastro de los pasivos ambientales mineros y priorizar remediación y fomentar el reprocesamiento y reutilización⁷.

Objetivos

El primer objetivo que persiguió el presente trabajo fue realizar un diagnóstico rápido y simple de la condición ambiental de Copiapó, para luego estimar de forma preliminar el riesgo a la salud de la población y definir áreas prioritarias en la ciudad. El segundo objetivo fue identificar el origen de los metales pesados en la ciudad, las fuentes donde se originan y cómo estas influyen en Copiapó. El último objetivo fue analizar y entender

⁵ Dirección General de Aguas. (2004). Cuenca del Río Copiapó. Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Copiapó.pdf>

⁶ Instituto Nacional de Estadísticas (2019). Ciudades, Pueblos, Aldeas y Caseríos 2019. Disponible en: https://geoarchivos.inec.cl/File/pub/Cd_Pb_Al_Cs_2019.pdf

⁷ Ministerio de Minería (2021). Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sustentable.

Servicio Nacional de Geología y Minería (2007). Catastro de faenas mineras abandonadas o paralizadas y análisis preliminar de riesgo.

cómo los instrumentos de planificación territorial pueden ser utilizados para controlar la situación de los relaves en la ciudad, junto a otros instrumentos.

Métodos

Para los objetivos anteriores se emplearon los siguientes métodos; se obtuvieron muestras de polvo de calles y suelos para determinar la distribución y ocurrencia de metales a los cuales la población de la ciudad estaría expuesta. Se obtuvieron muestras de polvos de calle debido a que corresponden a un indicador de contaminación por metales y tienen la ventaja de guardar la historia de acumulación de metales del lugar (Acosta et al., 2014; Salim & Madany, 1993). En zonas residenciales los polvos de calle se consideran más representativos de la contaminación del sector. Por otro lado, algunos relaves fueron caracterizados químicamente como una de las fuentes principales de contaminación por metales. Todas las muestras obtenidas fueron analizadas bajo metodologías estandarizadas y validadas (Para más información ver Anexo técnico A.1).

Campañas de muestreo: Cuatro campañas de muestreo fueron realizadas entre los años 2014 y 2016. En total se obtuvieron (i) 42 muestras de suelos urbanos (zonas agrícolas, parques y plazas), (ii) 71 muestras de polvo de calles en una grilla de 1 km² en busca de una representatividad espacial de metales que abarcara toda la ciudad; (iii) 59 muestras de suelos naturales en sectores periurbanos para así conocer la cantidad de metales presentes naturalmente en la zona, (iv) 19 polvos de calles con el objetivo de estimar el rango de dispersión del material de los relaves y (v) 142 muestras de nueve relaves dentro de Copiapó.

Análisis químicos: Las concentraciones de metales se obtuvieron con dos métodos, una pistola de fluorescencia portátil (p-XRF) y con un plasma de acoplamiento inductivo con espectrofotómetro de emisión óptico (ICP-OES). El mercurio fue medido con un mercuriómetro (DMA-80)

Diagnóstico ambiental y potencial riesgo para la población: Para determinar la situación ambiental urbana de la ciudad y si existe un potencial riesgo para la población frente a metales, se utilizaron tres enfoques de comparación, análisis y estudio que son enumerados a continuación:

- 1) Comparaciones de concentraciones urbanas con valores de referencias internacionales
- 2) Estimación de potenciales riesgos para la salud a consecuencia de las concentraciones urbanas
- 3) Estimación de la línea base de metales para descarte de un origen natural de los metales

Estudios complementarios: A modo de complementar y comprender de mejor manera la situación actual de la ciudad se realizaron otros estudios que se enumeran a continuación:

- 1) Análisis de concentraciones en 9 relaves de la ciudad y la dispersión de material asociada
- 2) Identificación de fuentes contaminantes de la ciudad
- 3) Determinación de zonas prioritarias para futuras evaluaciones de riesgo a la salud y otras intervenciones integrales
- 4) Análisis de instrumentos de planificación urbana y su relación con aspectos de contaminación

3 COPIAPÓ: METALES EN SUELOS Y POLVOS DE CALLES, PROBLEMAS DE SALUD Y CONDICIONES NATURALES

3.1 Metales: valores referenciales internacionales y caso de estudio

El estudio de la calidad del aire y del agua ha sido abordado en las ciudades de todo el país y actualmente existe un monitoreo constante de su calidad junto con normativa regulatoria; a diferencia de los suelos y polvos de calle. Estos últimos son los sistemas de la ciudad con una menor cantidad de estudios a nivel nacional y que destacan en su importancia debido a que en ellos se almacenan todos los aportes de las fuentes contaminantes dentro de una ciudad, como también poseen una amplia memoria química a diferencia de otros sistemas más dinámicos, como lo son el aire y el agua.

En noviembre del 2014, CEDEUS realizó un estudio enfocado a evaluar la presencia de metales en los suelos y polvos de calles de la ciudad de Copiapó (CEDEUS, 2015). Los sitios de muestreo de polvos de calle y suelos en conjunto con la ubicación del relave Porvenir se indican en la Figura 3-1.

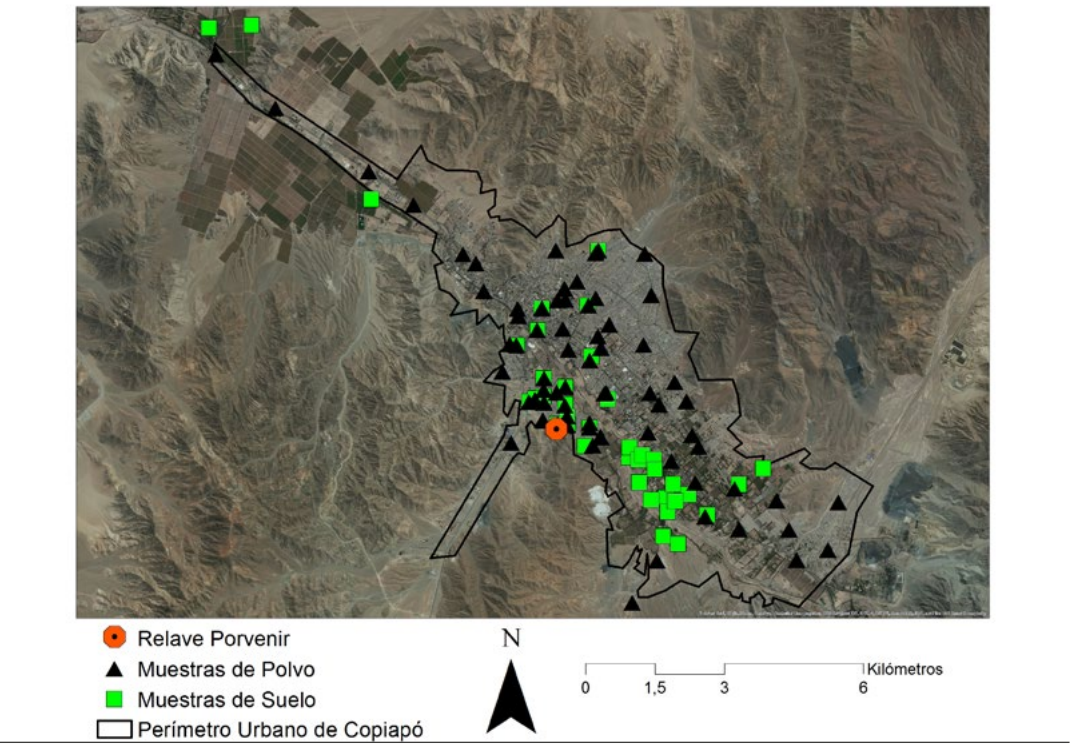


Figura 3-1: Muestras de suelo, polvo y relave obtenidas en Copiapó. Se observa un muestreo de polvos de calles que abarca toda la ciudad para tener una representación espacial completa de los metales en Copiapó. Las muestras de suelo se centraron en zonas agrícolas y parques de la ciudad. El relave Porvenir fue caracterizado debido a la inexistencia de información de su composición. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los principales resultados, se resalta la existencia de **muestras con altas concentraciones de metales** como el cobre en suelos y en polvo de calles (4,013 mg/kg

y 18,821 mg/kg, respectivamente); el arsénico en suelos y en polvo de calles (122 mg/kg y 447 mg/kg, respectivamente); el plomo en suelos y en polvo de calles (410 mg/kg y 228 mg/kg, respectivamente) y el mercurio en suelos (70 mg/kg). Dentro de las muestras de suelos destaca el caso de la **plaza Cacique Colipi donde se identificaron altas concentraciones de plomo, mercurio y arsénico**; lugar donde antes existió un relave minero. Por otro lado, los polvos de calles poseen mayores concentraciones promedio de metales respecto a los suelos, para elementos como el cobre, plomo, zinc y mercurio (Moya, 2017).

En Chile no existen normas de calidad de suelos ni de polvo de calles para comparar los valores medidos en la ciudad; en su defecto se utilizaron los valores de referencia internacionales de Canadá y Brasil para suelos residenciales. Pero debe considerarse que los polvos pueden contener más metales que los suelos debido a la cantidad de material fino, esta situación no invalida la comparación realizada debido a la similitud de los dos sistemas como también por la necesidad de establecer niveles de comparación frente a la exposición de la población a este material. Se presenta en la Tabla 3-1 el número de muestras que poseen concentraciones sobre los valores de referencia respectivos para cada metal. Se destaca el caso del cobre donde casi la totalidad de las muestras de suelo y polvo de calles superó el valor de referencia de Canadá. Por otro lado, las concentraciones de arsénico superan en numerosas ocasiones valores de referencia de Canadá y también los valores usados en el caso de Polimetales de Arica, siendo este un metal de preocupación para Copiapó.

Elemento	Número de muestras que superan los valores de referencia ⁸					
	Canada ^a		Brasil ^b		Polimetales Arica ^c	
	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo
Arsénico	64/71	41/42	3/71	2/42	29/71	26/42
Cobalto	2/71	2/42	1/71	1/42	-	-
Cromo	4/71	0/42	0/71	0/42	-	-
Cobre	71/71	39/42	5/71	1/42	-	-
Mercurio	1/71	1/42	4/71	21/42	-	-
Níquel	0/71	0/42	0/71	0/42	-	-
Plomo	6/71	1/42	0/71	1/42	0/71	1/42
Vanadio	9/71	2/42	-	-	-	-
Zinc	14/71	2/42	0/71	0/42	-	-

Tabla 3-1: Número de muestras que superan valores de referencia de sectores residenciales. Fuente: Elaboración Propia.

⁸ Normas de Canadá y Brasil, recomendadas para su uso por el Servicio de Evaluación Ambiental. Disponibles en: <http://sea.gob.cl/documentacion/normas-de-calidad-y-valores-referenciales>

Los datos se presentan como “número de muestras que superan el valor/número de muestras totales”. Concentraciones de metales obtenidas con ICP-OES.
a. Canadian Council of Ministers of the Environment (2022). *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Summary tables*.
b. Conselho Nacional do Meio Ambiente (2021). *Resolução nº 125/2021/E*.
c. Secretaría Regional Ministerio de Salud (2011). Plan de Salud de Polimetales SEREMI de salud de Arica y Parinacota. Valores definidos en base a Normas de US y UE.

La **concentración de cada metal varía dependiendo de la ubicación de la muestra en la ciudad**. Cabe destacar que el **cobre presentó concentraciones mayores en zonas cercanas a relaves mineros y a la fundición de cobre**. Por otro lado, el **zinc y el plomo presentaron mayores valores en la zona centro de la ciudad**.

Un número importante de **muestras sobrepasan los valores de referencia internacionales para el cobre y arsénico**. En casos más excepcionales se **superan valores referenciales de cobalto, mercurio, plomo, vanadio y zinc**. El **arsénico** en las muestras de suelos y polvos de calle de Copiapó **superó**, en más del 40% del total, los **valores establecidos para el caso de Polimetales de Arica**.

3.2 ¿Se expone la población a riesgos a la salud?

Se tienen pocos antecedentes del efecto que esta situación de enriquecimiento de metales podría implicar en la salud de la población; múltiples vías de exposición son las relacionadas a estos materiales sólidos en la ciudad. Un diagrama ilustrativo de la situación en Copiapó se presenta en la Figura 3-2, donde se indican al menos **nueve vías distintas por los que el material enriquecido en metales puede entrar al cuerpo humano y afectar de manera crónica la salud** de la población.

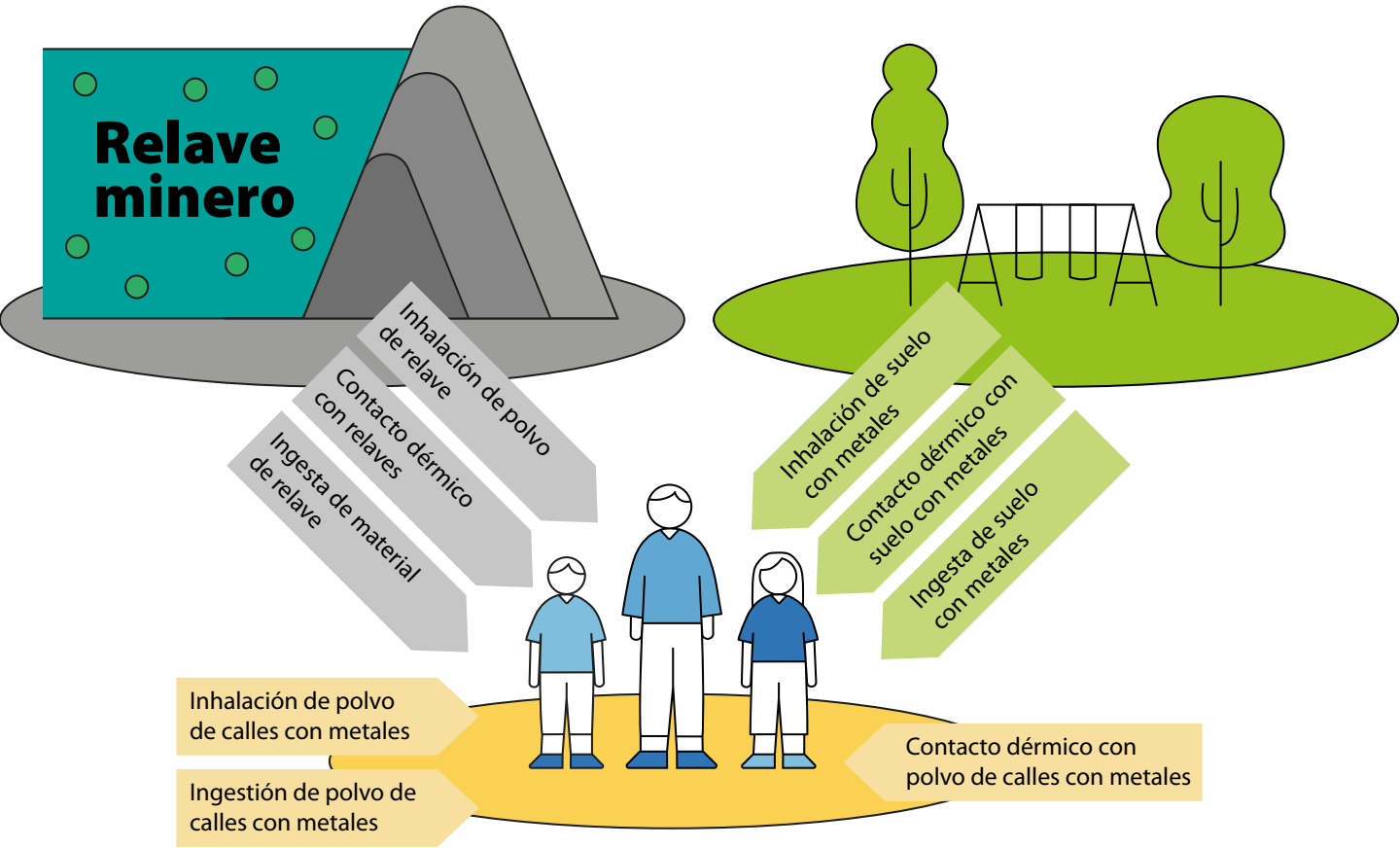


Figura 3-2: Diagrama de vías de exposición para materiales sólidos en Copiapó. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 ¿Qué metales presentan un potencial riesgo a la salud? Estimación preliminar del riesgo

Para entregar información relativa a los riesgos en la salud, se analizaron los resultados bajo dos parámetros. El primero corresponde al coeficiente de riesgo (HQ por el término en inglés *Hazard Quotient*), útil para indicar cuándo una muestra puede tener consecuencias en la salud de una persona. Este indicador es de utilidad para estimar rápidamente el potencial riesgo a la salud de la población si se ingieren estos materiales enriquecidos en metales, generando así lineamientos base para futuros estudios de riesgo. El segundo parámetro es la biodisponibilidad de los elementos en los distintos tipos de muestras (suelos, polvos de calles y relaves). Esta corresponde a la fracción de la concentración total de un elemento que es propensa a ser absorbida por un ser vivo, en el caso que eventualmente se produzca la ingesta del material que lo contiene. Este estudio de biodisponibilidad es preliminar y corresponde a una aproximación en base a análisis de extracciones secuenciales para ocho elementos de interés (aluminio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, plomo y zinc). **Hazard Quotient (HQ)**

Para las 42 muestras de suelo y las 71 muestras polvo de calles se estudió el coeficiente de riesgo (HQ). En base a las recomendaciones de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) del Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, se obtuvo una dosis estimada para ingesta oral en niños menores de 6 años, la población más vulnerable ante el suelo y polvo de calles de la ciudad. Se utilizó la concentración ambiental obtenida en este estudio, la tasa de consumo y factores de exposición para así estimar la dosis de consumo en base a recomendaciones de la ATSDR (ATSDR, 2005). Si el **HQ es mayor a 1 se puede afirmar que se está sobre el umbral de riesgo lo que sugiere que podrían existir riesgos para la salud de las personas expuestas**. En los casos en que no se supera la unidad, no se puede asegurar que no se presente un riesgo para la salud. Lo anterior debido a que en este estudio no se cubren todas las vías de exposición a metales, solo la exposición por consumo involuntario (Calcagni, 2016). A pesar de esto, elementos como el arsénico son considerados como “carcinógeno humano comprobado” por instituciones como la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer o la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. En el caso de estos elementos no se puede establecer una dosis mínima donde no existe un riesgo, asociándose así todas las concentraciones a algún riesgo para la salud; en este estudio se entregan resultados de evaluación de riesgos no carcinogénico debida a la exposición a arsénico. Detalles técnicos del cálculo de HQ pueden ser consultados en el Anexo técnico A.2.

En la Tabla 3-2 se indica la cantidad de muestras que poseen HQ sobre 1 (potencialmente presentan un riesgo a la salud de la población) con respecto a la totalidad de las muestras. Preliminarmente el cromo y el zinc no presentan muestras con valores sobre 1 lo que indica que no son metales de preocupación para la población de Copiapó. **El arsénico, cobalto y cobre, poseen muestras con HQ sobre 1 indicando que dentro de la ciudad existe un potencial riesgo a la salud de la población frente a la exposición a estos metales.** Cabe destacar la alta cantidad de muestras que poseen HQ de arsénico

alto como también la existencia de una muestra de polvo con un muy alto HQ de arsénico (18.6) correspondiente a una muestra de polvo tomada en el área industrial de la ciudad. A pesar de que la cantidad de muestras con valores altos de HQ para el cobre son bajas, este metal es un elemento más común que el arsénico y la exposición analizada podría no corresponder a toda la exposición percibida por un individuo, para esto debiese incluirse la vía oral, dérmica, respiratoria, la ingesta de alimentos y agua (Calcagni, 2016). Evaluar las consecuencias relacionadas con cáncer y exposición a arsénico están fuera del alcance de los métodos usados en este estudio.

	Arsénico	Cobalto	Cromo	Cobre	Zinc
Suelos	20 / 42	7 / 42	0 / 42	1 / 42	0 / 42
Polvos	22 / 71	11 / 71	0 / 71	2 / 71	0 / 71

Tabla 3-2: Número de muestras con HQ sobre 1 con respecto a la totalidad de muestras estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

El CENMA en el año 2016 realizó una evaluación de los potenciales riesgo en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla (CENMA, 2016). Se detectó un alto enriquecimiento de las muestras de polvo sedimentables obtenidas respecto a las condiciones naturales. Evidencia de una posible resuspensión de partículas provenientes de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes (como los relaves abandonados). El estudio concluye que no es posible descartar la presencia de contaminantes en Copiapó y se recomienda realizar futuros estudios de riesgo con enfoque en niños. Este estudio confirma los hallazgos de CEDEUS en suelos urbanos y polvos de calle dentro de la zona urbana de Copiapó, destacando así la importancia de futuros estudios de riesgo enfocados en niños y de los metales encontrados en relaves cercanos a poblaciones humanas.

En la Figura 3-3 y Figura 3-4, se presentan los mapas de ubicación de los HQ en suelos y polvos de calle. A través de esta herramienta se pueden identificar sectores de la ciudad que se encuentran propensos a tener un riesgo para la salud. Para el caso del **cobalto** (Figura 3-3) se observa que **existen dos zonas con potencial riesgo a la salud**, la primera en el **sector El Palomar** en la ribera sur del río y la segunda en la zona agrícola **cercano a los relaves Llaucavén, San Esteban y Tania** (más información sobre relaves en Anexo técnico A.3).

En el caso del arsénico, presenta un potencial riesgo a la salud en áreas similares a las del cobalto. Pero además presenta otras zonas con potencial riesgo, en el centro de la ciudad y también en el área cercana a la fundición de cobre. En resumen, se detectaron 5 áreas de priorización, el centro de la ciudad, la población El Palomar, el sector industrial al oeste de la ciudad, el sector agrícola próximo a relaves y el área más cercana a la fundición.

Por último, se estimó el *Upper Confidence Limits* o UCL 95% para las concentraciones de metales en la ciudad, este valor recomendado por la *US Environmental Protection Agency* es útil para representar un sitio con un valor que garantiza no ser superado con un 95% de confianza. Luego se calculó el HQ correspondiente a este valor, en el caso del arsénico los valores para el HQ corresponden a 2.3 y 1.5 para polvos de calle y suelos respectiva-

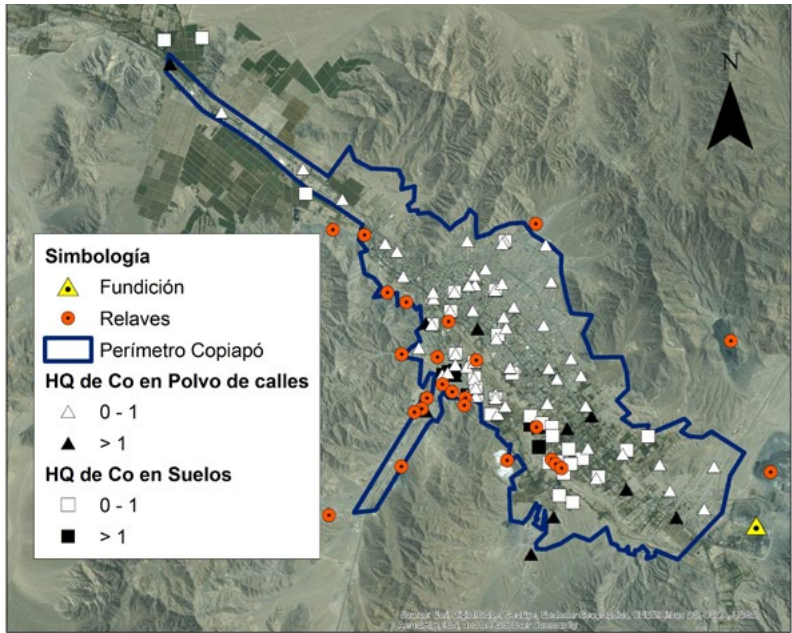


Figura 3-3: Ubicación de muestras y su HQ de cobalto (Co). Se observan dos zonas que potencialmente presentan riesgo por cobalto, la zona de El Palomar y la zona agrícola cercana a San Fernando. Fuente: Elaboración propia.

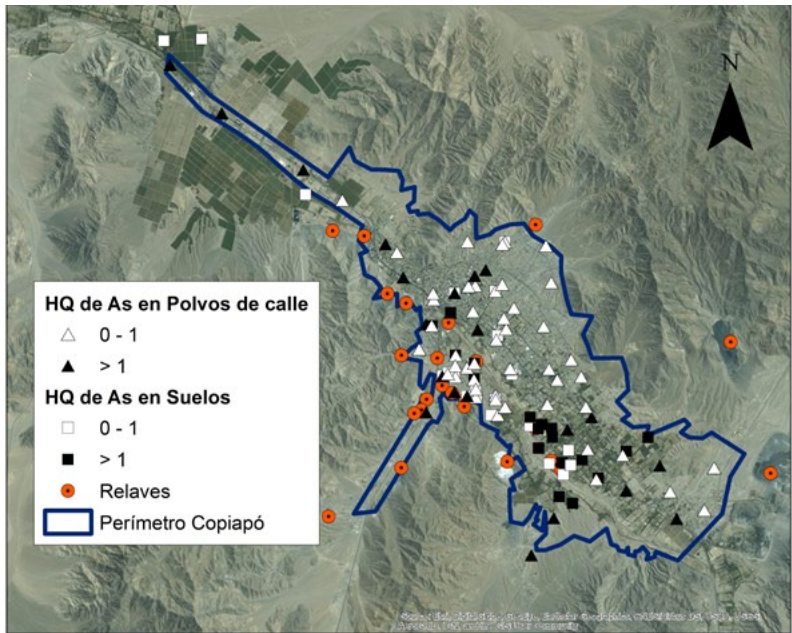


Figura 3-4: Ubicación de muestras y su HQ de arsénico (As). Se observa que gran parte de la ciudad presenta un potencial riesgo frente al arsénico. El sector de El Palomar, y la zona agrícola cercana a San Fernando son nuevamente los sectores propensos a tener un riesgo a la salud. Cabe destacar que el sector más próximo a la fundición de cobre presenta también un potencial riesgo debido al arsénico. Fuente: Elaboración propia.

mente, lo que indica que **el arsénico es un riesgo potencial para la población de toda la ciudad**. En el caso del cobalto los valores corresponden a 0.8 y 1.3 para polvos de calles y suelos, respectivamente. Esto nos indica que existe **un potencial riesgo en los suelos de la ciudad debido al cobalto**. Por último, **para el cobre** los valores son 0.6 y 0.05 para polvos y suelos respectivamente, lo que indicaría que **a pesar de existir zonas de alto HQ no es una característica generalizada de la ciudad**.

Biodisponibilidad

La biodisponibilidad corresponde a la parte de la concentración total de un metal que está propensa (o disponible) para ser absorbida por seres vivos si se produce la ingesta del material que los contiene. Este estudio de biodisponibilidad corresponde a una aproximación en base a la facilidad con que los elementos se separan de la muestra y quedan disponibles para ser ingresados y metabolizados en el organismo (Calcagni, 2016). Se realizó la evaluación de la biodisponibilidad en los siguientes ocho elementos: aluminio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, plomo y zinc. Para una selección del total de muestras, correspondiente a **10 muestras de polvo de calles, 9 muestras de suelos urbanos y 3 muestras del relave Porvenir**. Estas muestras fueron sometidas a extracciones secuenciales, que buscan conocer la especiación y liberación de estos elementos bajo diversas condiciones para luego con esta información estimar preliminarmente la biodisponibilidad del elemento en la muestra. Detalles técnicos de la obtención de la biodisponibilidad pueden ser consultados en el Anexo técnico A.4.

De los tres tipos de muestras estudiadas, los resultados indican que en general los relaves poseen mayor biodisponibilidad (en porcentaje respecto al total en la muestra) para los ocho elementos estudiados, seguido en orden decreciente por polvos de calles y luego por los suelos urbanos. En el caso de los suelos y polvos de calles los metales con mayor biodisponibilidad fueron el cadmio, zinc y hierro, y los de menor el aluminio y el cobre (Calcagni, 2016). Cabe destacar que la biodisponibilidad depende de la muestra en estudio, existiendo alta variabilidad en los resultados y por lo tanto en el potencial riesgo de salud (Calcagni, 2016).

En consecuencia, vivir en los alrededores de los relaves y las actividades desarrolladas sobre éstos (deportivas y recreativas), **expone a la población a metales que poseen mayor biodisponibilidad** respecto a metales en polvos de calles y suelos de la ciudad, **lo que aumenta el potencial riesgo para la salud de la población**.

3.2.2 Limitaciones de la metodología y proyecciones

Se concluyó que el arsénico, cobalto y cobre pueden ser considerados como un potencial riesgo a la salud poblacional. Por otro lado, se debe resaltar que la **estimación de riesgo realizada es preliminar** y debido a esto no se puede descartar la existencia de riesgos asociados a otros metales (cadmio, mercurio, plomo o zinc); ni riesgos potenciales en otros sitios que en este estudio no presentaron problemas. **Las vías de exposición consideradas en esta estimación fueron la ingesta de suelo o polvo, pero existen otras vías de exposición como lo es el contacto dérmico o la inhalación de material contaminado, o incluso el consumo de alimentos de producción local**.

Además, el tamaño de las partículas consideradas para esta estimación de riesgo (<2 mm) genera un **resultado conservador**; debido a que la fracción más fina (<250 µm) es la recomendada internacionalmente para estimaciones de riesgo ya que corresponde a una fracción que se encuentra más enriquecida en metales (Padoan, Romè, & Ajmone-Marsan, 2017; Qiang, Yang, Jingshuang, Quanying, & Mingying, 2014; Sun et al., 2017). Nuestras mediciones indican que la fracción <53 µm (incluida en la fracción <250 µm) se encuentra más enriquecida que la fracción gruesa para todos los metales. En particular para el arsénico, en suelos y polvo de calles, el enriquecimiento promedio corresponde a un aumento de 41% y 175% respectivamente. En el caso del cobre, en suelos y polvo de calles el enriquecimiento corresponde a un 76% y 326% respectivamente. Los valores anteriores resaltan nuevamente que nuestros resultados son conservadores. La metodología utilizada para estimar la biodisponibilidad se basa en extracciones secuenciales, pero existen métodos más precisos que simulan la biodisponibilidad en experimentos in vitro simulando las condiciones dentro del cuerpo humano (Oomen et al., 2002). La estimación preliminar de la biodisponibilidad se realizó para ocho elementos y se concluyó que en futuros estudios debe **priorizarse además otros metales asociados a actividades mineras, como lo es el mercurio**.

El estudio de potenciales riesgos en la comuna de Copiapó realizado por el CENMA, sugiere que el enfoque de los futuros evaluaciones de riesgo y de potenciales estudios orientados específicamente a salud y biomarcadores de exposición, deberán centrarse principalmente en niños e infantes como la principal subpoblación expuesta. En estos casos, los sistemas de estudio deberán ser los polvos sedimentados como también los Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes (CENMA, 2016). Ambas recomendaciones concuerdan con los resultados de riesgo preliminar obtenidos por CEDEUS, indicando que los sistemas con mayor riesgo potencial en Copiapó son, en orden decreciente, el material de relave, los polvos de calle y los suelos urbanos.

La información recopilada en este estudio, que concuerda con la presentada por el CENMA, expone que en futuros estudios de caracterización del estado de salud y ambiente deben considerarse las zonas enriquecidas en la ciudad como prioritarias. Los futuros estudios deberán regirse por un mayor detalle en el muestreo ambiental para disminuir la heterogeneidad espacial y abordar la biodisponibilidad de las muestras para complementar el diagnóstico ambiental realizado. De esta forma, podrá darse a conocer la exposición actual que tiene la población a los metales, realizando estudios de biomonitorio de metales en matrices como sangre, orina o incluso pelo, junto a una descripción detallada del estado de salud que pudiera esperarse según los perfiles toxicológicos de los elementos químicos presentes en el ambiente. En la Figura 3-5 se indica un modelo útil para un futuro estudio de riesgo, como también indica las vías de exposición, fuentes y receptores en la ciudad. Dada las condiciones de aridez de la ciudad, el viento es el principal mecanismo de dispersión del material particulado, originado en polvo, suelo y relaves. Este material llega a la población a través de la inhalación o ingestión pudiendo existir un potencial riesgo a la salud para la población más vulnerable, los niños, niñas y adolescentes.

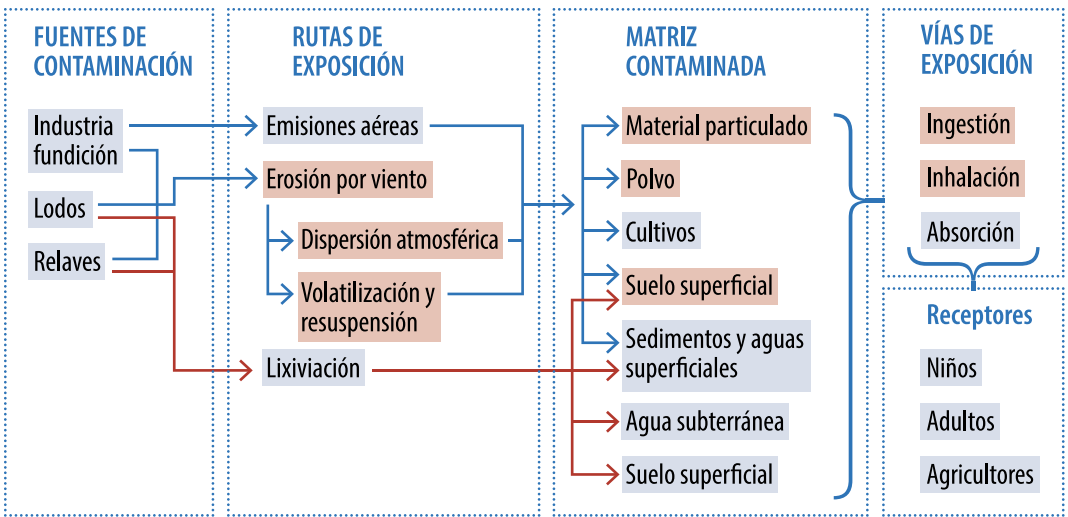


Figura 3-5: Modelo conceptual para un futuro análisis de riesgo en Copiapó. En el diagrama se indican las potenciales fuentes de contaminación, las rutas de exposición, posibles matrices contaminadas, vías de exposición y receptores. En rojo se destacan las secciones consideradas predominantes en Copiapó. Fuente: CEDEUS, 2015.

3.3 LÍNEA BASE Y ENRIQUECIMIENTO DE METALES PARA ZONAS URBANAS

Las ciudades mineras se establecieron en zonas cercanas a los puntos de extracción de mineral, en consecuencia, los suelos donde se emplazaron poseen naturalmente, altas concentraciones debido a la presencia de zonas geológicas enriquecidas en metales. CEDEUS estudió las concentraciones naturales de la zona para así conocer la línea base natural de metales que posee Copiapó, para luego comparar las concentraciones urbanas con los valores naturales obtenidos.

3.3.1 ¿CUÁLES SON LAS CONCENTRACIONES DE METALES EN ZONAS NATURALES?

Se obtuvieron muestras de suelo en sectores alejados de la ciudad, con el objetivo de obtener niveles naturales de metales, se seleccionaron lugares distantes a potenciales fuentes de contaminación y dentro de las principales zonas geológicas del sector. De esta forma se obtuvieron 59 muestras de suelos naturales que fueron recolectadas en 6 diferentes formaciones geológicas. Luego se determinó la concentración de 14 elementos (ICP-OES) para proceder al cálculo de un valor representativo de las concentraciones de metales de la zona periurbana de estudio, llamados valores naturales o *background* de la zona de Copiapó. El método de cálculo utilizado (método de Lepeltier) se basa en el descarte de muestras que presentan un comportamiento anómalo respecto al grupo total. De esta forma, las muestras que potencialmente se encuentran con aportes humanos son descartadas, dejando solo muestras no influenciadas para la obtención de los valores *background* representativos de la zona a evaluar.

Se presentan en la Tabla 3-3 los valores obtenidos para la zona de Copiapó y se indican a modo de comparación resultados de estudios similares a nivel internacional. En comparación

con los demás estudios, los **valores *background* obtenidos son elevados para el cobre, hierro, manganeso y zinc**. Estos altos valores concuerdan con la presencia de múltiples yacimientos minerales en los alrededores de Copiapó, que propician concentraciones más elevadas frente a la situación natural de otros países (Moya, 2017).

Estudios de las **concentraciones naturales en la zona han sido realizados por el CENMA** en el año 2016, se obtuvieron **valores similares a los obtenidos por CEDEUS**. Cabe destacar que aquel estudio fue realizado con metodologías de muestreo similares a las utilizadas por CEDEUS, pero en total se obtuvieron 456 muestras para obtener las concentraciones naturales de la zona, otorgando mejor validez estadística a sus resultados (CENMA, 2016). A pesar de esto la metodología de cálculo utilizada por CENMA se basa solo en comportamiento estadístico con base en un conjunto de muestras no contaminadas que puede no ser el caso de la zona de estudio.

Algunas de las muestras naturales se descartaron para la estimación de los valores *background* ya que estas presentaron influencia humana en sus concentraciones. Este efecto antrópico identificado se debe al aumento de las concentraciones en la capa superficial del suelo con respecto a la zona profunda, atribuible a la deposición atmosférica de las emisiones de la fundición sobre los suelos naturales. Cabe destacar que esta situación sugiere también que **el efecto de las emisiones de la fundición sobre los niveles de metales se expande al menos por toda la región** (Gidhagen, Kahelin, Schmidt-Thomé, & Johansson, 2002; Moya, 2017).

Por otro lado, las muestras obtenidas en las zonas naturales y periurbanas de Copiapó presentan para el arsénico y el cobre superación de los valores de referencia internacionales y otros valores nacionales (Tabla 3-4). Se destaca también en este caso la situación del arsénico, en que **un 68% de las muestras de suelo natural superan las concentraciones sugeridas para el caso de Polimetales de Arica**.

Ambas situaciones hacen entrever que existen **altos niveles de arsénico en los sectores naturales de Copiapó, niveles anormales y que se han atribuido a la larga historia de deposición atmosférica enriquecida por las emisiones de la fundición de cobre** que funciona desde 1952 hasta la fecha y su rango de dispersión alcanza a toda la región (Gidhagen et al., 2002; Hedberg, Gidhagen, & Johansson, 2005; Moya, 2017; Williams & Brown, 1994).

3.3.2 Enriquecimiento en zonas urbanas ¿origen natural o humano?

Las concentraciones en las muestras urbanas fueron comparadas con la línea base natural obtenida para el área de estudio. De esta forma se buscó descartar al componente natural y resaltar solo el efecto de origen humano. Para esto se utilizaron factores de enriquecimiento (EF) que indican la cantidad de veces que la concentración de una muestra se encuentra sobre la línea base estimada, es decir, sobre las condiciones naturales. Valores de EF menores a 2 corresponden a muestras sin enriquecimiento; EF entre 2 y 5 a un enriquecimiento moderado; EF entre 5 y 20 a enriquecimiento significativo; EF entre 20 y 40 a enriquecimiento muy alto y EF sobre 40 a sectores extremadamente enriquecidos (Sutherland, 2000). Detalles técnicos de la obtención de los factores de enriquecimiento

Valores <i>background</i> (mg/kg)					
Elemento	Símbolo	Copiapó	España ^a	Irán ^b	México ^c
Aluminio	Al	23,251	-	68,000	-
Arsénico	As	30	-	-	41
Cobalto	Co	22	11	18	8
Cromo	Cr	31	36	106	
Cobre	Cu	223	28	30	38
Hierro	Fe	47,997	19,822	32,000	--
Mercurio	Hg	0.21	-	-	0.29
Manganeso	Mn	1,068	402	791	-
Níquel	Ni	20	31	83	24
Plomo	Pb	22	28	38	47
Titanio	Ti	2,102	-	-	-
Vanadio	V	150	-	-	-
Zinc	Zn	195	83	120	103

Tabla 3-3. Valores *background*⁹ estimados para Copiapó y otros estudios internacionales respecto al tema. Fuente: Elaborado en base a Moya (2017).

- a. Micó et al. (2007). Línea basal de metales pesados en Región de Alicante, España.
- b. Esmaeili et al.(2014). Valores *background* en Provincia de Isfahan, Israel.
- c. Chiprés et al. (2009). Valores *background* en región de Catorce-Matehuala, México.

Suelo natural – muestras <i>background</i>			
Elemento	Canadá residencial	Brasil residencial	Polimetales de Arica
Arsénico	54 / 59	16 / 59	40 / 59
Cobalto	0 / 59	0 / 59	-
Cromo	0 / 59	0 / 59	-
Cobre	53 / 59	0 / 59	-
Mercurio	0 / 59	1 / 59	-
Níquel	0 / 59	0 / 59	-
Plomo	1 / 59	0 / 59	0 / 59
Vanadio	11 / 59	-	-
Zinc	2 / 59	0 / 59	-

Tabla 3-4: Número de muestras de suelos naturales que superan valores de referencia de sectores residenciales. Fuente: Elaborado en base a Moya (2017).

⁹Valores estimados por el método de Lepeltier en base a 59 muestras de suelos naturales ubicados en sectores fuera del perímetro urbano definido por el plan regulador comunal.

pueden ser consultados en el Anexo técnico A.5.

En los suelos de la ciudad se detectaron EF muy altos en muestras puntuales para el cobalto, mercurio y plomo; y EF extremadamente enriquecidos para cobre y mercurio principalmente en sitios ubicados en los alrededores de los relaves. En el caso de los polvos de calles metales como el arsénico, cobre, mercurio, plomo y zinc presentaron algunos EF clasificados como enriquecimiento muy alto, y algunas muestras con EF extremadamente enriquecidos para cobre y mercurio.

Cada metal presenta EF que son diferentes dependiendo de la ubicación espacial dentro de la ciudad. En la Figura 3-6 y Figura 3-7, se muestran los EF en las muestras de suelos y polvos de calle para cobre y mercurio, respectivamente. Destacando que para el cobre hay mayores enriquecimientos en zonas cercanas a relaves y la fundición de cobre; y que para el mercurio las zonas de mayor enriquecimiento son los sectores cercanos a relaves con altas concentraciones de mercurio, como el relave Ojancos y Santa Blanca (más detalles sobre los relaves en Anexo técnico A.3).

En base a estos resultados se concluye que dentro de la ciudad existen **fuentes emisoras antrópicas de arsénico, cobre, mercurio y plomo** que enriquecen de metales a suelos y polvos de calles. Las **zonas de mayor enriquecimiento se encuentran en las cercanías de las fuentes contaminantes**, como relaves o la fundición de cobre. Los polvos de calles tienen mayores concentraciones en promedio que los suelos de la ciudad, para metales como el cromo, cobre, hierro, plomo, vanadio y zinc, y **a pesar de eliminar el alto aporte natural, aun así, existe enriquecimiento de metales en los suelos urbanos y polvos de calles tornando esta situación todavía más crítica.**

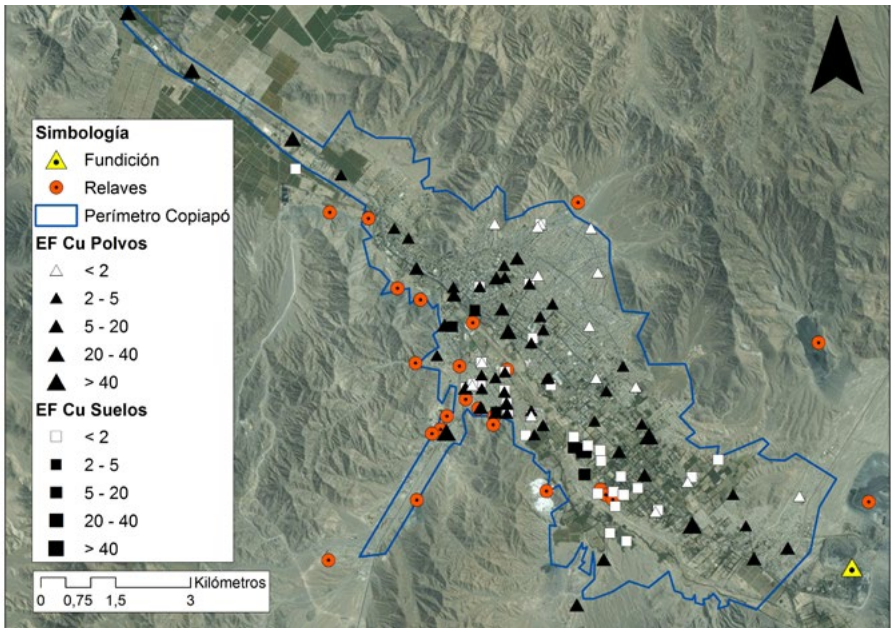


Figura 3-6: Mapa de factores de enriquecimiento de cobre (Cu) para muestras de suelos y polvos de calle. Se observan mayores EF en zonas cercanas a relaves y a la fundición de cobre. Fuente: Moya, 2017.

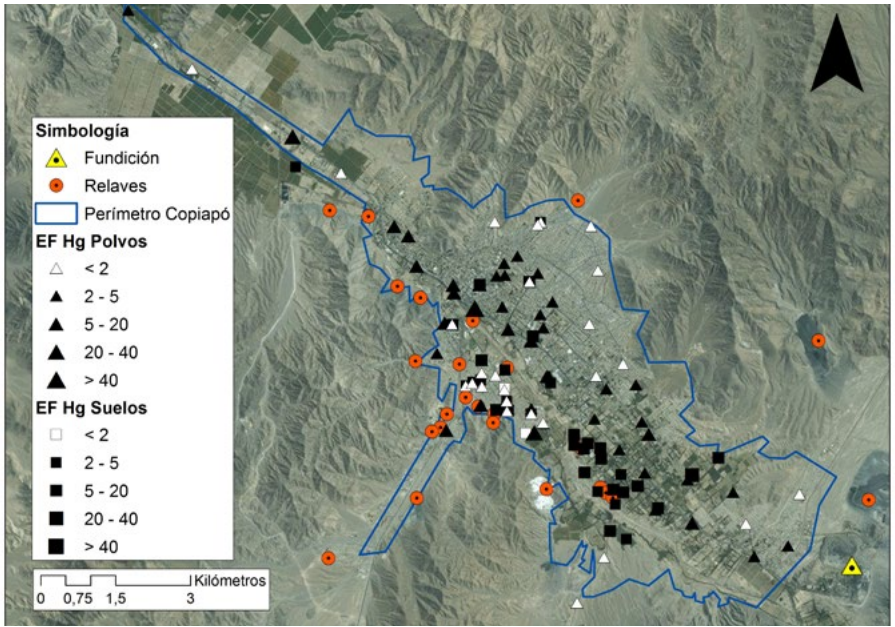


Figura 3-7: Mapa de factores de enriquecimiento de mercurio (Hg) para muestras de suelos y polvos de calle. Existen zonas cercanas al relave Ojancos y otros relaves en la zona agrícola con altos EF. Fuente: Moya, 2017.

4 ¿Cuáles son las fuentes del enriquecimiento de metales?

Con la información de las concentraciones obtenida de las muestras de la campaña de noviembre de 2014 se realizó una modelación para identificar qué fuentes afectan a los suelos y polvos de calles de la ciudad. Se utilizó el modelo “Matriz de Factorización Positiva” (PMF)¹⁰, este identifica mediante las características químicas de las muestras, las fuentes que aportaron los metales. Se utilizaron otras técnicas de laboratorio para confirmar las modelaciones realizadas. Se estudió la mineralogía de suelos y polvos de calles para identificar el efecto de los relaves; se utilizó un microscopio electrónico para buscar partículas esféricas emitidas por la fundición de cobre; se obtuvo material particulado PM10 y se estudió su composición para identificar las emisiones de fuentes en Copiapó (Moya, 2017). Por otro lado, nueve relaves fueron caracterizados química y físicamente para conocer la concentración de metales presente en cada uno, como también comprender cómo sus propiedades físicas favorecen la dispersión del material de relave (resultados y discusión en estos temas pueden consultarse en el Anexo técnico A.3).

En base a este estudio se identificaron **6 tipos de fuentes que afectan a suelos y polvos de calles de Copiapó: los procesos mineros, los relaves enriquecidos en mercurio, los relaves de la minería del cobre, el aporte natural, las prácticas agrícolas y las emisiones del tráfico** (Moya, 2017). A continuación, se detallan las características y el potencial efecto sobre la ciudad de las tres fuentes relacionadas a la minería, las que se relacionan con los elementos de mayor enriquecimiento en la ciudad y que potencialmente son más tóxicos para la salud (arsénico, cobre, plomo y mercurio). Dada la distribución

¹⁰ Reff, A., Eberly, S.I., Bhawe, P. V, 2007. Receptor modeling of ambient particulate matter data using positive matrix factorization: review of existing methods.

Wang, X.T., Miao, Y., Zhang, Y., Li, Y.C., Wu, M.H., Yu, G., 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils of the megacity Shanghai: Occurrence, source apportionment and potential human health risk.

Zhang, J., Wang, J., Hua, P., Krebs, P., 2015. The qualitative and quantitative source apportionments of polycyclic aromatic hydrocarbons in size dependent road deposited sediment.

espacial de los polvos de calles estos se utilizaron para estimar las zonas que afecta cada una de las fuentes.

4.1 Procesos mineros

Esta fuente realiza altos **aportes de cobre (88%), arsénico (48%), zinc (43%) y plomo (9%) a los polvos de calles**; estos aportes corresponden al que realizan los procesos mineros en los alrededores de la ciudad, en donde se incluye la fundición de cobre. Estos cuatro metales se han relacionado a fundiciones de cobre y toda la industria de la minería (De Gregori, Fuentes, Rojas, Pinochet, & Potin-Gautier, 2003; Hedberg et al., 2005; Parra et al., 2014; Salmanighabeshi et al., 2015). Este aporte se verifica en las partículas esféricas encontradas en las muestras de polvos de calle, también en los filtros de PM10 obtenidos dentro de la ciudad que contienen una gran cantidad de azufre y confirman el efecto de las emisiones fundición sobre la ciudad (única fuente de azufre significativa para la zona). Por otro lado, cabe destacar que algunas muestras naturales presentaron enriquecimiento en metales como el cobre, arsénico, zinc y plomo, sugiriendo que el efecto de la fundición de cobre no es solo sobre la ciudad, sino que sobre toda la zona de estudio.

En la Figura 4-1 se presentan las zonas de la ciudad que son más afectadas por la fuente de procesos mineros. Esta distribución espacial muestra que en las **zonas industriales y mineras de la ciudad es dónde existe un mayor efecto de esta fuente antropogénica.**

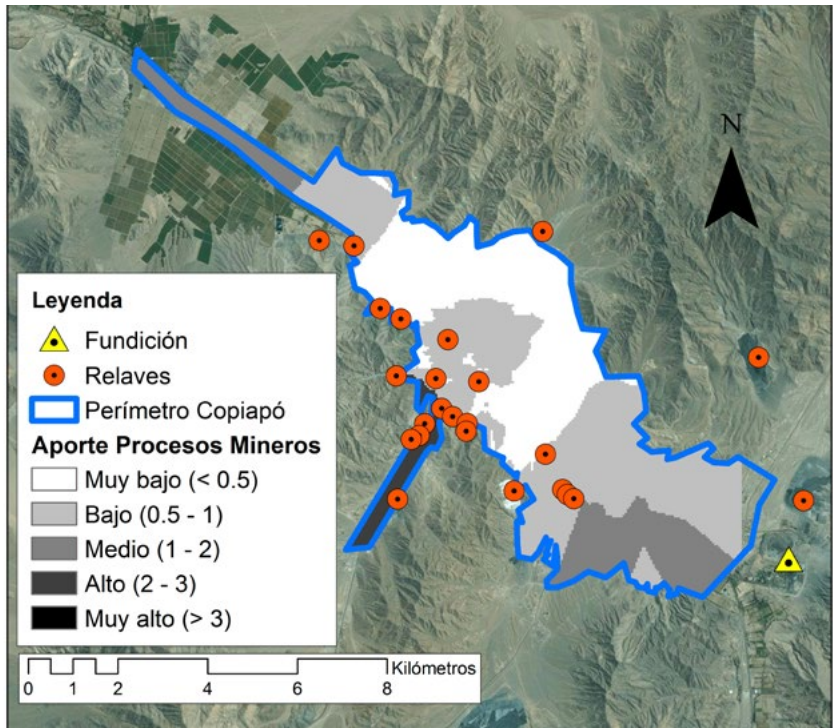


Figura 4-1: Zonas de la ciudad según nivel de aporte de la fuente Procesos Mineros. Los procesos mineros poseen altos aportes en las zonas industriales y cerca de la fundición de cobre. Fuente: Moya, 2017.

4.2 Relaves enriquecidos en mercurio

El principal aporte de esta fuente a los polvos de calles es **el mercurio (88%, pero también aporta con plomo (8%) y arsénico (5%))**. Los relaves con alto contenido de Hg son la única fuente significativa de este metal en la ciudad. Estos relaves se encuentran ubicados cercanos a la zona centro de Copiapó, en la población El Palomar y en la zona agrícola cercana a San Fernando (detalles sobre relaves en Anexo técnico A.3). La cercanía de los relaves a estas zonas es coincidente con los altos factores de enriquecimiento de mercurio en las muestras de suelo y polvo en estas zonas (Figura 3-7); por otro lado la falta de caracterización de la totalidad de los relaves en la ciudad podría entregar tanto un esclarecimiento sobre el enriquecimiento de mercurio generalizado, como también sobre el transporte de metales en la ciudad (Moya, 2017).

En la Figura 4-2 se presentan las zonas de la ciudad más afectadas por el material de relave enriquecido en mercurio. Se destaca la presencia del sector cercano al relave Ojancos, en el centro de la ciudad, con altos aporte de mercurio debido a la dispersión eólica del material en esa dirección. De la misma forma la zona agrícola se ve afectada por relaves con Hg, pero en menor medida. Se debe estudiar en más detalle el **efecto del relave Ojancos sobre el centro de la ciudad ya que es potencialmente una zona con alta exposición de la población al Hg.**

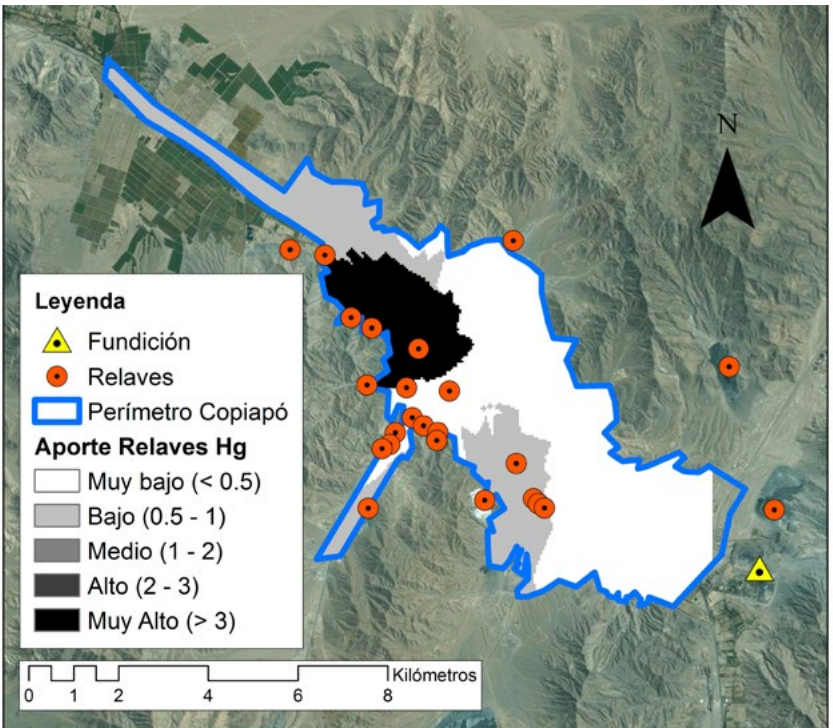


Figura 4-2: Zonas de la ciudad según nivel de aporte de la fuente relaves ricos en mercurio. Dos áreas son las más afectadas por esta fuente, el centro de la ciudad y las zonas agrícolas. Fuente: Moya, 2017.

4.3 Relaves de la minería del cobre

Esta fuente realiza altos aportes de **vanadio (65%), hierro (60%), cromo (33%), arsénico (16%), calcio (11%) y cobre (5%) a los polvos de calles de la ciudad**. Dada la alta cantidad de relaves en la ciudad el aporte es generalizado en todo Copiapó, con mayores valores en las zonas cercanas a los relaves (Figura 4-3). Los análisis de la mineralogía de los relaves y de las muestras de polvos de calle o suelos, confirmaron que el material de relave está depositándose en los polvos y suelos de la ciudad. Y como se observa en la Figura 4-3 existen **mayores aportes en los sectores de mayor densidad de relaves, en la zona agrícola y la zona industrial hacia el sur de la ciudad**.

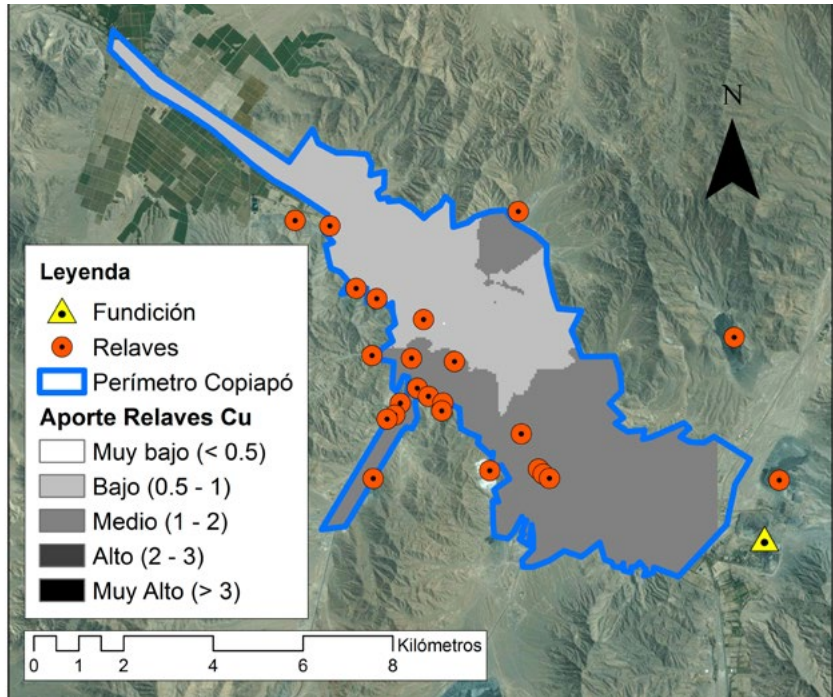


Figura 4-3: Zonas de la ciudad según nivel de aporte de la fuente relaves de la minería del cobre. Los relaves poseen más aporte en los sectores de mayor concentración de relaves, como la zona agrícola. Fuente: Moya, 2017.

5 ¿Cuáles son las áreas prioritarias para futuras evaluaciones de riesgo y otras mediciones de salud?

La información espacial en los **mapas de enriquecimiento** dentro de la ciudad (Figura 3-6 y Figura 3-7), la ubicación de las muestras y sus **coeficientes de riesgos [HQ]** (Figura 3-3 y Figura 3-4) y la cercanía a **relaves con alto contenido de metales** potencialmente peligrosos (ver Anexo técnico A.3), fueron **utilizados para determinar zonas prioritarias para futuras evaluaciones de riesgos e intervenciones basadas en caracterizar el estado de salud** de la población de Copiapó.

Se consideraron prioritarias las zonas que presentaron alguna de las características siguientes: (1) factores de enriquecimiento sobre un nivel moderado en suelos o polvos de

calle; (2) sitios donde el HQ, para algún metal, fuera superior a 1 asociados a incrementos de riesgos poblacionales para determinados eventos de salud y (3) elementos presentes en los relaves, concentraciones y ubicación con respecto a la población (detalles en Anexo técnico A.3). La información generada indicó que se pueden definir **5 zonas prioritarias para futuros estudios de riesgo y de salud en Copiapó (Figura 5-1)**.

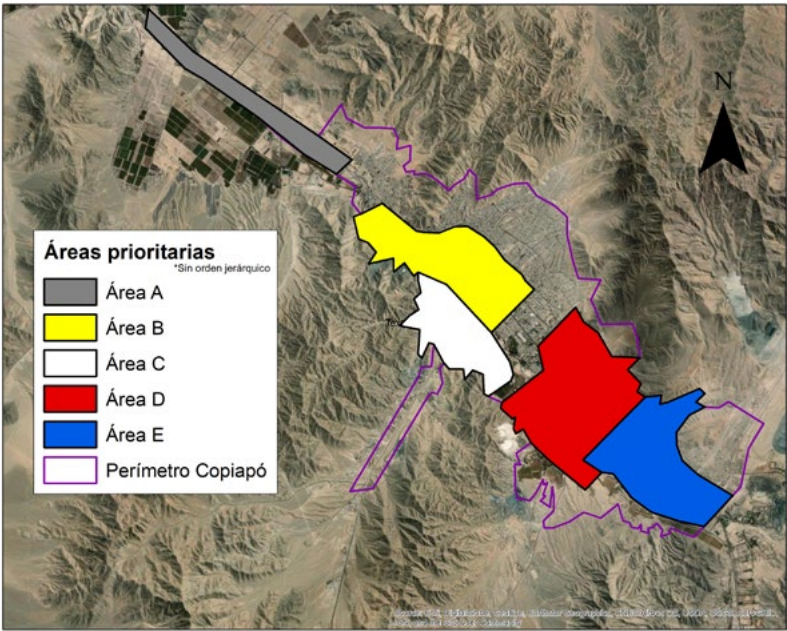


Figura 5-1: Áreas prioritarias para futuros estudios de riesgo en Copiapó. Las áreas se estimaron en base a la presencia de muestras con HQ sobre 1, EF altos y presencia de relaves en el área. Se destaca el Área B, ubicada en el centro de la ciudad y que presenta altos enriquecimientos y HQ sobre 1. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-1 se detallan las características de las 5 áreas identificadas, cabe destacar la alta presencia de **enriquecimiento de mercurio en las cinco zonas**. Como también el **HQ de arsénico y cobalto sobre 1 para todas las áreas**. Por último, destacar que las **áreas B y C son zonas residenciales por lo que la exposición potencial es mayor**.

Área de priorización	Metales con HQ>1	Metales con EF > 5 en Suelos	Metales con EF > 5 en Polvo de Calle
Area A	As, Co	Hg ^a	As, Cu, Hg, Pb, Zn
Area B	As, Co	As, Hg, Pb	Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
Area C	As, Co	Hg	Co, Cu, Hg, Pb
Area D	As, Co, Cu	Co, Cu, Hg, Pb	Cr, Cu, Hg, Pb
Area E	As, Co, Cu	Hg	Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn

As: Arsénico; Co: Cobalto; Cr: Cromo; Cu: Cobre; Hg: Mercurio; Pb: Plomo.

Tabla 5-1: Características de las áreas de potencial riesgo para la salud poblacional. Fuente: Elaboración propia.

^a Muestra de suelo levemente fuera del área.

6 PLANIFICACIÓN URBANA Y CALIDAD QUÍMICA DE SUELOS

6.1 Regulación sobre zonificación

La regulación del uso de suelo urbano en la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC)¹¹, no muestra evidencia que permita afirmar que para efectos de definir los usos de suelo de cada zona o determinar la zonificación, se considere como un factor relevante el nivel de contaminación del suelo por la presencia de metales u otras causas similares, ni la calidad del mismo asociado a los usos que pueden fijar los planes reguladores.

El artículo 57 de la LGUC señala que el uso de suelo urbano en las áreas urbanas se registrará por lo dispuesto en los Planes Reguladores, y las construcciones que se levanten en los terrenos serán concordantes con dicho propósito. Por su parte, el artículo 2.1.24 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) reitera que *“Corresponde a los Instrumentos de Planificación Territorial, en el ámbito que les es propio, definir los usos de suelo de cada zona.”* La norma agrega que *“Para la fijación y aplicación de dichos usos de suelo, éstos se agrupan en los siguientes seis tipos de uso, susceptibles de emplazarse simultáneamente en la misma zona, lo cual deberá ser reglamentado por el Instrumento de Planificación Territorial correspondiente, en orden a compatibilizar los efectos de uno y otros:*

- Residencial
- Equipamiento
- Actividades productivas
- Infraestructura
- Espacio público
- Área verde.”

Por su parte, según disponen los artículos 46 de la LGUC y 2.1.15 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en los casos en que no exista Plan Regulador Comunal vigente, se podrán aprobar Planes Seccionales, utilizando el procedimiento establecido para la aprobación de los Planes Reguladores Comunales y consistirán en una memoria explicativa básica, en una ordenanza local que fije las condiciones mínimas de uso de suelo, de edificación y del trazado vial y en uno o más planos que grafiquen lo anterior.

No ocurre lo mismo en el plano seccional ahora llamado plano de detalle en el artículo 28 ter de la LGUC, el cual debe establecer aspectos tales como áreas de construcción obligatoria, de remodelación, de conjuntos armónicos, zonificación detallada, entre otros; pero la norma las restringe a aquellas materias calificadas, por las condiciones topográficas o morfología de la zona, o por la urgencia de materializar obras públicas o expropiaciones. Lo anterior, no parece dejar margen a la incorporación de medidas cuya urgencia pueda provenir de otros motivos.

En todo caso, la Administración ha considerado que el desarrollo urbano puede ser objeto de limitaciones. De acuerdo con una publicación realizada por la División de Planificación Regional del Ministerio de Planificación, en enero de 2005, titulada “Cuaderno 1 Zonificación para la planificación territorial”¹², la contaminación es un factor tomado en consideración desde la perspectiva de que ciertas **actividades desarrolladas por la**

población pueden afectar negativamente el entorno, de modo que justifican una limitación o restricción al desarrollo de la actividad.

6.2 Áreas restringidas de desarrollo urbano

A nuestro juicio los IPT pueden establecer restricciones al uso del suelo en razón de la contaminación del mismo y el vehículo para ello es el establecimiento de “áreas restringidas al desarrollo urbano”, contando con el instrumento preciso para ello, a través de la preparación del estudio fundado de riesgos contenido en la Memoria Explicativa del IPT.

El artículo 2.1.17 de la OGUC¹³ establece las áreas restringidas al desarrollo urbano, al señalar que: *“en los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.”* (Lo destacado es nuestro).

La norma distingue entre dos tipos de áreas restringidas:

(i) *“zonas no edificables”*, aquellas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60 de la LGUC¹⁴. La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) las define como: *“aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gasoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente”*¹⁵.

(ii) *“áreas de riesgo”* son *“aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos”*¹⁶.

Las *“zonas no edificables”*, no tienen relación con el problema planteado puesto que estamos frente a franjas o radios de protección de obras de infraestructura tal como lo señalamos.

En relación a las “áreas de riesgo”, estimamos que en esta categoría puede tener cabida la restricción al asentamiento humano en razón de la contaminación del suelo, pues en ella se limita la edificación por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, tal como fue citado anteriormente.

En esta segunda parte del precepto, la disposición permite expresamente la analogía, así es como pueden definirse áreas de riesgo fundando en razones de seguridad, atendida la existencia de contaminación o calidad deficiente del suelo, que, volviendo a la norma general, constituya un peligro, al menos, potencial para la salud de la población.

A mayor abundamiento, el inciso séptimo de la misma disposición establece que las *“áreas de riesgo”* se determinarán en base a las siguientes características:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Son áreas restringidas, dado que la calificación de área de riesgo no elimina toda posibi-

¹² Ministerio de Planificación y Cooperación (2005), Zonificación para la Planificación Territorial, Serie Planificación Territorial, Cuaderno 1 (La publicación pertenece a una serie de cuadernos orientados a la exposición y análisis de las Metodologías para Incorporar la Dimensión Territorial en las Estrategias y Planes de Desarrollo. Su propósito fundamental es la provisión de herramientas teóricas y prácticas, para analistas y planificadores de los organismos sectoriales, regionales y comunales, en pos de una mayor eficiencia y eficacia de sus funciones. Estos documentos poseen fines netamente didácticos).

¹³ DECRETO SUPREMO N° 47 (16/04/1992), Fija nuevo texto de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

¹⁴ Artículo 60°. El Plan Regulador señalará los terrenos que por su especial naturaleza y ubicación no sean edificables. Estos terrenos no podrán subdividirse y sólo se aceptará en ellos la ubicación de actividades transitorias, manteniéndose las características rústicas del predio. Entre ellos se incluirán, cuando corresponda, las áreas de restricción de los aeropuertos.

Igualmente, el Plan Regulador señalará los inmuebles o zonas de conservación histórica, en cuyo caso los edificios existentes no podrán ser demolidos o refaccionados sin previa autorización de la Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo correspondiente.

¹⁵ O.G.U.C., artículo 2.1.17 inciso cuarto.

¹⁶ O.G.U.C., artículo 2.1.17 inciso segundo.

¹¹ DFL N° 458 (13/04/1976), Aprueba nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones. Versión actualizada por la Ley N° 21.450.

lidad de edificar, sino que condiciona la edificación al cumplimiento de ciertas condiciones.

En este sentido, el inciso tercero de la misma norma establece que *“para autorizar proyectos a emplazarse en áreas de riesgo, se requerirá que se acompañe a la respectiva solicitud de permiso de edificación, un estudio fundado, elaborado por profesional especialista y aprobado por el organismo competente, que determine las acciones que deberán ejecutarse para su utilización, incluida la Evaluación de Impacto Ambiental, (...) cuando corresponda”*¹⁷.

Y agrega: *“Este tipo de proyectos podrán recibirse parcial o totalmente en la medida que se hubieren ejecutado las acciones indicadas en el referido estudio. En estas áreas, el plan regulador establecerá las normas urbanísticas aplicables a los proyectos una vez que cumplan con los requisitos establecidos en este inciso.”*

De acuerdo a la DDU 227, Circular Ord. N° 0935, de fecha 1° de diciembre de 2009, que instruye respecto de la formulación y ámbito de acción de planes reguladores comunales, la determinación de las áreas de riesgo del territorio sujeto a planificación debe fundarse sobre los resultados que arroje el estudio fundado de riesgos, contenido en la Memoria Explicativa del Plan Regulador, documento técnico cuyo objetivo es definir peligros reales o potenciales para el emplazamiento de asentamientos humanos en determinado territorio. El estudio de riesgos que respalde las decisiones de planificación debe contener el análisis y los efectos territoriales de las limitaciones que representa el territorio.

En este contexto, los métodos diagnósticos utilizados por el equipo CEDEUS permiten obtener un diagnóstico preliminar del estado de los suelos en ciudades chilenas. Estos métodos son aplicables también a sectores que sean objeto de futuras expansiones urbanas y proyectos de gran envergadura. Como se observó en Copiapó, el estudio de calidad de suelos es un aporte para el país y es un potencial modelo base para emplearse en la evaluación preliminar del riesgo por contaminación que presentan los suelos, de manera de generar estrategias e intervenciones saludables y sostenibles para proteger la salud de la población y prevenir enfermedades vinculadas a la calidad ambiental a lo largo de nuestro país.

Las ventajas de los métodos utilizados se encuentran en la rapidez para establecer las concentraciones en los suelos y polvos de calle en estudio, mediante muestreos sistematizados y repetibles y usando equipos de costo medio que nos indican preliminarmente el estado ambiental de la ciudad. Además, el análisis preliminar de riesgo a la salud teórico realizado es de rápida ejecución en comparación a evaluaciones integrales de riesgo a la salud poblacional. El análisis conjunto de ambos tipos de información proporciona lineamientos para establecer preliminarmente “áreas de riesgo”, las que pueden orientar a realizar diferentes acciones de salud ambiental, entre ellas, evaluaciones específicas de riesgos para la salud o evaluaciones integrales desde diferentes disciplinas, tales como desarrollar sistemas de vigilancias integrales de salud y ambiente, campañas educativas, monitoreos ambientales en diversas matrices y a mezclas de contaminantes, o incluso diagnósticos poblacionales de salud complementados por biomonitoreo de elementos químicos en matrices biológicas (por ejemplo en pelo, sangre, orina). Las definiciones a tomar dependerán del contexto específico de la zona afectada y de los escenarios de exposición establecidos en cada caso, pero que emanarían a partir de la experiencia mostrada y de las anomalías detectadas en la evaluación preliminar de la ciudad.

Las “áreas de riesgo” serán determinadas en la Ordenanza Local y Planos que conforman el Plan Regulador Comunal (PRC) o Intercomunal (PRI) y, como señalamos anteriormente, una de ellas la constituyen las zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Es así como las áreas de riesgo pueden establecerse por medio del PRI y de este modo pudiesen ser establecidas por este IPT tanto para áreas urbanas como rurales. En el caso de las áreas urbanas el artículo 2.1.7 OGUC en su inciso segundo N°2 letra h) se refiere a la posibilidad de definir áreas de riesgo (...), indicando que “mediante estudios de mayor detalle, los planes reguladores comunales podrán precisar o disminuir dichas áreas de riesgo”. Por su parte, en las áreas rurales permite la restricción en comentario tal como se señala en el N°3 del mismo inciso¹⁸.

De una revisión poco acuciosa se podría estimar que la Contraloría General de la República (CGR) ha sostenido una postura contraria, puesto que en el Dictamen N° 37.295 de fecha 8 de agosto de 2008, este organismo se pronunció sobre un caso similar al que nos ocupa, al analizar la reutilización de terrenos que habían sido destinados u ocupados por actividades generadoras de contaminación que hubieren cesado.

El dictamen analiza el caso concreto en relación a la calificación de **“zona no edificable”**, calificación más estricta y prohibitiva que la de **“área de riesgo”**.

El Dictamen no es contrario a nuestra postura puesto que es preciso considerar que, a la fecha del dictamen, el artículo 2.1.17 no distinguía entre zonas no edificables y áreas de riesgo, éste regulaba únicamente las primeras, llamadas en ese texto, “zonas no edificables o de condiciones restringidas de edificación”. En este sentido, el análisis del dictamen en cuanto establece que un caso de contaminación no se encuentra entre los supuestos que habilitan a decretar una zona como no edificable, es correcto¹⁹.

Las áreas de riesgo fueron expresamente incorporadas por el Decreto N° 10, publicado el 23 de mayo de 2009, norma que permite distinguir los dos tipos de regulación que existen en el artículo 2.1.17 de la OGUC, que está vigente.

Posteriormente, con ocasión de la toma de razón del D.S. 10, la CGR cursó con alcance el Decreto que modificó la OGUC, señalando lo siguiente: “Esta Contraloría General ha tomado

¹⁸ En el mismo sentido Circular Ord. N°353 de 29 de mayo de 2009 (DDU 219).

¹⁹ En este caso, la División de Desarrollo Urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, mediante el oficio circular ord. N° 99, de 2006 –DDU 162-, instruyó a diversas autoridades administrativas acerca de la reutilización de terrenos que habían estado destinados y/u ocupados por actividades generadores de contaminación.

La CGR precisó que, en resumen, el oficio circular ord. N° 99 de 2006, establece que cuando sea necesario modificar un instrumento de planificación para permitir la reutilización de los terrenos que han estado destinados y/u ocupados por actividades generadoras de contaminación, debe considerarse, en el ámbito de la planificación, el establecimiento de un área de riesgo que comprenda dicho terreno –asociada a las causales a que se refiere el N°4 del artículo 2.1.17 de la OGUC–, en la cual se puedan determinar zonas no edificables o de condiciones restringidas de edificación y, en el ámbito de los proyectos, que aquellos que se emplacen al interior del área de riesgo sólo podrán efectuarse si de acuerdo a estudios fundados, elaborados por profesionales especialistas, cumplen los requisitos y condiciones establecidas para ello, incluida la evaluación de impacto ambiental correspondiente, exigencias que se contienen en el inciso final del artículo citado.

El dictamen señala que el artículo 2.1.17. de la OGUC indica que las zonas no edificables o de condiciones restringidas de edificación que se contemplen en las áreas de riesgo definidas en los instrumentos de planificación territorial, se determinarán en base a las cuatro características que enumera, a saber, 1. Zonas inundables o potencialmente inundables (...), 2. Zonas propensas a avalanchas, rodados (...), 3. Zonas de actividad volcánica (...), 4. Zona, franja o radio de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos públicos (...).

De este modo el dictamen resuelve: “Puede apreciarse, enseguida, que la posibilidad de que la autoridad administrativa, a través de los instrumentos de planificación territorial, defina áreas de riesgo en que se contemplen zonas no edificables o de condiciones restringidas de edificación respecto de terrenos que estuvieron destinados y/u ocupados por actividades generadoras de contaminación, no se encuentra prevista en el precepto que regula la materia, sin que, por otra parte, resulte admisible afirmar lo contrario sobre la base de entender que ello encuentra sustento en la circunstancia de que se trata, en la especie, de terrenos que estuvieron expuestos a los riesgos asociados al funcionamiento de la infraestructura que se menciona en el aludido número 4 del artículo 2.1.17, dado que este precepto, en cuanto permite establecer zonas no edificables o de condiciones restringidas de edificación, es de carácter excepcional y, por ende, debe ser interpretado de manera restrictiva, sin abarcar situaciones que no estén expresamente reguladas en él.”

¹⁷ Véase artículo 10 letra o) de la Ley 19.300 en relación al artículo 3 letra o.11 del Decreto Supremo N°40 (30/10/2012) del Ministerio de Medio Ambiente, este último en particular señala que deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental los proyectos de “Reparación o recuperación de áreas que contengan contaminantes, que abraquen, en conjunto, una superficie igual o superior a 10,000m².

²⁰ O.G.U.C Artículo 2.1.10, Nº 3 “Ordenanza Local, que fijará las normas urbanísticas propias de este nivel de planificación territorial, relativas a:

a) El límite urbano de sus centros poblados.

b) Las vías estructurantes de la comuna en relación a las vías colectoras y de servicio, con sus respectivos anchos mínimos, líneas de edificación y franjas sujetas a expropiación; como, asimismo, los anchos de las vías expresas y troncales si éstas hubieran sido definidas en la planificación regional o intercomunal en su caso.

c) Zonificación o definición de subzonas en que se dividirá la comuna, en base a algunas de las siguientes normas urbanísticas: usos de suelo, sistemas de agrupamiento de las edificaciones, coeficientes de constructibilidad, coeficientes de ocupación de suelo o de los pisos superiores, alturas máximas de edificación, adosamientos, distanciamientos mínimos a los medianeros, antejardines, ochavos y rasantes; superficie de subdivisión predial mínima; densidades máximas, alturas de cierros, exigencias de estacionamientos según destino de las edificaciones; áreas de riesgo o de protección, señalando las condiciones o prevenciones que se deberán cumplir en cada caso, conforme a los artículos 2.1.17. y 2.1.18. de este mismo Capítulo.” (El destacado es nuestro).

²¹ En efecto, el artículo 1.1.3 de la OGUC señala que las solicitudes de aprobaciones o permisos presentadas ante las Direcciones de Obras Municipales serán evaluadas y resultas conforme a las normas vigentes en la fecha de su ingreso. En este sentido, el inciso noveno del artículo 116 de la LGUC establece que “el anteproyecto aprobado mantendrá su vigencia respecto de todas las condiciones urbanísticas del instrumento de planificación territorial respectivo y las normas de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones consideradas en aquél y con las que se hubiere aprobado, para los efectos de la obtención del permiso correspondiente, durante el plazo que determina la misma Ordenanza”. Por su parte la OGUC, establece que el plazo de vigencia del anteproyecto aprobado será de 180 días por regla general y en ciertos casos específicos que la norma enumera, de 1 año .

El permiso de edificación, de acuerdo al artículo 14.17 de la OGUC, mantiene vigentes para la edificación las normas urbanísticas de acuerdo a las cuales éste se otorgó, y caducará automáticamente sólo en el evento que dentro de ese plazo las obras no se hubieren iniciado o éstas hubieren permanecido paralizadas durante el mismo lapso. Luego agrega que “una obra se entenderá iniciada una vez realizados los trazados y comenzadas las excavaciones contempladas en los planos del proyecto” . Así, las edificaciones terminadas y aquellos proyectos que cuenten con anteproyecto aprobado y/o permiso de edificación vigente, no podrán ser afectadas por las restricciones impuestas en los correspondientes IPT.

razón del decreto de la suma, por el que se modifica el decreto Nº47, de 1992, de ese Ministerio, que aprueba la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y cumple con hacer presente que entiende, de acuerdo a los antecedentes adjuntos -en particular, de lo indicado en la Minuta Nº473, de 2009, de la Subsecretaría de esa Cartera, dirigida a esta Entidad de Control-, que la referencia que se efectúa a las “áreas de riesgo”, en el Nº3 de la letra c), del artículo 2.1.10. de la aludida Ordenanza, debe entenderse efectuada a las “áreas restringidas al desarrollo urbano”, de acuerdo con la modificación que el presente decreto introduce al artículo 2.1.17, del mismo cuerpo reglamentario.”De esta forma, las áreas de riesgo se agregaron a aquellas menciones que deben ser reguladas por la Ordenanza Local del PRC bajo en el artículo 2.1.10 de la OGUC, bajo el Nº3 letra c)²⁰.

Así, sería posible introducir una nueva área de riesgo previo estudio fundado, la que se tramitará como modificación al PRC o IPT que corresponda.

Se debe tener presente que la modificación al IPT no afectará las edificaciones existentes en la zona, ni aquellos anteproyectos y permisos de edificación aprobados que se encuentren vigentes, es decir, no caducados, y que autoricen la edificación contraria a la restricción establecida en el IPT como área de riesgo. Esto se debe a que la LGUC y la OGUC establecen que el anteproyecto y/o permiso de edificación aprobado congela las normas urbanísticas conforme a las cuales se hubiese aprobado el proyecto o anteproyecto, que son aquellas vigentes a la época de la solicitud²¹.

Por otra parte, no es necesario que bajo el artículo 2.1.17 de la OGUC se señale expresamente la situación de “contaminación” como habilitante del área de riesgo, toda vez que la hipótesis del numeral cuarto es amplia, a saber: “zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana”.

En un sentido análogo, podemos encontrar la DDU 269, Circular Ord. Nº 0350, de fecha 18 de junio de 2014, la que instruye a los Municipios que incorporen el Riesgo por Amenaza de Incendio en la formulación y/o modificación de sus respectivos Planes Reguladores Comunales, así como también a las Secretarías Regionales del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, para efectos de la formulación y/o modificación de Planes Reguladores Intercomunales.

La circular establece que:

“habiéndose identificado un riesgo en el correspondiente estudio fundado, dicho riesgo podrá ser incorporado al respectivo plan regulador mediante la definición de un área de riesgo (. . .).

En este mismo orden de ideas, cabe indicar que el artículo 2.1.17 de la OGUC, en su séptimo y último inciso, define las características en función de las cuales se determinan las áreas de riesgo, incluyendo entre éstas las ‘zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana’.

Respecto de lo anterior es menester señalar que, en el contexto del desarrollo urbano – materia regulada por los instrumentos de planificación territorial – el riesgo por incendio corresponde eminentemente a un riesgo generado por la actividad o intervención humana, y en consecuencia, para su incorporación a los planes reguladores intercomunales y/o comunales deberá ser considerado como tal”.

Los instrumentos de planificación territorial son los llamados a reconocer como áreas de riesgo, y por tanto restringidas al desarrollo urbano, ciertas zonas que presentan riesgos generados por la actividad humana.

Siguiendo dicha línea, la Resolución Nº 30 de 2019, del Gobierno Regional de Atacama que “PROMULGA ‘ACTUALIZACIÓN DEL PLAN REGULADOR INTERCOMUNAL COSTERO DE ATACAMA (APRICOST)’ DE LAS COMUNAS DE CHAÑARAL, CALDERA, COPIAPÓ, HUASCO Y FREIRINA”²² recoge lo que hemos venido planteando. Cabe hacer presente que el APRICOST promulgado por dicha resolución fue publicado en el Diario Oficial el 27 de agosto de 2019.

Dicho plan, establece en el Capítulo 5.2, de Normas Urbanísticas Supletorias del Nivel Comunal en Áreas de Riesgo, las Restringidas al Desarrollo Urbano, la categoría de zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana ZRN-1, que las definió de la siguiente forma: “Las zonas o terrenos con riesgos generados por actividad o intervención humana emplazados al interior de los límites urbanos del plan las disposiciones que se establecen una vez que se cumplan los requisitos establecidos en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones son los siguientes:

a) Usos de suelo permitido

Espacio Público: Trazados viales y destinos complementarios.

Área Verde y edificaciones con destinos complementarios al área verde.

b) Usos de suelo Prohibidos Todos los no indicados precedentemente”.

Consecuentemente, en dichas zonas, sólo se permiten los usos de suelo Espacio Público (trazados viales y destinos complementarios) y Área Verde y edificaciones con destinos complementarios a área verde, encontrándose prohibidos todos los demás usos de suelo. Este es un claro ejemplo en que se ha considerado el potencial riesgo de antiguas actividades mineras que pudieren afectar un futuro asentamiento humano, lo que justificó restringir el desarrollo urbano en zonas que no cuentan aún con construcciones.

En consecuencia, el establecimiento de un área de riesgo en los sectores periurbanos que no cuentan con construcciones es una herramienta que nos permitiría evitar enfermedades o daños futuros a la salud de la población que eventualmente podría asentarse en esos sectores. A estos efectos, los resultados que arrojen los estudios de calidad de suelo de Copiapó pueden servir de base al estudio fundado que, de acuerdo a la ley, se requiere para poder restringir el desarrollo urbano en las zonas contaminadas.

²² Resolución Nº 30, del 27 de agosto de 2019, Gobierno Regional de Atacama, disponible en <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1135392> (última vez visitada el 20.07.2022).

6.3 Evaluación ambiental estratégica

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) es un instrumento que permite entregar una visión ambiental y desde los distintos sectores de la administración del Estado, en etapas tempranas de tomas de decisiones. En nuestro país se encuentra regulada en la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y en Decreto Supremo N° 32 de fecha 17 de agosto de 2015, que aprobó su Reglamento.

La mencionada Ley la define como “el procedimiento realizado por el Ministerio sectorial respectivo, para que se incorporen las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable, al proceso de formulación de las políticas y planes de carácter normativo general, que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la dictación de la respectiva política y plan, y sus modificaciones sustanciales”²³, estableciéndola como obligatoria para los planes reguladores intercomunales, planes reguladores comunales, entre otros instrumentos.

Por su parte, la Guía de Orientación para el Uso de EAE en Chile, del Ministerio del Medio Ambiente, define la EAE como “un proceso sistemático, continuo y participativo que integra las consideraciones ambientales y de sustentabilidad en la formulación de decisiones estratégicas. En ese marco son relevantes la conservación del patrimonio natural y cultural, la calidad ambiental, el uso sustentable de los recursos naturales, la **promoción del bienestar humano y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas**”²⁴, cuestión ciertamente ligada al tema que nos ocupa.

El procedimiento y aprobación del instrumento estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el Gobierno Regional o el Municipio o “cualquier otro organismo de la Administración del Estado”²⁵, pero deben incorporarse en el proceso otras instituciones del Estado cuyos ámbitos de acción sean relevantes para el plan que se esté elaborando de modo de “garantizar la actuación coordinada de las entidades públicas involucradas en los proyectos afectos en la política o plan”²⁶.

De este modo en el contexto del proceso de EAE de un IPT se permitiría a los demás sectores no sólo presentar los antecedentes técnicos que pudiesen servir de base a una memoria explicativa para establecer zonas de riesgo, sino que también por su amplitud, transversalidad y objetivos permitiría que las calidades de suelo de que se tengan antecedentes puedan considerarse al definir los usos de suelo.

Estimamos que la introducción de la EAE permite evaluar consideraciones ambientales y posibles riesgos para la salud de la población, como elementos a considerar en la elaboración o revisión de un determinado IPT.

En cuanto a los nuevos IPT, estos siempre deben ser sometidos a EAE por lo cual las consideraciones ambientales, entre ellas las calidades de suelo y otras que se tengan, pueden y debieran ser siempre consideradas.

Sin embargo, existe un problema en el caso de las modificaciones a los IPT, puesto que el Reglamento de EAE, en su Párrafo 4º, artículo 29²⁷, establece qué debe entenderse por modificaciones sustanciales respecto de cada instrumento de planificación, para los efectos de someterla o no a EAE, no encontrándose dentro de dicha hipótesis las “áreas de

riesgo” ni para los Planes Reguladores Intercomunales o Metropolitanos ni para los casos de los Planes Reguladores Comunal o Seccional.

De acuerdo a la enumeración anterior, el establecimiento de un área de riesgo que limite el futuro asentamiento con fines residenciales no es considerada una modificación sustancial del Plan Regulador Comunal y, por lo tanto, de acuerdo al Reglamento de la EAE vigente, dicha modificación al PRC no debería pasar por EAE²⁸.

6.4 Planificación urbana y normas

6.4.1 ¿Normas de calidad ambiental o normas de uso?

La dictación de normas para proteger la exposición de personas a suelos contaminados es, sin duda, un aporte, facilitando los procesos de toma de decisiones en el campo de la planificación urbana y en el SEIA. Sin embargo, la decisión de enfocarse únicamente en las normas de calidad ambiental nos parece un despropósito, por las razones que desarrollamos a continuación, sin por ello desconocer que son una herramienta que aporta en este sentido.

6.4.1.1 Normas de calidad de suelo

La Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en su artículo 2º letra n) y ñ), define los dos tipos de normas ambientales. Por una parte, la norma primaria de calidad ambiental, como “aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el medio ambiente puede constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”, y, por otra, la norma secundaria de calidad ambiental: “aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza”.²⁹

Es claro que en el caso de suelos contaminados en zonas urbanas o en zonas de asentamiento humano actual o eventual, lo que nos ocupa es la existencia de normas primarias de calidad de suelo.

Al revisar la normativa ambiental, en lo que nos interesa, es posible evidenciar que:

- a. En relación a las normas de calidad ambiental:** hace varios años contamos con normas primarias de calidad ambiental, como por ejemplo, el Decreto N°59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que “*Establece normas de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia*”; el Decreto N°136/2000³⁰ del mismo Ministerio, que “*Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire*”; o el Decreto N°143/2008³¹ del mismo organismo, que “*Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo*”, entre otros. Sin embargo, ninguna de dichas normas regula suelos, ellas regulan calidad del agua y aire.

- b. En relación a normas de suelo:** corresponden a regulaciones sectoriales y

²⁸ Sin embargo, a diferencia de las buenas prácticas internacionales, como la Directiva de la Unión Europea sobre evaluación ambiental estratégica (2001/42/EC), no existe una lista de planes y políticas sectoriales que deban someterse a la EAE. Si bien las EAE aumentaron de manera sustancial a partir de 2011, solo 95 de los 235 planes territoriales elaborados en 2011-2015 pasaron por este proceso. Además, existe escasa evidencia de que las EAE hayan contribuido de manera significativa a modificar los planes de desarrollo territorial a fin de mitigar mejor los problemas ambientales en las zonas urbanas (OCDE, 2013). La planificación de la vivienda y la infraestructura tiene todavía una limitada integración con las inversiones públicas en los servicios de agua y gestión de residuos, y no toma en cuenta la protección de la naturaleza.

²⁹ Igual definición encontramos en los artículos.

³⁰ Publicado el 6 de enero de 2001.

³¹ Publicado el 27 de marzo de 2009.

²³ Ley 19.300, artículo 2 letra i) bis.

²⁴ Guía de orientación para el uso de la evaluación ambiental estratégica en Chile, Ministerio del Medioambiente, diciembre de 2015, p. 10.

²⁵ Ley 19.300, artículo 7 bis inciso segundo.

²⁶ Ley 19.300, artículo 7 bis inciso cuarto.

²⁷ DECRETO SUPREMO N° 32 (17/08/2015) del Ministerio de Medio Ambiente.

tienen como objetivo principal, proteger el suelo desde su uso silvoagropecuaria. Estas normas centran su regulación en la conservación de los suelos degradados, evitando así la pérdida de su capacidad productiva. Dentro de ellas encontramos, la Ley 20.551 que regula el cierre de faenas mineras, la Ley 20.412 que establece un sistema de incentivos para contribuir a la sustentabilidad agroambiental del recurso suelo, recuperando su potencial productivo, el Decreto Ley N° 3557 de 1980, que Establece Disposiciones Sobre Protección Agrícola, el D.F.L. 235 de 1999, del Ministerio de Agricultura que establece un sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados, entre otros.

En cuanto a la posible creación de normas primarias de calidad en materia de suelos, ya en el año 2010 mediante la Resolución Exenta N° 285, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente, de fecha 24 de marzo de ese año, se formalizó el Acuerdo N° 420 en virtud del cual se aprobó el Programa Estratégico de Normas 2007-2009, estableciendo entre las normas a priorizar para el Programa Estratégico “f) Norma Primaria de Calidad para suelos.”

En este contexto, en el año 2011 Ingeniería Alemana S.A. elaboró un informe denominado “Preparación de antecedentes para la elaboración de una norma de calidad primaria de suelos”, informe que dio paso a distintas iniciativas, tanto en el sector público como privado, que permitieron impulsar y avanzar el desarrollo de la problemática de suelos contaminados.

Si bien la Resolución Exenta N° 440, del Ministerio del Medio Ambiente, de fecha 2 de junio de 2020, que Establece Programa de Regulación Ambiental 2020-2021, en el Título IV Economía circular, residuos, suelo, sustancias químicas y evaluación de riesgo ambiental, establece en la sección Criterios de Sustentabilidad que *“La priorización de políticas, planes e instrumentos de gestión ambiental en materia de economía circular, residuos, suelos, sustancias químicas y evaluación de riesgo ambiental responderá a los siguientes criterios de sustentabilidad: avanzar en un trabajo con reglas y procedimientos claros y consensuados, que permita adoptar las medidas necesarias para que el manejo de los residuos, incluyendo sus movimientos transfronterizos y sus operaciones de valorización y eliminación, sean compatibles con la protección de la salud humana y del medio ambiente, considerando el cumplimiento de los compromisos internacionales suscritos; el establecimiento de procedimientos para obtener certificaciones, rótulos y eco etiquetas respecto de tecnologías, procesos, productos, bienes, servicios o actividades, que permitan apoyar la toma de decisión y la información al consumidor; contribuir a la disminución progresiva de los riesgos ambientales asociados a la manipulación y/o manejo de las sustancias químicas, a través de todo su ciclo de vida, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud de las personas; y avanzar un trabajo para la sostenibilidad ambiental del suelo relacionado con la gestión de los suelos con potencial presencia de contaminantes, mediante la implementación de acciones de evaluación y gestión de sus riesgos ambientales”*. El instrumento parece quedarse en una etapa previa a la regulación entendida como la dictación propiamente tal de una norma de calidad para suelos.

La pregunta que surge aquí es si la utilización de normas de calidad ambiental de suelos para el problema de los suelos contaminados es la medida más eficiente y realista. Si bien compartimos la idea que el establecimiento de parámetros claros que pudiesen

estar establecidos en una norma de calidad sería de gran utilidad para tomar decisiones de política pública (v.g. creación de nuevas urbanizaciones de viviendas sociales, modificación de instrumentos de planificación territorial) como decisiones de inversión privada, creemos que dicho fin se logra estableciendo normas de uso del suelo a través de una norma sectorial ambiental que repercuta y mandate a los IPT y en las áreas no reguladas por éste que deban considerarse al momento de evaluar ambientalmente un proyecto o al de solicitar el permiso ante la Dirección de Obras Municipales (DOM).

Recordemos que las normas de calidad tienen como instrumento para el logro del mantenimiento o vuelta a cumplir de sus parámetros los planes de prevención y descontaminación. Estos instrumentos para ser operativos requieren de la dictación de una zona latente o saturada, según sea el caso, y luego de la elaboración de un plan. Ello puede demorar años. Sin embargo, pueden resultar de importancia para hacerse cargo de situaciones actuales de exposición, como, por ejemplo, en las áreas residenciales.

En efecto, de la revisión de los expedientes de aprobación y estado de avance de los planes de prevención y descontaminación, es posible advertir que existen pendientes algunos procesos de dictación de planes iniciados hace más de cinco años³².

De todas formas, esto representa un avance en relación al panorama que se podía observar en la Tabla Pública de Avance de los Planes de los años 2017 y 2015 en la cual se evidenciaban procesos de entre dos años y medio hasta caso once años de tramitación.

Volviendo un poco atrás, es importante señalar que la declaratoria de zona produce un efecto importante desde el punto de vista puramente ambiental, pues obligaría a los proyectos industriales e inmobiliarios a ingresar al SEIA, según lo mandata el artículo 3 letra h) de la Ley 19.300³³ y 3 letra h) del DS N°40/2012 del Ministerio de Medio Ambiente³⁴. Sin embargo, vemos en la práctica sus alcances muy limitados. En primer lugar, dada la magnitud de los proyectos, quedan la mayoría de las situaciones fuera de la obligación de ingreso. Así, por ejemplo, en el caso de proyectos inmobiliarios que se desarrollen en áreas urba-

³² https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tipo_norma=planes. Última vez revisado el 14 de mayo de 2022.

³³ Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

³⁴ Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

nas se requiere que se emplacen en una superficie igual o superior a siete hectáreas, o la construcción de trescientas o más viviendas, o edificios de uso público con capacidad de cinco mil personas o más, o una cantidad igual o superior a mil estacionamientos, etc. En el caso de proyectos industriales, requieren de una superficie igual o mayor de veinte hectáreas, entre otros³⁵.

Además, que requeriría, de la dictación tal vez, de muchas zonas y luego del mismo número de planes, al ser el tema de suelo sitio específico, con menor grado de dispersión que el caso del aire y del agua.

6.4.1.2 Normas de uso

La naturaleza del componente suelo parece requerir de normas de uso. Si bien las normas de calidad, en el caso del agua y en el caso del anteproyecto de la norma de suelo, propuesto en el Informe Final de Preparación de Antecedentes para la Elaboración de la “Norma de Calidad Primaria de Suelos”³⁶, presentan el enfoque desde el uso, el hecho que el asunto de la contaminación del suelo afecta a un sitio específico, como también una serie de consideraciones como las señaladas anteriormente, llevan a pensar que otras opciones puedan ser más ventajosas desde el punto de vista de los principios de eficiencia y eficacia que debe regir los actos de la administración pública tal como lo mandata la Ley 18.57³⁷. Veamos algunos de esos aspectos:

- 1. Enfoque preventivo: la existencia de una norma de usos, permite afrontar la situación previamente a que se hubiese producido el problema, como medida de diseño.
- 2. Reconoce que esta norma se refiere al uso que se haga el suelo y que por tanto los niveles varían según los diferentes usos (v.g. residencial, áreas verdes, industrial).
- 3. Pueden acoplarse de mejor forma a las normas que zonifican el territorio y en los casos que no existan IPT o en las áreas rurales de éstos, poder considerarse en el “Informe favorable para la construcción”, que antes correspondía al “cambio de uso de suelo” a que se refiere el artículo 55 de la LGUC.
- 4. Puede ser exigida directamente al particular.

Las normas de calidad son normas que obligan a la gestión de las entidades públicas.

5. Mayor rapidez para su dictación. Estimamos que el Instituto Nacional de Normalización³⁸ puede ser el ente encargado de su dictación, por medio las Normas Chilenas, cuyos valores propondrá al Ministerio respectivo, el cual debe oficializarlas y luego el Presidente de la República debe incorporarlas a una Decreto Supremo de modo que tengan fuerza obligatoria para los particulares.

En este contexto, proponemos:

- a. Oficialización conjunta del Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Salud y Ministerio de Vivienda.
- b. Incorporación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), utilizando -en lo que corresponde- la nomenclatura que establece dicha regulación, en su artículo 2.1.24, a saber: i) Residencial; ii) Equipamiento; iii) Actividad Productiva; iv) Infraestructura; v) Espacio Público; vi) Área Verde. Estimamos que, dado el objetivo de protección de la salud, es relevante la existencia de normas de uso referidas a los descriptores: i) Residencial y; ii) Áreas Verdes/Espacios Públicos, y no así del resto. Debe cuidarse de no sobre regular en casos innecesarios y sin mediar las consecuencias como sería el caso de actividades productivas (v.g. actividad minera en el Norte del país) o infraestructura.

La incorporación de los valores a la OGUC sólo soluciona el problema de las áreas reguladas o que pasen a futuro a ser reguladas por un IPT. Para la aplicación obligatoria sobre áreas rurales no incluidas en un IPT se requiere un cambio de la LGUC, que las establezca como un elemento obligatorio en el proceso de obtención de los informes favorables del artículo 55 de la LGUC cuando se realice para fines de residencia, áreas verdes o espacios públicos. No obstante, lo anterior, y en el entendido

³⁵ Específicamente el artículo 10 del D.S. N° 40 (30/10/2012) del Ministerio de Medio Ambiente señala:

“h) Proyectos industriales o inmobiliarios que se ejecuten en zonas declaradas latentes o saturadas.

h.1. Se entenderá por proyectos inmobiliarios aquellos loteos o conjuntos de viviendas que contemplen obras de edificación y/o urbanización, así como los proyectos destinados a equipamiento, y que presenten alguna de las siguientes características:

h.1.1. Que se emplacen en áreas de extensión urbana o en área rural, de acuerdo al instrumento de planificación correspondiente y requieran de sistemas propios de producción y distribución de agua potable y/o de recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas;

h.1.2. Que den lugar a la incorporación al dominio nacional de uso público de vías expresas o troncales;

h.1.3. Que se emplacen en una superficie igual o superior a siete hectáreas (7 ha) o consulten la construcción de trescientas (300) o más viviendas; o

h.1.4. Que consulten la construcción de edificios de uso público con una capacidad para cinco mil (5,000) o más personas o con mil (1,000) o más estacionamientos.

h.2. Se entenderá por proyectos industriales aquellas urbanizaciones y/o loteos con destino industrial de una superficie igual o mayor a veinte hectáreas (20 ha); o aquellas instalaciones

industriales que generen una emisión diaria esperada de algún contaminante causante de la saturación o latencia de la zona, producido o generado por alguna(s) fuente(s) del proyecto o actividad, igual o superior al cinco por ciento (5%) de la emisión diaria total estimada de ese contaminante en la zona declarada latente o saturada, para ese tipo de fuente(s)”.

³⁶ Informe preparado por Ingeniería Alemana S.A., por encargo del Ministerio del Medio Ambiente, de fecha julio de 2011.

³⁷ DFL N°1/19.653 (17/11/2001), Fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N° 18.575, orgánica constitucional de bases generales de la administración del Estado.

³⁸ El Instituto Nacional de Normalización (INN), es una fundación de derecho privado sin fines de lucro, creada por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) en el año 1973, como un organismo técnico, que tiene definido dentro de su Política de la Calidad que en el ámbito de su competencia debe contribuir al fortalecimiento de los componentes de la calidad, priorizando aquellas actividades que promuevan el desarrollo de la competitividad entre los diversos sectores productivos y la calidad de vida de la sociedad, con énfasis en aquellos sectores priorizados por las políticas públicas. A mayor abundamiento, cabe destacar que, en 2015, a través de la Resolución Exenta N°618 de la Superintendencia del Medioambiente, se aprobó el convenio de colaboración entre el INN y esa superintendencia, con miras a la necesidad de avanzar en la estandarización de los procesos de medición, análisis, inspección y verificación y en la certificación de conformidad a los instrumentos de carácter ambiental de competencia de la Superintendencia del Medio Ambiente.

que una modificación a la LGUC puede demorar bastante, es importa recordar y hacer presente que, desde el punto de vista de política pública, son las áreas reguladas por un IPT los que concentran la mayor cantidad de población.

6. No excluye la posibilidad que en el futuro se dicten normas de calidad, para las cuales estas normas serán un referente importante. Se valora como positiva su existencia, sobre todo pues a través de los planes de descontaminación se puede hacer frente a situaciones actuales de residencias ubicadas sobre suelos contaminados.

6.4.2 Decreto de emergencia sanitaria

Sólo a modo de mención, hacemos presente que la dictación de un decreto de emergencia sanitaria, que es regulado en el Código Sanitario, es también una herramienta existente y que se ha utilizado en nuestro país. En efecto, esta normativa prevé la posibilidad que ante situaciones de emergencia que signifiquen grave riesgo para la salud o la vida de los habitantes, el Presidente de la República, previo informe del Servicio Nacional de Salud, otorgue al Director General facultades extraordinarias para la propagación del mal o enfrentar la emergencia³⁹, tal como ha ocurrido recientemente con la pandemia por Covid-19.

Existen diversos casos de decretos de emergencia sanitaria por contaminación⁴⁰, los que obedecen a distintos tipos de emergencia, algunas provocadas por desastres naturales, otras por enfermedad o epidemias. En ellos se establecen diversas medidas de acción, de implementación urgente, sin embargo, transitoria.

Considerando el problema de presencia de contaminantes de Copiapó y teniendo especialmente presente que dicha situación se ha mantenido durante años y la existencia de suelos naturalmente enriquecidos por metales, no parece adecuado el uso de un instrumento de emergencia, naturalmente transitorio, salvo que existiera una situación particular que agrave y/o extreme el riesgo urgente para la salud de la población.

7 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan en la primera subsección las conclusiones técnicas de esta investigación para luego presentar las propuestas y proyecciones para Copiapó en base a estos resultados.

7.1 Conclusiones técnicas

Durante el desarrollo de este proyecto CEDEUS realizó un diagnóstico del enriquecimiento urbano y periurbano de metales. Y también evaluó como estos factores influyen en la planificación urbana por medio del efecto en la salud de la población. A continuación, se indican las principales conclusiones obtenidas en este proyecto.

1. Las normas de Canadá son amplia y numerosamente superadas por las concentraciones de metales en suelos y polvos de calles de Copiapó, en especial en metales como el arsénico y cobre (Tabla 7-1). Al comparar con normas generalmente menos restrictivas (Brasil) la superación de los valores de referencia disminuye, pero aun así existen casos de superación. La única referencia a nivel nacional es el caso de Polimetales de Arica, en el

que se establecieron valores de metales para establecer acciones por parte de la autoridad sanitaria regional, con los que se compararon las concentraciones medidas. Se observa que la **concentración de arsénico es superada en numerosas ocasiones dentro de la ciudad, tanto en suelos como en polvo de calles**. Por el contrario, el **nivel de plomo permitido es solo superado en un suelo obtenido en la plaza Colipi** ubicada a pasos del centro de Copiapó.

Elemento	Número de muestras que superan valores de referencia					
	Canadá		Brasil		Polimetales Arica	
	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo	Polvo	Suelo
Arsénico	64/71	41/42	3/71	2/42	29/71	26/42
Cobalto	2/71	2/42	1/71	1/42	-	-
Cobre	71/71	39/42	5/71	1/42	-	-
Mercurio	1/71	1/42	4/71	21/42	-	-
Plomo	6/71	1/42	0/71	1/42	0/71	1/42

Tabla 7-1: Número de muestras de polvos de calle y suelos que superan valores de referencia para sectores residenciales.

2. El estudio de las concentraciones de metales y el cálculo del coeficiente de riesgo para cada una de estas muestras indica cuáles tienen el potencial de generar un potencial daño a la salud de la población si el material es ingerido por el público más vulnerable, es decir, niños y niñas menores a 6 años. En el caso de estudio (a pesar de ser una estimación conservadora); **el arsénico, el cobalto y el cobre en algunos de los suelos y polvos de calle, son metales con el potencial de producir consecuencias a largo plazo en la salud poblacional**.

3. En una evaluación generalizada para la ciudad el coeficiente de riesgo (HQ) para el arsénico en suelos y polvos es mayor a uno. En el caso del cobalto el HQ es mayor a uno solo en los suelos de la ciudad. Por último, el cobre no presenta potenciales consecuencias para la salud ni en suelos ni en polvos de calles. Estos resultados implican que **para la ciudad a nivel general existen potenciales consecuencia para la salud debido al arsénico en suelos y polvos de calle y debido al cobalto en los suelos de Copiapó**.

4. Nuestro estudio de riesgos sobre la salud es preliminar, pero tiene la ventaja de obtener un **resultado rápido que servirá para definir líneas de acción y para enfocar futuros estudios** que complementen nuestro conocimiento sobre los impactos en salud poblacional por el deterioro del ambiente. En este estudio se **consideró solo la ingesta de material enriquecido como vía de exposición siendo que existen además otras como la inhalación, el contacto dérmico, la ingesta a través del agua o alimentos producidos localmente**. Por otro lado, el tamaño de partículas utilizado es mayor al recomendado internacionalmente, generando una estimación aún más conservadora del riesgo. A pesar de lo anterior, se identificaron metales que presentan un riesgo potencial para la salud de la población. En futuros estudios deben **incluirse otros metales** no

³⁹ Artículo 36°. - “Cuando una parte del territorio se viere amenazada o invadida por una epidemia o por un aumento notable de alguna enfermedad, o cuando se produjeran emergencias que signifiquen grave riesgo para la salud o la vida de los habitantes, podrá el Presidente de la República, previo informe del Servicio Nacional de Salud, otorgar al Director General facultades extraordinarias para evitar la propagación del mal o enfrentar la emergencia”. Asimismo, el artículo 10 del mismo cuerpo legal establece que en casos de emergencia, el Servicio Nacional de Salud podrá contratar, por períodos transitorios, personal. Así como las normas indicadas, existen otras facultades establecidas en el Código Sanitario, para casos de emergencia, las que son citadas en cada caso, por el correspondiente Decreto de Emergencia Sanitaria.

⁴⁰ Así, por ejemplo, el Decreto Supremo N° 13 (22/04/2016) del Ministerio de Salud que Decreta Alerta Sanitaria en razón de los niveles de MP 25 que afectaba a varias comunas del país.

abordados en este estudio debido a limitaciones técnicas; **el mercurio es un metal de interés debido a su alta relación con los antiguos procesos mineros como también por su toxicidad para el ser humano.**

5. Mediante el estudio de los suelos de los sectores periurbanos de Copiapó se obtuvieron valores representativos de las concentraciones de metales de la zona (Tabla 7-2). La comparación con estudios internacionales ha demostrado que la zona periurbana de Copiapó posee naturalmente altos niveles de cobre, hierro, manganeso y zinc. Situación que concuerda con la presencia de múltiples yacimientos minerales en los alrededores de Copiapó, que propician concentraciones naturalmente elevadas frente a la situación natural de otros países.

Valores background (mg/kg)		
Elemento	Símbolo	Copiapó
Aluminio	Al	23,251
Arsénico	As	30
Cobalto	Co	22
Cromo	Cr	31
Cobre	Cu	223
Hierro	Fe	47,997
Mercurio	Hg	0.21
Manganeso	Mn	1,068
Níquel	Ni	20
Plomo	Pb	22
Titanio	Ti	2,102
Vanadio	V	150
Zinc	Zn	195

Tabla 7-2. Valores background estimados para Copiapó. Fuente: Elaborado en base a Moya (2017).

6. Las condiciones naturales de la zona periurbana de Copiapó superan en numerosas ocasiones las concentraciones de arsénico permitidas por Canadá y Brasil para zonas residenciales. Es importante destacar que 40 de las 59 muestras obtenidas poseen **concentraciones de arsénico sobre los niveles de referencia establecidos para el caso de Polimetales de Arica.** Se demostró que parte del enriquecimiento de este metal en las zonas naturales, es debido al amplio **efecto de la fundición de cobre sobre toda la región;** y que a través de la deposición atmosférica ha enriquecido los suelos tanto naturales como urbanos.

7. Los factores de enriquecimiento (EF) demuestran que, a pesar de **descartar los altos aportes de metales originados de forma natural, aún existen dentro de la zona urbana enriquecimientos significativos en metales como el arsénico, cobre, mercurio y plomo;** cuatro metales relacionados a fuentes de origen antropogénico y más en específico a las

actividades mineras. De la misma manera, **los factores de enriquecimiento son mayores en las cercanías a las fuentes de metales** como lo son los relaves de la minería del cobre.

8. Se establecieron e identificaron **cinco zonas urbanas priorizadas para futuros estudios,** zonas ubicadas dentro del perímetro urbano de Copiapó. Estas zonas se definieron en base a los factores de enriquecimientos del sector, los sitios donde el coeficiente de riesgo superaba a uno indicando un potencial problema para la salud y por último la ubicación con respecto a relaves de potencial riesgo. **Las cinco zonas poseen enriquecimientos de mercurio,** siendo este un metal de origen antropogénico presente en toda la ciudad. Por otro lado, el **arsénico y el cobalto** presentan coeficientes de riesgo mayores a uno en todas las zonas, indicando que existen las concentraciones de estos elementos se encuentran **sobre el umbral de riesgo sugiriendo que puede existir riesgo para la salud de la población para estos dos metales.** Dentro de las zonas se destacan las áreas B y C, **centro de la ciudad y población El Palomar,** respectivamente, que corresponden a zonas residenciales donde existe una mayor exposición y riesgo a la salud.

9. Con el modelo de receptor utilizado (Matriz de Factorización Positiva) se identificó el origen del enriquecimiento de metales en los suelos y polvos de calles de la ciudad. **Se identificaron seis fuentes responsables de aportar elementos a la ciudad** una de estas fuentes es de origen natural y otras tres son de origen minero. Las fuentes identificadas fueron **los relaves ricos en mercurio, los relaves de la minería del cobre, los procesos mineros, el tráfico, las prácticas agrícolas y el aporte natural de la región.**

En los polvos de calles los **procesos mineros aportan el 88% del cobre, 48% del arsénico, 43% del zinc y 9% del plomo,** con **mayor efecto en las zonas industriales y mineras de la ciudad. Los relaves ricos en mercurio aportan 88% del mercurio, 8% del plomo y 5% del arsénico;** sus aportes se concentran en las **zonas cercanas a los relaves con alto contenido de Hg, principalmente el relave Ojancos y Santa blanca.** Relaves ubicados cerca del centro de la ciudad y en la zona agrícola de San Fernando, respectivamente. **Los relaves de la minería del cobre aportan 65% del vanadio, 60% del hierro, 33% del cromo, 16% del arsénico, 11% del calcio y 5% del cobre;** existe un aporte **generalizado de esta fuente en toda la ciudad, pero los mayores aportes se centran en los sectores con mayor densidad de relaves,** en la zona agrícola e industrial al sur de la ciudad.

10. La falta de normas de calidad de suelos en Chile no obsta a poder determinar que existen antecedentes suficientes para establecer un efecto de las concentraciones de metales en el ambiente urbano sobre la salud de la población, existiendo así un potencial para producir daños a la salud de la población. **El estudio realizado por CEDEUS, los factores de enriquecimiento, los coeficientes de riesgo, la superación de normas internacionales y nacionales, la biodisponibilidad de los metales y la ubicación de los relaves mineros, justifican que en Copiapó existe un potencial riesgo para la salud de la población.**

11. Desde el punto de vista del ordenamiento territorial de las áreas urbanas, existe una **regulación en el contexto de las normas urbanísticas y, en particular, a través de la inclusión en las áreas de riesgo de zonas o terrenos contaminados por riesgos**

generados por actividad humana. Lo anterior permite dar protección a futuras poblaciones, la cual puede **aplicarse sin necesidad de una modificación legal o la necesidad de dictarse una norma de calidad.**

12. Las situaciones de **lugares habitados sobre terrenos contaminados** requieren la utilización de otros mecanismos. En primer lugar, dependiendo de la gravedad, magnitud de la población afectada y características toxicológicas de los elementos involucrados, **el decreto de emergencia sanitaria** puede y debe ser utilizado, a pesar de sus limitaciones. En segundo lugar, **los planes de descontaminación y prevención**, pueden ser un instrumento para cubrir las situaciones de viviendas edificadas en donde se estime que la situación de contaminación no amerita la excepcionalidad del decreto de emergencia sanitaria. **Sin embargo, previo a ello se requiere normas de calidad, declaración de zona saturada o latente, dictación de un plan de prevención o descontaminación. Proceso que implica en el común de los casos años.**

Estimamos que la **situación actual de Copiapó no puede resolverse únicamente a través de la óptica de las normas de calidad ambiental**, existiendo a la fecha instrumentos más efectivos y eficientes para hacerse cargo. En este contexto, *a priori* **no se debe aumentar la construcción de viviendas en las áreas que esta investigación ha definido como áreas prioritarias, sin que antes se realicen evaluaciones de riesgo a la salud, estudios epidemiológicos y de ser necesario intervenciones orientadas a reducir la exposición de las personas.** Dichas intervenciones deben ser de carácter sanitario, ambiental, social y educativo; además de contar con una adecuada evaluación de su impacto ex ante y expost de modo de garantizar la eficacia de las mismas.

7.2 Propuestas y proyecciones

El trabajo realizado por el equipo CEDEUS ha desarrollado temáticas de contaminación urbana como también de planificación territorial, evaluando así la condición ambiental del caso de estudio Copiapó.

A continuación, se presentan propuestas y proyecciones para la ciudad y el país.

1. Se destacan dos propuestas en temas de planificación territorial:

1.1 Incorporar en la elaboración de los futuros IPT y modificaciones a los existentes, los estudios fundados que permitan declarar “áreas de riesgo”, bajo la categoría de “Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana”, cuestión que no requiere modificación en la regulación.

1.2 Incorporar al artículo 29 del Reglamento de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), referente a las hipótesis de modificación sustancial de Instrumentos de Ordenamiento Territorial que gatillan un EAE, una modificación del siguiente tenor:

1.2.1 Incorporar bajo la letra c) referida al Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano, un nuevo numeral, a saber:

“v) Se incorporen nuevas ‘áreas de riesgos’ generados por actividad o intervención humana”.

1.2.2 Incorporar bajo la letra d) referida al Plan Regulador Comunal o Seccional, un nuevo numeral, a saber:

“viii) Se incorporen nuevas ‘áreas de riesgos’ generados por actividad o intervención humana”.

2. Es necesario establecer, a nivel nacional, métodos de muestreo y determinaciones analíticas estandarizadas de suelo. La variabilidad espacial, temporal e intrínseca de las muestras sólidas, como suelos y polvo de calles, es un tema de consideración en este tipo de estudios debido a la alta heterogeneidad propia de estos sistemas ambientales.

3. Diferentes metales pueden ser erróneamente medidos en las muestras sólidas dependiendo del elemento que se busca medir, la preparación de la muestra y el instrumento utilizado, siendo prioritario establecer métodos de medición estandarizados a nivel nacional adecuadas a cada elemento en estudio. Además de la validación de las mediciones y la estandarización de instrumentos, se deben certificar laboratorios que cumplan con estas condiciones para tener a nivel nacional estudios con condiciones y calidad similares, y comparables.

4. Para la elaboración de los estudios técnicos que requieren establecer las áreas de riesgo, resulta relevante primero realizar un diagnóstico del contenido de metales en los suelos y polvos de calles de la ciudad. Con esta información estimar el riesgo a la salud de manera preliminar y así establecer áreas prioritarias para futuros estudios focalizados en estos sectores. Otra herramienta de utilidad es el modelo de receptor utilizado por CEDEUS que permite identificar las fuentes que contaminan la ciudad y con esto establecer prioridades de intervención en las fuentes, como también proyectar cómo estas fuentes afectarán la condición de la ciudad en el futuro.

5. Se necesita establecer prioridades de intervención para las fuentes de contaminación presentes en la ciudad, entre ellas los relaves urbanos, que presentan un potencial riesgo a la salud para la población. Potenciales soluciones de intervención en los relaves mineros pueden encontrarse en nuevas tecnologías para la reutilización de estos residuos.

6. Es necesario el desarrollo de normas de calidad de suelos que permita discriminar entre muestras o zonas que presenten riesgos para la salud de la población. En el desarrollo de estas normas debe considerarse la geología del país y evaluar los niveles naturales de metales para definir así los niveles base o *background* para las distintas zonas de Chile.

7. Chile cuenta con un registro de normas de referencia que estima aplicables para efectos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: <http://sea.gob.cl/documentacion/normas-de-calidad-y-valores-referenciales>. En este contexto, mientras no se elaboren las normas propias para nuestro país, pueden utilizarse las mencionadas por el Servicio de Evaluación Ambiental.

8. Sugerimos la elaboración de normas de usos al alero del INN, que luego pue-

dan ser recogidas en la OGUC y referenciadas a los usos: residencial, áreas verdes y espacios públicos.

9. La elaboración de normas de calidad ambiental es una situación deseable. Sin embargo, no es aconsejable versar toda la acción pública en la elaboración de estas normas. Debido a: (1) su elaboración demora mucho tiempo, y lo mismo ocurre con la declaración de zonas saturadas o latentes y con la dictación de los planes de prevención y descontaminación; (2) la limitación del alcance de estos instrumentos de gestión ambiental; y (3) la existencia de instrumentos al alero de la planificación urbana más útiles para prevenir futuras áreas residenciales en terrenos contaminados.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, J. A., Faz, A., Kalbitz, K., Jansen, B., & Martínez-Martínez, S. (2014). *Partitioning of heavy metals over different chemical fraction in street dust of Murcia (Spain) as a basis for risk assessment.* Journal of Geochemical Exploration, 144(PB), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.02.004>

Aksoy, H., & Kavvas, M. L. (2005). *A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models.* Catena, 64(2–3), 247–271. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.08.008>

ATSDR. (2005). *Public Health Assessment Guidance Manual (Update).* U.S. Department of Health and Human Services Public, ATSDR [Agency for Toxic Substances and Disease Registry], Atlanta, GA, U.S.A.

Calcagni, M. S. (2016). *Screening geoquímico urbano: ocurrencia, distribución y biodisponibilidad de metales y metaloides en matrices sólidas en Copiapó.* Pontificia Universidad Católica de Chile.

Carkovic, A.B., Calcagni, M.S., Vega, A.S., Coquery, M., Moya, P.M., Bonilla, C.A., & Pastén, P.A. (2016). *Active and legacy mining in an arid urban environment: challenges and perspectives for Copiapó, Northern Chile.* Environmental Geochemistry and Health, 38(4), 1001–1014.

CEDEUS. (2015). *Screening Geoquímico en Áreas Urbanas de Atacama: Evaluación Ambiental Preliminar y Perspectivas Post Aluviones de Marzo de 2015.*

CENMA. (2012). *INFORME FINAL “Investigación suelos con potencial presencia de Comunas de Copiapó y Tierra.*

CENMA. (2016). *Diagnóstico y evaluación de potenciales riesgos en las comunas de Copiapó y Tierra Amarilla.*

Chen, M., & Ma, L. Q. (2001). *Comparison of Three Aqua Regia Digestion Methods for Twenty Florida Soils.* Soil Science Society of America Journal, 65(2), 491. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652491x>

Chiprés, J. A., Castro-Larragoitia, J., & Monroy, M. G. (2009). *Exploratory and spatial data analysis (EDA-SDA) for determining regional background levels and anomalies of potentially toxic elements in soils from Catorce-Matehuala, Mexico.* Applied Geochemistry, 24(8), 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.04.022>

Centro UC Toxicología y Medioambiente – CITUC (2018). *Evaluación de potenciales riesgos y plan de gestión de los sitios Llaucavén y Tania de la comuna de Copiapó, en la región de Atacama.* Licitación ID: 610176-1-LE18

Contraloría General de la República, Dictamen N°37.295 (8/08/2008).

De Gregori, I., Fuentes, E., Rojas, M., Pinochet, H., & Potin-Gautier, M. (2003). *Monitoring of copper, arsenic and antimony levels in agricultural soils impacted and non-impacted by mining activities, from three regions in Chile.* Journal of Environmental Monitoring: JEM, 5(2), 287–295. <https://doi.org/10.1039/b211469k>

DECRETO LEY N°3.557 (09/02/1981), Establece disposiciones sobre protección agrícola.

DECRETO SUPREMO N°47 (08/06/1992), del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Fija nuevo texto de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

DECRETO SUPREMO N°13 (30/04/2016), del Ministerio de Salud. Decreta alerta sanitaria y otorga facultades extraordinarias que indica.

DECRETO SUPREMO N°32 (17/08/2015) del Ministerio de Medio Ambiente, Aprueba reglamento para la evaluación ambiental estratégica.

DECRETO SUPREMO N°40 (30/10/2012) del Ministerio de Medio Ambiente, Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental.

DECRETO SUPREMO N°59 (25/05/1998) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable mp10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia.

DECRETO SUPREMO N°136 (07/08/2000) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire.

DECRETO SUPREMO N°143 (30/12/2008) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo.

DFL N°1/19.653 (17/11/2001) del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N°18.575, orgánica constitucional de bases generales de la administración del Estado.

DFL N°235 (15/11/1999) del Ministerio de Agricultura, Establece sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados.

DFL N°458 (13/04/1976) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Aprueba nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones.

DFL N°725 (31/01/1968) del Ministerio de Salud Pública, Código Sanitario.

Esmaili, A., Moore, F., Keshavarzi, B., Jaafarzadeh, N., & Kermani, M. (2014). *A geochemical survey of heavy metals in agricultural and background soils of the Isfahan industrial zone, Iran*. Catena, 121, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.003>

Gee, G., & Bauder, J. (1986). *Particle-size analysis*. WI, USA, pp. En A. (Klute, *Methods of Soil Analysis, Part 1*. Physical and Mineralogical Methods. (págs. 383–411). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy-Soil Science Society of America.

Gidhagen, L., Kahelin, H., Schmidt-Thomé, P., & Johansson, C. (2002). *Anthropogenic and natural levels of arsenic in PM10 in central and northern Chile RN - Atmos. Environ.* 36, 3803–3817. *Atmospheric Environment*, 36, 3803–3817.

Guía de orientación para el uso de la evaluación ambiental estratégica en Chile, Ministerio del Medioambiente, diciembre de 2015, disponible en <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/12/Guia-de-orientacion-para-la-eae-en-Chile.pdf>, revisado el 28.06.2017.

Hedberg, E., Gidhagen, L., & Johansson, C. (2005). *Source contributions to PM10 and arsenic concentrations in Central Chile using positive matrix factorization*. *Atmospheric Environment*, 39(3), 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.11.001>

Ianni, C., Bignasca, A., Calace, N., & Rivaró, P. (2014). *Bioaccessibility of metals in soils:*

comparison between chemical extractions and in vitro tests extractions and in vitro tests, 7540(August). <https://doi.org/10.1080/02757540.2013.868890>

LEY N°18.575 (05/12/1986), Ley orgánica constitucional de bases generales de la administración del Estado.

LEY N°19.300 (09/03/1994), Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente.

LEY N°20.412 (09/02/2010), Establece un sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos agropecuarios.

LEY N°20.551 (11/11/2011), Regula el cierre de faenas e instalaciones mineras.

Li, X., Coles, B. J., Ramsey, M. H., & Thornton, I. (1995). *CHEMICAL GEOLOGY Sequential extraction of soils for multielement analysis by ICP-AES*, 124, 109–123.

Masson, M., Blanc, G., & Schafer, J. (2006). *Geochemical signals and source contributions to heavy metal (Cd, Zn, Pb, Cu) fluxes into the Gironde Estuary via its major tributaries*. *Science of the Total Environment*, 370(1), 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.06.011>

Micó, C., Peris, M., Recatalá, L., & Sánchez, J. (2007). *Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region*. *Science of the Total Environment*, 378(1–2), 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.010>

Morgan, R. P. C., & Quinton, J. N. (2001). *Erosion Modeling*. In R. S. Harmon & W. W. Doe (Eds.), *Landscape Erosion and Evolution Modeling* (pp. 117–143). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4_6

Moya, P. M. (2017). *Identificación de fuentes contaminantes en suelos y polvos de calle: El caso de Copiapó, Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Moya, P.M., Arce, G.J., Leiva, C., Vega, A.S, Gutiérrez, S., Adaros, H., Muñoz, L., Pastén, P., Cortés, S (2019). *An integrated study of health, environmental and socioeconomic indicators in a mining-impacted community exposed to metal enrichment*. *Environmental Geochemistry and Health*, 41, 2505–2519.

OECD (2013), *OECD Urban Policy Reviews, Chile 2013*, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264191808-en>

Oomen, A.G., Hack, A., Minekus, M., Zeijdner, E., Cornelis, C., Schoeters, G., Verstraete, W., Van De Wiele, T., Wragg, J., Rompelberg, C.J.M., Sips, A.J.A.M., Van Wijnen, J.H., 2002. *Comparison of five in vitro digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants*. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3326–3334. doi:10.1021/es010204v

ORDINARIO N°53 (29/05/2009), Circular General DDU N°219. Ámbito de acción plan regulador intercomunal en área urbana y área rural. Deroga instrucciones contenidas en Circulares Ord. N°45 del 20.01.98, DDU 26; N°0681 del 06.07.98, DDU 37; N°0138 del 15.04.05, DDU 146; N°0189 del 16.05.05, DDU 152; N°0016 del 10.01.08, DDU 196 y, en las Circulares Ord. N° 0376 del 25.04.07, DDU- Específica 18 y, N°0470 del 07.06.07, DDU- Específica 32.

ORDINARIO N°99 (10/03/2006), Circular General DDU N° 162. Reutilización de terrenos contaminados y con riesgos antrópicos (Derogada).

ORDINARIO N°350 (18/06/2014), Circular General DDU N°269. Definición de área de riesgo por amenaza de incendio en los instrumentos de planificación territorial.

ORDINARIO N°935 (01/12/2009), Circular General DDU N°227. Instruye respecto de la formulación y ámbito de acción de planes reguladores comunales. Deja sin efecto Circular N°1068 de fecha 27.10.99, DDU 55.

Padoan, E., Romè, C., Ajmone-Marsan, F. (2017). *Bioaccessibility and size distribution of metals in road dust and roadside soils along a peri-urban transect*. Sci. Total Environ. 601–602, 89–98. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.05.180

Parra, S., Bravo, M. A., Quiroz, W., Moreno, T., Karanasiou, A., Font, O., Cereceda, F. (2014). *Distribution of trace elements in particle size fractions for contaminated soils by a copper smelting from different zones of the Puchuncaví Valley (Chile)*. Chemosphere, 111, 513–521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.127>

Qiang, L., Yang, W., Jingshuang, L., Quanying, W., Mingying, Z. (2014). *Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dusts in urban parks and squares in Changchun, China*. Environmental Geochemistry and Health, 37, 71–82. DOI 10.1007/s10653-014-9631-6

RESOLUCIÓN EXENTA N°285 (24/03/2010) de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

RESOLUCIÓN EXENTA N°440, (2/06/2020) del Ministerio del Medio Ambiente.

RESOLUCIÓN EXENTA N°618 (27/07/2015) de la Superintendencia del Medio Ambiente.

Sadzawka, A., Carrasco, M. A., Gez, R., Mora, M. D. L. L., Flores, H., & Neaman, A. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile*. Revisión 2006. Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Salim, M., & Madany, I. (1993). *Heavy metals in street and house dust in Bahrain*. Water, Air, and Soil Pollution, 66(1), 111–119. <https://doi.org/10.1007/bf00477063>

Salmanighabeshi, S., Palomo-Marín, M. R., Bernalte, E., Rueda-Holgado, F., Miró-Rodríguez, C., Fadic-Ruiz, X., Pinilla-Gil, E. (2015). *Long-term assessment of ecological risk from deposition of elemental pollutants in the vicinity of the industrial area of Puchuncaví-Ventanas, central Chile*. Science of the Total Environment, 527–528, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.010>

SERNAGEOMIN. (2016). *Geoquímica de Superficie de Depósitos de Relaves de Chile*.

Sims, D. B., Hooda, P. S., & Gillmore, G. K. (2013). *Mining Activities and Associated Environmental Impacts in Arid Climates: A Literature Review*. Environment and Pollution, 2(4), 22–43. <https://doi.org/10.5539/ep.v2n4p22>

Sun, G., Li, Z., Liu, T., Chen, J., Wu, T., Feng, X. (2017). *Metal Exposure and Associated Health Risk to Human Beings by Street Dust in a Heavily Industrialized City of Hunan Province, Central China*. Int. J. Environ. Res. Public Health 14, 261. doi:10.3390/ijerph14030261

Sutherland, R. a. (2000). *Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii*. Environmental Geology, 39(6), 611–627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>

Tessier, A., Campbell, P. G. C., & Bisson, M. (1979). *Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals*, 51(7), 844–851.

US EPA. (2015). *Regional Screening Level (RSL) Summary Table*. United States Environmental Protection Agency, Risk Assessment.

Vázquez-ortega, A., Perdrial, J., Harpold, A., Zapata-ríos, X., Rasmussen, C., McIntosh, J., Chorover, J. (2015). *Rare earth elements as reactive tracers of biogeochemical weathering in forested rhyolitic terrain*. Chemical Geology, 391, 19–32. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.10.016>

Vega, A.S., Arce, G., Rivera, J.I., Acevedo, S.E., Reyes-Paecke, S., Bonilla, C.A., Pastén, P. (2022). *A comparative study of soil metal concentrations in Chilean urban parks using four pollution indexes*. Applied Geochemistry, 141, 105230.

Williams, M. D., & Brown, M. J. (1994). *DEVELOPMENT OF METHODS FOR EVALUATING OPTIONS FOR IMPROVING THE AIR QUALITY IN SANTIAGO, CHILE AND ITS ENVIRONS*.

Zagal, E., & Sadzwaka, A. (2007). *Protocolo de Métodos de Análisis para suelos y lodos*. SAG Servicio Agrícola Y Ganadero. Chile, 1–103. Retrieved from http://www.sag.cl/sites/default/files/METODOS_LODOS_SUELOS.pdf

Zori, C., & Tropper, P. (2013). *Silver lining: Evidence for Inka silver refining in northern Chile*. Journal of Archaeological Science, 40(8), 3282–3292. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.03.020>

Zori, C., Tropper, P., & Scott, D. (2013). *Copper production in late prehispanic northern Chile*. Journal of Archaeological Science, 40(2), 1165–1175. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.09.012>

GLOSARIO

Biodisponibilidad: La biodisponibilidad es el porcentaje de la cantidad total de una sustancia química que se absorbe en el torrente sanguíneo. Sólo la cantidad absorbida de la sustancia química puede producir algún daño (ATSDR).

Composición elemental: Término referido a la totalidad de los elementos químicos que se midieron dentro de una muestra en estudio.

Factor de enriquecimiento (EF): Indicador del enriquecimiento de un metal en la muestra de estudio. La comparación es realizada con las concentraciones naturales de la zona. De esta forma se obtiene el enriquecimiento relacionado a las actividades humanas.

ICP: Instrumento de medición de múltiples elementos. Existen diferentes versiones según el tipo de detector acoplado al ICP, ya sean ópticos o de masa. Sigla referida a su nombre en inglés *“Inductively Coupled Plasma”* (Plasma Acoplado Inductivamente).

Materia orgánica (MO): Es la parte dentro de una muestra compuesta por restos orgánicos, proveniente de plantas, microorganismos y animales luego de una descomposición química.

Material fino: Parte de una muestra en estudio que se conforma de partículas de un diámetro menor a 53 micrómetros, que son separadas a partir de un tamiz de apertura 53 µm (ASTM, N°270). Fracción de importancia porque tiene la facultad de ser re-suspendida fácilmente por el viento y además presentar mayores concentraciones de contaminantes (Aksoy & Kavvas, 2005; Morgan & Quinton, 2001).

Mercuriómetro (DMA-80): Instrumento especializado en la medición de mercurio a través de la evaporación del elemento para luego amalgamarlo en oro.

Mineralogía de una muestra: Corresponde a los tipos de minerales presentes en una muestra, su composición, origen y formación. Los diferentes minerales dependen en tanto del origen de la muestra como de los elementos presentes en ella.

Muestra de suelo urbano: Material representativo de un sector de muestreo de suelo urbano, obtenida de los primeros 30 cm. Cada muestra se compone de 4 sub-muestras para mejor representatividad del sector de estudio.

Pasivos ambientales: Cualquier desecho industrial o minero que ha sido abandonado y que actualmente es un riesgo para la población o para el medio ambiente.

Polvos de calle: Acumulación de partículas sólidas en la calzada de una calle, en este estudio se considera como el material representativo a muestrear, que se obtiene barriendo con brochas plásticas 1 m² a cada lado de la calle y recolectando el material sólido.

p-XRF: Instrumento de medición basado en fluorescencia de rayos X, que entrega resultados de concentraciones en pocos minutos a costa de menor precisión en los resultados.

Relave: Desechos de procesos mineros constituido principalmente de restos molidos finos de mineral, agua y metales.

Screening de contaminación: Método utilizado para realizar un rastreo rápido dentro de la ciudad e identificar zonas con altos niveles de metales en las muestras obtenidas.

Trapiches: Molinos artesanales para procesar mineral extraído para luego amalgamar el oro utilizando mercurio.

UCL 95%: Valor que iguala o excede la media aritmética de la población en estudio el 95% de las veces.

Valores *background* de metales: Concentración de metales estimada para suelos naturales alejados de la ciudad y de fuentes de contaminación directa. El valor calculado se obtiene en base a 59 muestras de suelo natural en diferentes zonas geológicas a los alrededores de Copiapó en este estudio. Este valor tiene el objetivo de representar las concentraciones de metales naturales en la zona previas a la acción humana.

ANEXO TÉCNICO

A.1 Metodologías de laboratorio

Para el análisis de las muestras de suelo, polvo de calles y relaves se necesita realizar un pretratamiento de las muestras, para luego realizar análisis descriptivos de pH, Materia Orgánica y porcentaje de finos y también análisis de la composición elemental. El diagrama de la Figura A-1 muestra el pretratamiento y los análisis realizados a las muestras y en la Tabla A-1 se detallan los procesos de pretratamiento realizados.

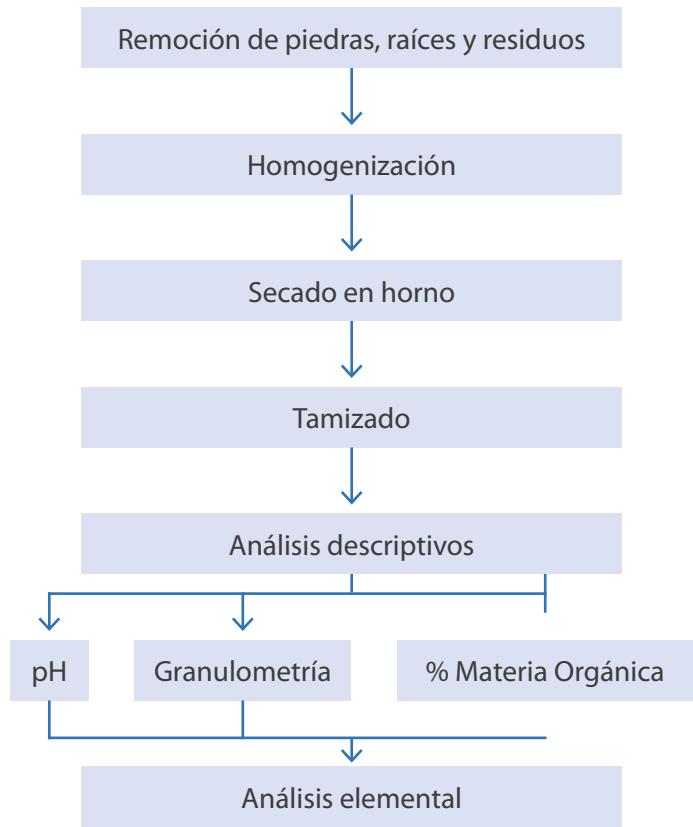


Figura A-1: Diagrama de tratamientos realizados a las muestras. Previo a la realización de los análisis descriptivos y elementales se realiza la homogenización, secado y tamizado de la muestra para disminuir la heterogeneidad propia de la muestra sólida. Fuente: Moya, 2017.

Proceso	Descripción
Remoción de residuos	Proceso manual de remoción de residuos, con la utilización de guantes plásticos para evitar la contaminación de las muestras.
Homogenización	En el caso de que la muestra no supere un kilogramo de masa, se pasa directamente al secado. En el caso contrario, se realiza un proceso de cuarteo para homogenizar la muestra, este proceso consta de la desagregación de terrones y luego la división de la muestra en 4 partes iguales, se seleccionan dos de estas partes para la muestra final. Este proceso se repite hasta tener la masa requerida para el secado, aproximadamente 500 gr.
Secado en horno	El proceso comienza con el pesaje de la muestra, esta se deposita en pots de aluminio desechables, que son colocados en el horno a 40°C. Luego de 24 horas se retiran los pots del horno y se vuelve a masar la muestra, si el peso ha disminuido más del 5% de la masa inicial, se vuelve a colocar en el horno. En caso contrario la muestra se considera seca.
Tamizado	Se realiza un tamizado de 2 mm, con un tamiz de acero inoxidable y palas de plásticas. Y para las muestras seleccionadas para el análisis de la fracción fina se tamizaron también a 53 µm.

Tabla A-1: Descripción de tratamientos y análisis realizados a muestras sólidas. Fuente: Moya, 2017.

Análisis descriptivos

Luego del pretratamiento de las muestras se realizan los análisis descriptivos descritos a continuación correspondientes a pH, porcentaje de materia orgánica y granulometría.

1. pH

Se utilizaron 20 gramos de muestra pre-tratada a la que se agrega 50 ml de agua desionizada, se agita y se deja reposar de 2 a 24 horas para luego realizar la medición de pH con el instrumento previamente calibrado (Zagal & Sadzwaka, 2007).

2. Porcentaje de Materia Orgánica

Se obtuvo el porcentaje de materia orgánica (%MO), mediante el método sugerido por Sadzwaka et al. (2006). Se masa 1 a 2 gr de muestra pre-tratada, se agregan 10 ml de dicromato de sodio y luego se agregan 20 ml de ácido sulfúrico, posteriormente se agita y se deja reposar por 30 minutos. Se agregan 70 ml de agua y se deja reposar durante la noche. El siguiente día se mide la absorbancia del sobrenadante a una longitud de onda

de 600 nm, utilizando el espectrofotómetro Hach DR2800. Utilizando el valor medido se calcula el carbono orgánico de la muestra y luego la materia orgánica.

3. Granulometría

Utilizando aproximadamente 50 gr de la muestra pre-tratada se realiza un tamizado en seco a través de un tamiz de apertura de 53 µm (ASTM, N° 270). Este tamiz permite diferenciar las partículas gruesas [arena y agregados] de las más finas [limo, arcilla y agregados pequeños] (Gee y Bauder, 1986). Luego se masa ambas partes y se calcula el % de finos en la muestra.

Análisis elemental

El análisis elemental se realizó por medio de tres métodos distintos, dependiendo del objetivo buscado. Se utilizó ICP-OES para medir 18 elementos, DMA-80 para medir mercurio y p-XRF para obtener la concentración preliminar de 7 elementos.

1. ICP-OES

La medición de los 18 elementos se realizó según el proceso descrito en la Tabla A-2.

Descripción de metodologías utilizadas
Digestión ácida: Se utilizó digestión por Agua Regia debido a que se busca estudiar los metales más disponibles en las muestras (Chen & Ma, 2001). Se realizó un análisis de la calidad de los resultados a través de triplicados aleatorios, análisis de blancos y materiales de referencia certificados. Para cada matriz de estudio (suelos, polvos de calle y relaves), se analizó la desviación estándar relativa como también el ajuste a los valores certificados. La digestión por Agua Regia comienza con el pesaje de aproximadamente 300 mg de muestra, que se depositan en tubos reactores de 75 ml, luego se agregan 6 ml de ácido clorhídrico y 2 ml de ácido nítrico; los reactores son sellados. Estos se colocan en el microondas, en el programa de digestión de sólidos. Al finalizar, se retira los reactores y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Cuando se encuentran fríos, los reactores se abren y se agrega agua mili Q hasta alcanzar los 50 ml.
Dilución y preparación de muestras de calibración: Para medir distintos elementos en las muestras se necesita tener distintas diluciones, debido a las diferentes magnitudes entre elementos. En este caso se eligió realizar diluciones de 2, 20 y 100 veces. Estas se preparan manteniendo una matriz de Agua Regia de 10%, agregando la muestra necesaria y diluyendo con agua mili Q en tubos de 10 ml. Las muestras de calibración se prepararon en base a una solución multi-elemental. Estas muestras son utilizadas para calibrar el ICP-OES y también para verificar si las concentraciones medidas son las correctas.
Medición de elementos en ICP-OES: Para la medición de cada elemento se eligieron entre 2 y 3 longitudes de onda a detectar por el equipo, para después seleccionar la de mejor ajuste y evitar longitudes de onda con interferencias entre elementos.

Tabla A-2: Metodología utilizada para medición con ICP-OES. Fuente: Moya, 2017.

2. DMA

Para la medición del Hg se masan aproximadamente 30 mg de muestra seca y tamizada, a 2 mm o a 53 µm según sea el caso, y se coloca dentro del envase de medición del equipo. Luego el DMA automáticamente mide el mercurio a través de un proceso de amalgamación con oro (Moya, 2017).

Para garantizar una buena calidad de los resultados los instrumentos utilizados fueron de plástico, limpiados después de cada muestra y lavados al terminar cada día de medición. También se realizaron triplicados de muestras al azar y medición de 2 materiales de referencia certificados cada 15 muestras (Moya, 2017).

3. p-XRF

Se obtuvo la concentración elemental midiendo cada una de las muestras pre-tratadas. La muestra se coloca en un recipiente estándar y luego se mide por los dos métodos que ofrece el instrumento *Soil 3 Beam* y *Two Beam Mining*. La principal consideración con este instrumento es que para los elementos validados existe un límite de cuantificación (LQ) estimado, que se presenta en la Tabla A-3. Si las mediciones se encuentran sobre este valor son válidas. Si no es el caso, se reemplazan por el valor de LQ/2 (Moya, 2017).

	As	Co	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
LQ Estimado (mg/Kg)	36	12	12	35,000	276	22	103

Tabla A-3: Límite de cuantificación (LQ) estimado para elementos validados del método p-XRF. Fuente: Elaboración propia.

A.2 Coeficiente de riesgo (HQ)

Para obtener el HQ se siguió la metodología sugerida por la *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), donde se establecen valores para estimar la dosis de consumo para niños menores de 6 años (ATSDR, 2005). El HQ se estima en base a la siguiente ecuación:

HQ = Dosis de Consumo / Dosis de Referencia

Donde la Dosis de Consumo (D) se estima según la siguiente ecuación:

D = (C*TC*FE*FC*FB) / PC

D: Dosis de consumo (mg/kg/día)

C: Concentración ambiental o de la muestra (mg/kg)

TC: Tasa de consumo (mg/día) [200 mg/día]

FE: Factor de exposición (Sin unidad) [Considerado como 1, que implica una exposición durante todos los días de vida del individuo]

FC: Factor de conversión (10⁻⁶ kg/mg)

FB: Factor de biodisponibilidad [Asumido como valor unitario]

PC: Peso Corporal (kg) [16 kg]

La dosis de referencia fue obtenida de un compendio realizado por la *Environmental Protection Agency* (US EPA, 2015), estos valores no incluyen los efectos cancerígenos y mutágenos de cada elemento.

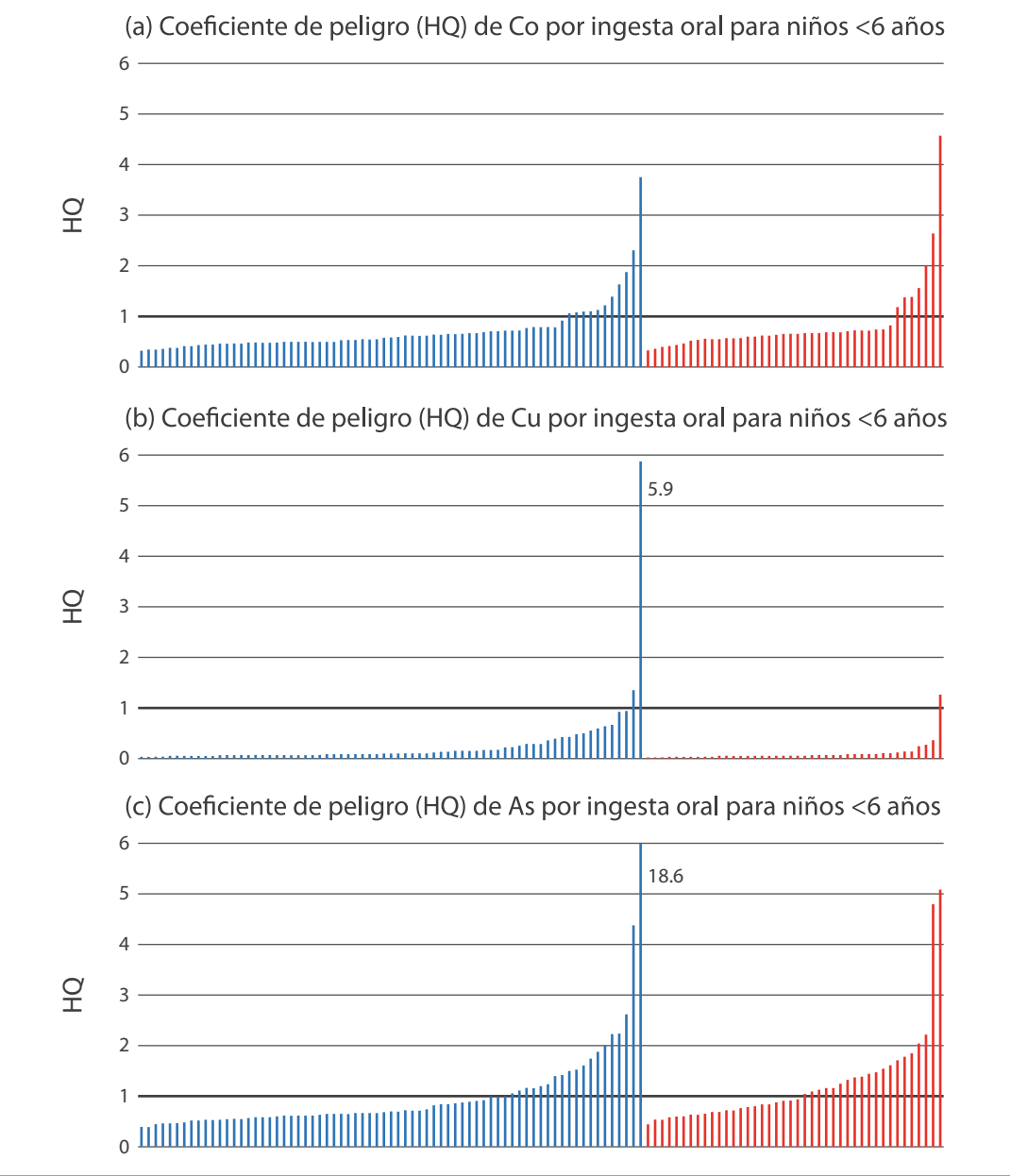


Figura A-2: Coeficiente de peligro para (a) cobalto, (b) cobre y (c) arsénico en muestras de polvos de calle (azul) y en muestras de suelo (rojo). Se destaca la muestra con un HQ de arsénico de 18.6 correspondiente a una muestra de polvo en el área industrial de la ciudad. Fuente: Elaboración en base a Calcagni (2016).

Los resultados para las muestras de suelos y polvos de calles indican que el cobalto, cobre y arsénico son potencialmente un problema de salud para niños menores de 6

años mediante la ingesta oral de estos materiales. En la Figura A-2 se indican las muestras ordenadas en orden ascendente de riesgo para los tres metales nombrados. Las muestras que superan la línea negra, correspondiente al valor de HQ igual a 1, son muestras que potencialmente pueden producir efectos en la salud.

A.3 Caracterización de relaves urbanos

A medida que la ciudad y la minería se expandían, los residuos y actividades mineras se mezclaban con las zonas urbanas. Dada la alta variedad de procesos implicados en la generación de los relaves y el tiempo que implica la conformación de uno, las concentraciones de metales dentro de estos son muy variables dependiendo de su origen. A la vez, cada uno de estos relaves se diferencia entre sí debido principalmente al mineral de origen, como también por la misma antigüedad de cada relave. Nueve relaves urbanos han sido estudiados por CEDEUS (Figura A-3), donde se analizó la materia orgánica (MO), la cantidad de material fino (% <53 µm) y su composición elemental (p-XRF).

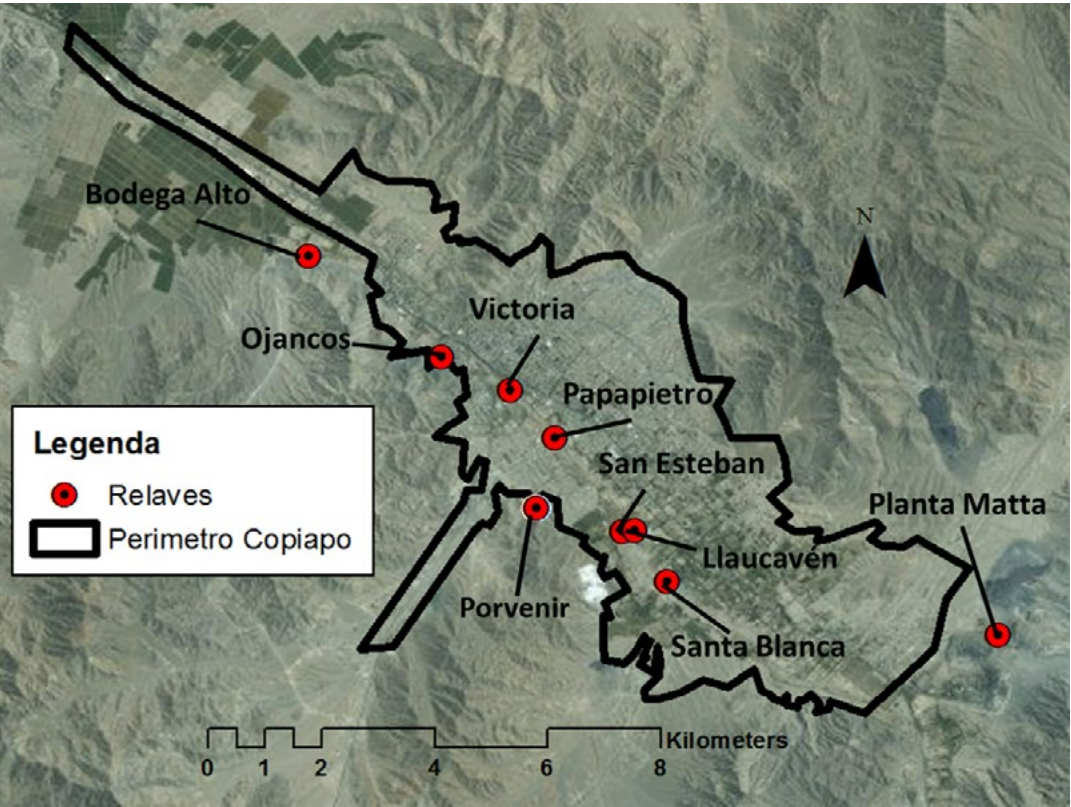


Figura A-3: Relaves estudiados por CEDEUS. Se seleccionaron estos relaves debido a la falta de información disponible en cuanto a su composición química, como también al potencial riesgo que presentan para la población. Fuente: Moya, 2017.

En general, los porcentajes de MO en los relaves son bajos, condición que tiene dos consecuencias. Primero, que la utilización de vegetación para fitorremediación y estabi-

lización sea difícil de realizar ya que para la vida vegetal es necesaria la MO en los suelos; y, en segundo lugar, que el material fino de los relaves no se aglomere, ya que bajos porcentajes de MO propician que el material se mantenga separado en partículas finas. Por otro lado, el estudio de la cantidad de material fino en los relaves mostró que la cantidad es variable para cada relave, pero en promedio un 17% del material total corresponde a material fino. Ambas características (baja MO y alta cantidad de material fino) potencian la erosión eólica y la dispersión de los contaminantes hacia los sectores cercanos (Sims, Hooda, & Gillmore, 2013). Se estimó que la dispersión del material desde un relave es de al menos 300 metros desde el centro del depósito (Moya, 2017), indicando que la población en las cercanías de los depósitos mineros podría ser la más expuesta a metales y con potenciales riesgo para su salud.

La caracterización elemental de estos relaves es esencial para determinar prioridades de intervención, el origen del enriquecimiento en la ciudad y, a futuro, el riesgo que pueden presentar estos residuos mineros para la población. Se indican las concentraciones de 11 elementos; 10 en la Tabla A-4 medidos por la metodología de screening (p-XRF) y el mercurio en la Tabla A-5 medido con un plasma de acoplamiento inductivo con espectrofotómetro de masa (ICP-MS) o un mercuriómetro (DMA-80). Destacan las altas concentraciones de arsénico, cobre y hierro en los relaves (a excepción del relave Santa Blanca), siendo las principales fuentes de material enriquecido en metales para las zonas cercanas. Por otro lado, con respecto a valores de referencia de Canadá (12 mg/kg en zonas residenciales), el arsénico posee altos niveles en el relave Victoria, Planta Matta y Ojancos. En el caso del plomo, se identificaron altos valores en los relaves Llaucavén, Victoria y Planta Matta.

Nombre relave	Nº de muestras	As	Co	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Bodega Alto	13	80	74	3,020	200,305	1,707	60	167
Llaucavén	6	< LQ	70	2,523	203,759	743	235	429
Ojancos	16	138	89	4,165	265,908	1,383	94	206
Papapietro	30	63	34	2,265	83,545	698	<LQ	114
Planta Matta	2	153	43	2,443	147,907	5,161	170	390
Porvenir	31	40	105	1,341	322,000	1,465	46	575
San Esteban	40	<LQ	25	905	97,864	5,293	<LQ	<LQ
Santa Blanca	2	<LQ	14	90	26,818	871	<LQ	<LQ
Victoria	2	196	13	1,017	29,480	1,817	130	424

Tabla A-4: Concentración elemental de relaves en mg/kg medida mediante p-XRF en laboratorios de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Fuente: Moya, 2017.

En el caso del mercurio, tres relaves destacan por sus altas concentraciones con respecto a los valores de referencia de Canadá (6.6 mg/kg en zonas residenciales): el relave Porvenir,

Santa Blanca y Ojancos. Este último posee máximos de 38 mg/kg, siendo un potencial riesgo para la población ubicada en las zonas cercanas.

	Laboratorio	Técnica	Muestras	Mercurio (mg/kg)	
				Promedio	Máximo
Porvenir	ISP	ICP-MS	6	0.3	5.8
Santa Blanca	ISP	ICP-MS	1	6.5	6.5
Victoria	ISP	ICP-MS	3	0.3	0.3
San Esteban	ISP	ICP-MS	3	0.3	0.3
Llaucavén	ISP	ICP-MS	3	0.3	0.3
Ojancos	IRSTEA	DMA-80	4	10.4	38.2
Bodega Alto	IRSTEA	DMA-80	4	0.3	0.9

Tabla A-5: Concentración promedio y máxima de mercurio (Hg) en siete relaves de estudio. Fuente: Moya, 2017.

Los resultados obtenidos por CEDEUS fueron comparados con otros estudios realizados a los relaves de Copiapó por CENMA (CENMA, 2012) y SERNAGEOMIN (SERNAGEOMIN, 2016). En ambos casos los valores reportados por CEDEUS difieren de los informados por ambas instituciones. CEDEUS posee en gran parte de los relaves una mayor cantidad de muestras, por lo que las diferencias pueden deberse a la heterogeneidad misma de los relaves. Cabe destacar que el esfuerzo realizado por SERNAGEOMIN para realizar una caracterización de la totalidad de los relaves del país conduce a que la cantidad de muestras de ese estudio sea menor para cada uno de los depósitos de relaves, para así abarcar la gran cantidad existente en todo Chile.

En base a la cercanía a la población y las concentraciones de metales de los relaves se determinó que: el **relave Ojancos** debe ser estudiado en más detalle debido a las altas concentraciones de **mercurio y la cercanía al centro de la ciudad**; los **relaves Victoria y Papapietro** poseen altas concentraciones de **arsénico, plomo y/o cobre** (Ambos se encuentran en la **ribera del río donde se emplazarán las siguientes etapas del parque Kaukari**); el **relave Llaucavén** posee altas concentraciones de **plomo** y se ubica en las cercanía de **cultivos agrícolas**; y, por último, el **relave Porvenir** que se ubica en la **población El Palomar** y a la vez posee altas concentraciones de **mercurio, cobre y hierro**.

A.4 Biodisponibilidad

La biodisponibilidad corresponde a la fracción de la concentración total de un elemento que es propensa a ser absorbida por un ser vivo en el caso que eventualmente se produzca la ingesta del material que lo contiene. Para estudiar la biodisponibilidad se utilizó una metodología operativa para conocer la especiación química de los elementos en las

* <LQ Corresponde a valores que en promedio se encuentran bajo el límite de cuantificación de la técnica utilizada. Los límites de cuantificación son 36 mg/kg para el As; 22 mg/kg para el Pb y 103 mg/kg para el Zn.

muestras y de esta forma estimar la biodisponibilidad de un elemento. De forma general, la muestra sólida se somete a diversas soluciones reactivas con diferentes características y objetivos buscados. Cada etapa de extracción se asocia a un tipo de especiación y a la vez esta se relaciona a la biodisponibilidad del elemento. Cinco son las etapas de extracción utilizadas, establecidas en base a la metodología propuesta por Tessier et al. (1979) y modificada por Li et al. (1995). En la Tabla A-6 se indica la fracción del metal que se busca extraer y el procedimiento de extracción utilizado para esto.

Este estudio de biodisponibilidad se realizó sobre 22 muestras (10 muestras de polvo de calles, 9 de suelos urbanos y 3 de relave) y se estudiaron ocho elementos de interés: aluminio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, plomo y zinc. En la Tabla A-7 se presenta el porcentaje promedio de biodisponibilidad para cada uno de estos ocho elementos y el rango de variación entre muestrasv estudiadas. La estimación se realizó en base a la recomendación de Ianni et al. (2014), que sugiere que las tres primeras fases de la extracción secuencial corresponderían a la biodisponibilidad del elemento similar a la cantidad que el cuerpo humano puede asimilar al ingerir el material. El valor de disponibilidad se estima como el porcentaje de la concentración que es liberado en las tres primeras fases de la extracción secuencial.

Fracción objetivo	Procedimiento de extracción
Intercambiable	Diluir muestra en 8 ml de solución de cloruro de magnesio a 0.5 M a pH 7. Agitar continuamente por 20 minutos a temperatura ambiente.
Ácido soluble (metales unidos carbonatos)	Diluir en 8 ml de una solución de acetato de sodio (NaOAc) 1 M ajustado a pH 5 con ácido acético (HOAc). Agitar continuamente por 5 horas a temperatura ambiente.
Unido a óxidos de hierro y manganeso	Diluir en 20 ml de una solución de clorhidrato de hidroxilamonio (NH ₂ OH-HCl) 0.04 M en in 25% (v/v) ácido acético. Agitar ocasionalmente durante 6 horas a 96 °C.
Fracción oxidante (unida a materia orgánica y sulfuros)	Diluir en una solución de 3 ml de ácido nítrico (HNO ₃) 0.02 M y 5 ml de una solución de peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂) al 30%, con pH 2 ajustado con ácido nítrico. Calentar progresivamente hasta alcanzar 85 °C y mantener esta temperatura por 2 horas con agitación ocasional. Agregar 3 mL de peróxido de hidrógeno al 30% a pH 2 ajustado con ácido nítrico. Agitar ocasionalmente por 3 horas a 85 °C. Dejar enfriar y agregar 5 mL de una solución de acetato de amonio (NH ₄ OAc) a 3.2 M en 20% (v/v) de ácido nítrico. Agitar durante 30 minutos a temperatura ambiente.
Fracción residual	Esta fracción se puede medir haciendo una digestión total del residuo o por diferencia entre las concentraciones totales de la muestra inicial y la suma de las 4 fracciones anteriores como se recomienda en Vázquez-ortega et al. (2015).

Tabla A-6: Extracciones secuenciales utilizadas en este estudio. Fuente: Calcagni, 2016.

	Polvo		Suelo		Relave	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Al	32%	12%-47%	24%	8%-30%	58%	34%-84%
Cd	92%	67%-100%	94%	77%-100%	67%	0%-100%
Co	56%	26%-79%	73%	41%-88%	76%	70%-80%
Cr	68%	43%-84%	43%	15%-66%	82%	73%-87%
Cu	42%	22%-70%	34%	4%-84%	60%	29%-95%
Fe	76%	38%-88%	77%	31%-94%	83%	79%-88%
Pb	69%	27%-85%	72%	23%-90%	84%	74%-92%
Zn	88%	79%-95%	82%	64%-90%	79%	74%-85%

Tabla A-7: Porcentaje promedio y rango de biodisponibilidad por elemento. Fuente: Calcagni, 2016.

A.5 Factores de Enriquecimiento (EF)

Este factor permite identificar una muestra enriquecida con respecto a la condición natural de la zona. Compara la concentración en la muestra con la concentración natural o *background* y, además, normaliza las concentraciones por algún elemento a elección. El objetivo de la normalización es descartar el efecto del tamaño de partícula de las muestras. En este estudio se utilizó el aluminio como elemento de normalización asociado a la parte sólida natural de las muestras (Masson, Blanc, & Schafer, 2006; Salmanighabeshi et al., 2015). Los valores *background* utilizados en el cálculo del factor de enriquecimiento corresponden a los valores obtenidos como línea base de la zona periférica a Copiapó (Valores en Tabla 3-3 del cuerpo del informe).

Se utilizó la siguiente ecuación para obtener el factor de enriquecimiento (Sutherland, 2000).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_{Elemento}}{C_{Elemento\ Normalizado}}\right)_{Muestra}}{\left(\frac{C_{Elemento}}{C_{Elemento\ Normalizado}}\right)_{Background}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} EF < 2 \text{ Sin enriquecimiento o enriquecimiento mínimo} \\ 2 < EF < 5 \text{ Enriquecimiento moderado} \\ 5 < EF < 20 \text{ Enriquecimiento significativo} \\ 20 < EF < 40 \text{ Muy alto enriquecimiento} \\ 40 > EF \text{ Extremadamente enriquecido} \end{array} \right.$$

Donde $C_{Elemento}$ es la concentración del elemento de estudio en la muestra y en los valores *background*; $C_{Elemento\ Normalizado}$ es la concentración del elemento de normalización en la muestra y en el *background*, en este caso aluminio.

EQUIPO

Contaminación por metales en suelos de copiapó: Diagnóstico y propuestas públicas.
Informe elaborado por CEDEUS, Hub UC con la colaboración de IRSTEА, DICTUC S.A.

Especialistas:

Carlos Bonilla, especialista en suelos, Ingeniero Agrónomo, Ph.D. CEDEUS, Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Marina Coquery, especialista en analítica química, Investigadora en Química Acuática, Ph.D. IRSTEА.

Sandra Cortés, especialista en salud pública, Médico Veterinario, Ph.D. Departamento de Salud Pública, Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Héctor Jorquera, especialista contaminación atmosférica, Ingeniero Civil, Ph.D. CEDEUS, Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Pablo Pastén, especialista en contaminación del agua, Ingeniero Civil, Ph.D. CEDEUS, Escuela de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Alejandra Precht, especialista en regulación ambiental, Abogada, Mag.

Francisca Musalem, especialista en urbanismo, Abogada, Mag.

Jorge Precht, especialista en regulación ambiental, Abogado, Ph.D. Departamento de Derecho Público, Facultad de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ingenieros de Proyecto:

Alejandra Vega, Ingeniero Civil, Doctor Cs. Ingeniería. CEDEUS.

Pablo Moya, Ingeniero Civil, Mag. Cs. Ing. CEDEUS.

Guillermo Arce, Ingeniero Civil, Mag. Cs. Ing. CEDEUS.

