



FACULTAD DE MEDICINA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

INFORME

**EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LA COMUNA DE ARICA POR LA
PRESENCIA DE POLIMETALES EN LA MATRIZ SUELO.**

ID 608897-198-LP15

PARA: SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE.

PREPARADO POR: CENTRO UC – TOXICOLOGÍA CITUC.

OCTUBRE, 2016.

EQUIPO CONSULTOR Y CONTRAPARTE TÉCNICA

EQUIPO CENTRO UC – TOXICOLOGÍA CITUC

JEFE DE PROYECTO

Dr. Juan Carlos Ríos, Centro UC Toxicología CITUC, Pontificia Universidad Católica de Chile.

CONSULTORES SENIOR

Dra. Sandra Cortés, Departamento de Salud Pública, Pontificia Universidad Católica de Chile

Sr. Juan Pablo Astaburuaga, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Sr. Pablo Olivares, Centro UC Toxicología CITUC, Pontificia Universidad Católica de Chile.

PROFESIONALES TÉCNICOS

Mag. Patricia Cerda, Centro UC Toxicología CITUC, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Srta. Trinidad del Real, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

CONTRAPARTE TÉCNICA MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Sr. Cristián Brito, Coordinador Área Riesgo Ambiental, Oficina de Residuos y Riesgo Ambiental.

Srta. Cecilia Aburto, Profesional, Oficina de Residuos y Riesgo Ambiental.

RESUMEN EJECUTIVO

Dada la problemática ambiental que afectó a la comuna de Arica en los años 80, en el año 2012, se promulgó la Ley N° 20.590 que establece un programa de intervención en zonas con presencia de polimetales en esta comuna. En materia ambiental, corresponde al Ministerio del Medio Ambiente realizar estudios periódicos para evaluar el riesgo ambiental con motivo de la presencia de polimetales en Arica. De acuerdo a lo indicado en esta Ley, en base a los estudios de riesgo ambiental se deben definir las zonas de riesgo con el objeto de proteger la salud de los habitantes de la ciudad.

En el marco de los estudios a cargo del Ministerio del Medio Ambiente, el Centro UC Toxicología CITUC se adjudicó la licitación ID 608897-198-LP15 denominada “Evaluación de riesgos en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo”. En lo específico, el estudio tuvo como objetivos recolectar y analizar la información disponible en el marco de la ley de polimetales, evaluar y analizar los riesgos a la salud de la población expuesta y redefinir las zonas de riesgo, si fuese necesario.

En consecuencia, el presente estudio, recopila y analiza la información disponible en el marco de la Ley N° 20.590 en lo relativo a muestreos ambientales, evaluaciones de riesgos y biomonitoreos de polimetales en la población de Arica. En paralelo, se analizaron las determinaciones de As, Cr, Cd, Hg y Pb realizadas en el periodo 2015 en el suelo de la comuna de Arica. En este periodo, se obtuvieron un total de 119 muestras de suelo obtenidas del horizonte de 0 a 20 cm de profundidad. Los límites superiores del intervalo de confianza de la media (95%) de As, Cd, Cr, Hg y Pb fueron 21,71 mg Kg⁻¹, 8,28 mg Kg⁻¹, 20,20 mg Kg⁻¹, 0,14 mg Kg⁻¹ y 89,46 mg Kg⁻¹, respectivamente.

Para evaluar el riesgo a la salud de la población de la comuna de Arica se desarrolló un modelo conceptual con escenarios genéricos de exposición considerando adultos y niños residentes en la comuna de Arica y las vías oral, dérmica e inhalatoria para considerar la ingesta involuntaria de suelo, la re-suspensión de partículas y el contacto con el suelo. Se excluyó la ingesta oral por consumo de aguas y de alimentos. Tanto en adultos como en niños residentes en la comuna de Arica, el índice de peligro para efectos no carcinogénicos se encuentra en un nivel de riesgo aceptable, siendo el arsénico el mayor contribuyente a este índice. En el caso del riesgo incremental de cáncer, en ambos escenarios, esta probabilidad se encuentra por sobre el nivel de riesgo aceptable definido en 1E-6 (1 en 1.000.000). En adultos y en niños, el arsénico representa a lo menos el 76% del nivel de riesgo incremental. El análisis de los datos disponibles en relación a plomo en sangre del programa de vigilancia de pre-escolares y escolares indica que la media geométrica del grupo etario 1-5 años fue de 2,21 µg Pb dL⁻¹, 2,79 µg Pb dL⁻¹, 2,45 µg Pb dL⁻¹ y 3,42 µg Pb dL⁻¹, en los años 2012, 2013, 2014 y 2015, respectivamente. Estas medias geométricas representan niveles bajos de exposición a Pb.

En base a lo anterior, se puede concluir que el arsénico presente en el suelo de la comuna de Arica es el agente de interés para la gestión de la Ley de Polimetales de Arica. Lo anterior concuerda con los hallazgos obtenidos en el análisis del periodo 2014 y el comité de expertos de la Pontificia Universidad Católica de Chile el año 2015, utilizando los datos del periodo 2013.

Con el fin de evaluar la necesidad de incluir nuevas zonas de riesgo, según lo establecido en la Ley N° 20.590, se analizó la distribución espacial y temporal de los valores de arsénico en el suelo reportados en el periodo 2013 a 2015. En cuanto a la distribución espacial, se evidenció que la distribución del metaloide en suelo sigue un patrón aleatorio. Considerando todas las mediciones del intervalo de tiempo, se identificaron los puntos sobre el nivel de riesgo aceptable y que se rodean de valores

elevados (puntos calientes o *hotspots*). En base a este ejercicio, se identificaron 4 puntos calientes el año 2013, 7 el año 2014 y 13 el año 2015. Ninguno de los *hotspots* identificados se mantiene en el periodo 2013 a 2015. Se consideró como premisa, que la definición de nuevas zonas de riesgo requiere la identificación de puntos calientes que se mantengan en el tiempo como tal. Dado lo anterior, se concluye que no se justifica la definición de nuevas zonas de riesgo según lo establecido en la Ley N° 20.590.

CONTENIDO

EQUIPO CONSULTOR Y CONTRAPARTE TÉCNICA	2
RESUMEN EJECUTIVO	3
INDICE DE TABLAS	6
INDICE DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. OBJETIVO.....	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE	11
3.1 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS	14
3.2 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE BIOMONITOREO	17
3.3 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS.....	18
4. CONCENTRACIÓN DE METALES Y ARSÉNICO EN EL SUELO DE LA COMUNA DE ARICA, PERIODO 2015.	24
5. EVALUACIÓN DE DATOS PROVENIENTES DE BIOMONITOREOS DE PLOMO EN SANGRE, ARICA.	27
6. EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD HUMANA.....	36
6.1 CARACTERIZACIÓN GEOGRAFICA DE LA COMUNA DE ARICA	36
6.2 DETERMINACIÓN DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN INVOLUCRADAS.....	37
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNA DE ARICA	40
6.4 DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN	40
6.5 CALCULO DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN	41
6.5.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INGESTIÓN INVOLUNTARIA DE SUELO	41
6.5.2 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR CONTACTO DIRECTO DEL SUELO CON LA PIEL.....	42
6.5.3 DOSIS POR INHALACIÓN DE PARTÍCULAS EN POLVO RESUSPENDIDO.....	43
6.6 RELACIÓN DOSIS RESPUESTA.....	45
6.7 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.....	47
6.8 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.	49
7. REDEFINICIÓN DE ZONAS DE RIESGO EN EL MARCO DE LA LEY DE POLIMETALES.	50
7.1 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS PUNTOS MUESTREADOS.	50
7.2 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE AGRUPACIÓN DE VALORES O CLUSTERING.....	52
7.3 REDEFINICIÓN DE ZONAS DE RIESGO	58
8. CONCLUSIONES	59
9. REFERENCIAS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudios ambientales asociados a la identificación de contaminantes de interés en la matriz suelo de la comuna de Arica en el periodo 2009-2014.	12
Tabla 2 Estudios relacionados a evaluación de riesgos a la salud humana para la comuna de Arica en el periodo 2009-2015.	16
Tabla 3 Estadística descriptiva de las determinaciones de polimetales en suelo de la comuna de Arica, periodo 2015.	26
Tabla 4 Caracterización de la población (edad, sexo, zona de residencia) CSA plomo en sangre mediante absorción atómica, horno de grafito.	29
Tabla 5 Estadística descriptiva de plomo en sangre CSA, grupo 0-6 años, periodo 2009-2015.	30
Tabla 6 Estadística descriptiva de plomo en sangre CSA, grupo 6-11 años, periodo 2009-2015.	30
Tabla 7 Distribución etaria y estadística descriptiva de valores de plomo en sangre según datos reportados por CSA (periodo 2008-2015).	31
Tabla 8 Estadística descriptiva de plomo en sangre del programa de vigilancia de escolares, grupo 1-5 años	32
Tabla 9 Estadística descriptiva de plomo en sangre del programa de vigilancia de escolares, grupo 6-11 años	32
Tabla 10 Estadística descriptiva de los valores de plomo en sangre del programa vigilancia de pre-escolares y escolares, Arica (periodo 2012-2015).	33
Tabla 11 Estadística descriptiva valores de plomo en sangre grupo 1-5 años, NHANES 07-08 y 09-10.	34
Tabla 12 Dosis y concentraciones de exposición As, Cd, Cr y Hg, escenario residencial Arica, niños y adultos.	44
Tabla 13 Concentraciones/Dosis de referencia y factores de potencia carcinogénica As(i), Cd, Cr(VI) y Hg.	46
Tabla 14 Cocientes de riesgo, índices peligro, nivel de riesgo incremental de cáncer, adultos, escenario residencial, Arica 2015.	48
Tabla 15 Cocientes de riesgo, índices peligro, nivel de riesgo incremental, niños, escenario residencial, Arica 2015.	48
Tabla 16 Coordenadas y concentración de As en suelo de los hotspots identificados en el periodo 2013-2015.	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución temporal de los valores máximos de plomo en el suelo de la comuna de Arica (mg Kg ⁻¹) en el periodo 2009-2015.	13
Figura 2 Distribución temporal de los valores máximos de arsénico, mercurio, cadmio y cromo en el suelo de la comuna de Arica (mg Kg ⁻¹) en el periodo 2009-2015.	13
Figura 3 Distribución de valores de As inorgánico en orina de acuerdo a datos del CSA Arica.....	17
Figura 4 Localización de los puntos de muestreo del periodo 2015.....	24
Figura 5 Comparación de la localización de los puntos de muestreo 2014 y 2015.	25
Figura 6 Distribución temporal de las medias de plomo en sangre en menores de Arica según lo reportado en el programa de vigilancia y Tchernotchin et al., 2006.	35
Figura 7 Precipitación mensual en la ciudad de Arica.....	37
Figura 8 Modelo conceptual para la evaluación de riesgos a la salud humana debido a la presencia de polimetales en la matriz suelo de la comuna de Arica, periodo 2015.	39
Figura 9 Resultados obtenidos con la herramienta estadística I de Moran, respecto de las mediciones de arsénico en el suelo de Arica para el año 2015.....	51
Figura 10 Análisis de la distribución de los valores de arsénico utilizando Normal QQplot.	51
Figura 11 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2013.	53
Figura 12 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2014.	54
Figura 13 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2015.	55
Figura 14 Localización de todos los hotspots de As en suelo en el periodo 2013 a 2014.	57

1. INTRODUCCIÓN

El norte de nuestro país posee, naturalmente, concentraciones considerables de algunos metales y arsénico en el suelo. Adicionalmente en la ciudad de Arica -entre los años 1984 y 1989- se realizó el acopio de minerales provenientes desde Suecia, así como por el procesamiento de metales y relaves, en el denominado Sitio F por parte de la Empresa Procesadora de Metales Ltda. (PROMEL). El análisis de los minerales provenientes de Suecia reveló altas concentraciones de metales pesados y arsénico. Por otra parte, la Zona de Maestranza y Zona Puerto fue utilizada en el embarque, almacenamiento y tránsito de carga boliviana, incluyendo concentrados de plomo, zinc, plata y estaño en barra. Se ha propuesto, que la dispersión eólica de los minerales y concentrados distribuyó el contenido de estos minerales y concentrados, acopiados sin protección, por la ciudad de Arica.

Dada la cercanía a las poblaciones y la peligrosidad de los agentes acopiados, se han desarrollado una serie de acciones destinadas a gestionar la disposición final de estos residuos y la evaluación de la exposición a los contaminantes.

En 1998, se llevó a cabo el *Plan de Seguimiento Toxicológico de Habitantes del Sector Cerro Chuño – Los Industriales* por parte del entonces Servicio de Salud tomándose 558 muestras de plomo en sangre y 653 de arsénico en orina. Los resultados indicaron que el 23% de los niños exhibieron niveles sobre $10 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ ($n = 360$). En el caso del arsénico, el 6,1% de los niños y el 3,2% de los adultos exhibió un nivel mayor a $200 \mu\text{g As L}^{-1}$ ($n = 559$).

En noviembre del año 2000, se emite el informe del estudio *Campaña de Determinación de Plomo en el Sector Cerro Chuño – Los Industriales* en el que se tomaron 4.992 muestras, principalmente niños y adolescentes, en el que se evidenciaron 131 casos confirmados con niveles $\geq 10 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ (2,7%).

Mediante el Decreto 90 de 2009 del Ministerio General de la Presidencia Establece coordinación para el plan maestro de intervención en Arica y designa coordinadora se designó a la, entonces, Ministra Presidenta de la Comisión Nacional del Medio Ambiente como coordinadora en las tareas de implementación del Plan Maestro de Intervención en Arica. Este Plan, desarrollado por los Ministerios de Salud, Vivienda, Educación, Planificación y Hacienda y la coordinadora, establece criterios para la intervención en ámbitos de salud y vivienda junto a un programa de salud para la población expuesta a polimetales.

En noviembre del año 2010 se firmó el Protocolo de Acuerdo Interministerial para Atención Integral de Zonas Afectadas por Contaminación de Polimetales en la Ciudad de Arica, correspondiéndole al Ministerio del Medio Ambiente, sobre la base de sus funciones, evaluar el riesgo ambiental por la presencia de polimetales en Arica. En especial, deberá definir las zonas de riesgo y el perímetro de intervención de modo de proteger la salud de los habitantes.

En mayo del año 2012 se promulgó la Ley N° 20.590, que establece un Programa de Intervención en Zonas con Presencia de Polimetales en la Comuna de Arica. La Ley, indica en su artículo 3° que el Presidente de la República, mediante decreto expedido por intermedio del Ministerio del Medio Ambiente, determinará la zona con presencia de polimetales, mediante estudios ambientales. Además, en su artículo 11°, señala que mediante una resolución conjunta del Ministro del Medio Ambiente y el Ministro de Vivienda y Urbanismo se señalarán las zonas y las acciones específicas que se llevarán a cabo. Por último, en los artículos 16° y 17° se establece que el Ministerio del Medio Ambiente realizará estudios destinados a evaluar el riesgo ambiental con motivo de la presencia de polimetales en Arica, mediante el cumplimiento de criterios fijados por un reglamento dictado al

efecto. Dicho reglamento fue elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y aprobado en la sesión de fecha 15 de noviembre de 2012, por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y luego modificado por el Decreto 80 de 2014 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia Modifica el reglamento de la Ley N° 20.590.

El 24 de octubre del año 2013 entró en vigencia el Reglamento de la Ley N° 20.590 que establece un Programa de Intervención en Zonas con Presencia de Polimetales en la Comuna de Arica. Este reglamento establece las disposiciones por las cuales se regirá la evaluación de riesgo para la salud de la población por presencia de polimetales en la comuna de Arica y los criterios que se deberán cumplir para tal efecto, así como para la determinación de la o las zonas con presencia de Polimetales a que se refiere el artículo 3 de la Ley, la cual comprende la o las zonas con presencia de polimetales o zonas contaminadas por polimetales para efectos de los artículos 16 y 17 de la Ley, la o las Zonas de Riesgo o Zonas en Situación de Riesgo de Contaminación por Polimetales y el o los Perímetros de Intervención respectivos.

Para dar cumplimiento a la Ley N° 20.590 y su reglamento, el año 2013 el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) llevó a cabo el estudio *Determinación de los Niveles Naturales o Background y de la Concentración de los Contaminantes de Interés en el Suelo de la Comuna de Arica, por la Presencia de Polimetales*, con el objetivo de determinar la o las zonas contaminadas por presencia de polimetales en el suelo de la comuna de Arica. El estudio concluyó que algunos sectores de la comuna de Arica superaban los niveles naturales o *background*.

El año 2014, el CENMA realizó los estudios *Determinación de la Calidad del Aire y Evaluación de Riesgo en la Comuna de Arica, por la presencia de polimetales en la matriz suelo* y el estudio *Concentración de los contaminantes de interés en la comuna de Arica*. El mismo año y mediante la Resolución Exenta N° 1.053 del 27 de octubre de 2014, se constituyó un equipo de expertos coordinados por el Centro de Información Toxicológica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con el objetivo de elaborar una propuesta respecto del nivel de riesgo aceptable para los agentes incluidos en la Ley de Polimetales, en base a la cual el Ministerio del Medio Ambiente, en conjunto con el Ministerio de Salud pudiesen tomar una decisión respecto de dicho valor, de modo de poder establecer de forma argumentada las zonas de riesgo y los perímetros de intervención a los cuales hace referencia el Reglamento (Pontificia Universidad Católica, 2015).

Durante el 2015, el CENMA realizó una nueva serie de determinaciones de polimetales en el suelo de la comuna de Arica en el estudio *Determinación de la Concentración de los Contaminantes de Interés en el Suelo de la Comuna de Arica por la Presencia de Polimetales*.

Este documento corresponde al informe final del estudio *Evaluación de Riesgos en la Comuna de Arica por la Presencia de Polimetales en la Matriz Suelo* desarrollado por la Pontificia Universidad Católica, a través del Centro UC – Toxicología CITUC, de acuerdo a lo consignado en la Resolución 1291 de 2015 del Ministerio del Medio Ambiente. En éste, se evalúa el riesgo a la salud de la población de la ciudad de Arica debido a la presencia de polimetales en la matriz suelo determinados en el periodo 2015.

2. OBJETIVO

Evaluar el riesgo de la población de la comuna de Arica, afectada por la presencia de polimetales en la matriz suelo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar, sistematizar, analizar y evaluar la información disponible en el marco de la Ley N° 20.590.
- Elaborar un modelo conceptual de exposición de la población debido a la presencia de polimetales en la matriz suelo de la comuna de Arica.
- Evaluar y analizar los riesgos a la salud de la población expuesta, debido a la presencia de polimetales en el suelo, incluyendo la (re)definición de zonas de riesgo.

3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Desde el inicio del Plan Maestro en el año 2009, en Arica se han realizado diversos estudios, siendo los primeros de ellos desarrollados a partir de las intensas demandas de la población afectada a las autoridades regionales y nacionales. Para su análisis, estas iniciativas han sido categorizadas según su objetivo, en:

- Estudios ambientales,
- Estudios de evaluación de riesgos a la salud humana,
- Estudios de biomonitoreo, y
- Estudios epidemiológicos.

En la Tabla 1, se resumen los detalles metodológicos y hallazgos de los estudios ambientales asociados a la identificación de contaminantes de interés en la matriz suelo de la comuna de Arica en el periodo 2009-2014.

En el presente estudio, se utilizaron los datos provenientes de los análisis realizados por el CENMA entre los años 2013 a 2015 dado que se dispuso de la matriz de resultados con su respectiva georreferenciación lo que permitió el análisis espacial como temporal de este set de datos.

El estudio realizado el 2013, determinó los niveles edafogeoquímicos de los elementos en suelos representativos de la comuna de Arica. Adicionalmente, el estudio determinó los niveles de estos analitos en el suelo superficial de la ciudad. En línea general, los valores encontrados en la ciudad superan los valores edafogeoquímicos para todos los analitos con excepción del cromo. Además, el estudio propone una bio-accesibilidad del 55% para arsénico y 57% para cromo en los suelos de la ciudad, según ensayos de digestión en medio ácido.

Por otra parte, el año 2014 se continuó con el ciclo de mediciones con muestras de suelo superficial en la ciudad de Arica. En comparación a los niveles background determinados el año 2013, en este ciclo, las concentraciones de arsénico, mercurio, plomo y cadmio fueron mayores a los niveles naturales y al igual que el año 2013, el cromo se presentó bajo los niveles naturales.

En el periodo 2015, se realizaron nuevas mediciones en el suelo superficial de la comuna de Arica cuyos resultados son analizados descriptivamente en la Sección 3 de este informe.

En paralelo a las determinaciones de los agentes de interés en la matriz suelo y en el contexto de la Ley 20.590 y su reglamento (Decreto 80 de 2014 del Ministerio General de la Presidencia Modifica el reglamento de la Ley N° 20.590), corresponde a la Secretaría Regional Ministerial de Salud fiscalizar y realizar vigilancia sanitaria de los Polimetales en el agua de consumo humano y en los alimentos distribuidos en la ciudad de Arica. En este sentido, se realiza vigilancia de la calidad de agua potable urbano considerando el monitoreo de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo en 32 sectores de la ciudad. Los mismos analitos son determinados en el programa de vigilancia de agua del sector rural en la comuna de Arica. Estos resultados no han sido analizados en el contexto de este estudio dado que no es posible vincular la presencia de polimetales en el suelo de la comuna de Arica con su contenido en el agua potable de la ciudad y, a diferencia del suelo, el agua de consumo posee límites para metales y arsénico, entre otros parámetros, establecidos en el Decreto 735 de 1969 del Ministerio de Salud Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano. Adicionalmente, la Secretaría Regional de Salud monitorea actualmente plomo y arsénico en polvo sedimentable en 16 establecimientos educacionales.

Tabla 1 Estudios ambientales asociados a la identificación de contaminantes de interés en la matriz suelo de la comuna de Arica en el periodo 2009-2014.

NOMBRE ESTUDIO	INSTITUCIÓN	AÑO	METODOLOGÍA	LUGAR	n	VALORES [mg kg-1]				
						As	Pb	Hg	Cd	Cr
Estudio de contaminación de suelos de Arica.	CENMA	2006	Muestras superficiales y sub-superficiales As, Cd, Cr y Pb: ICP-OES Hg: EAA.	Sitio F	25	< LD - 69,5	< LD - 146,8	< LD - 0,2	<LD - 13,2	<LD - 81,5
				Área urbana	8	< LD - 8,2	< LD - 94,5	-	<LD - 3,4	18,8 - 86,1
				Puerto	2	101,9 - 285,4	629 - 2267,2	0,6 - 2,4	45,4 - 170	34,9 -46,7
				Entorno puerto	5	< LD - 6,9	19,7 - 110,9	-	<LD	6,9 - 29,9
				Línea Férrea	6	< LD	2,5 - 473,8	< LD	<LD	25,8 - 45,4
			Patio de casas de ciudad Arica	10	< LD - 33,8	49,7 - 271,9	-	<LD - 12,6	24,7 - 271,9	
Programa maestro de intervención zonas con presencia de polimetales en Arica.	ISP	2009	Muestras: polvo sedimentable de techo y de interior de casas, suelo superficial (5 cm) y residuos sólidos. Muestreo Aleatorio sistemático. Análisis EAA	Sitio F	570	Max 51	Max 262	-	-	-
Análisis químico de suelos de la ciudad de Arica.	Agriquem	2009	Suelo superficial, a 15 cm y 30 cm. Grilla con 440 puntos para muestreo. Análisis ICP-OES	Área urbana	440	0,1 - 1036,4	0,7 - 8169,7	< 0,05 - 4,92	< 0,025 -164,49	< 0,025 -73,2
Actualización de la presencia de metales pesados en suelo, subsuelo y aire en el entorno poblacional Los Industriales, Sitio F, de la ciudad de Arica.	Agriquem	2010	Muestras de suelo y subsuelo. Análisis ICP-OES	Área urbana	163	7 - 73,86	17,46 - 902,8	< 0,05 - 0,56	< 0,05 - 13,78	1,21 - 193,5
				Área urbana	44	< 0,2 - 101,0	24,5 - 163,3	< 0,05 - 0,09	< 0,05 - 2,8	2,8 - 15,9
Evaluación de riesgos a la salud de la población por la presencia de polimetales en la matriz suelo, en la ciudad de Arica.	CENMA	2012	Suelo superficial	Área urbana	854	7,25 - 373	5,4 - 1163	13	27 - 84,5	45 - 351
Determinación de niveles background y concentración de contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por presencia de polimetales.	CENMA	2013	Niveles edafogeológicos y en área urbana.	Área urbana	169 (natural)	18,35 UCL	11,89 UCL	0,0193 UCL	1,134 UCL	73,63 UCL
					283 0-20 cm (ciudad)	9,74 - 110,8 21,06 UCL	14,8 - 675,0 46,98 UCL	0,004- 0,709 0,0407 UCL	1,85 - 14,20 2,77 UCL	6,47 - 90,16 24,17 UCL
Determinación de la Concentración de los Contaminantes de Interés en el Suelo de la Comuna de Arica por la Presencia de Polimetales	CENMA	2014	Niveles en suelo superficial (0-20 cm) y subsuperficial (20-40 cm)	Área urbana	172 (0-20 cm)	4,6 - 260,4	5,1 - 1340,3	0,005 - 1,207	2,4 - 34,1	4,6 - 49,7

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1, muestra la distribución temporal de los valores máximos de plomo en el suelo de la comuna de Arica en el periodo 2009 a 2015. En el gráfico, se evidencia una tendencia a la baja en los valores máximos reportados en el periodo.

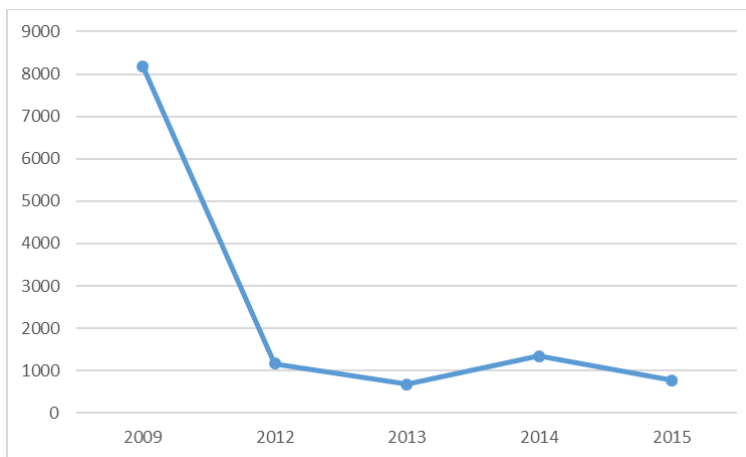


Figura 1 Distribución temporal de los valores máximos de plomo en el suelo de la comuna de Arica (mg Kg⁻¹) en el periodo 2009-2015.

La Figura 2, muestra la distribución temporal de los valores máximos de As, Hg, Cd y Cr en el suelo de la comuna de Arica en el periodo 2009 a 2015. En el gráfico, se evidencia una tendencia a la baja en los valores máximos reportados para As y Cd en el periodo 2009 a 2015, una tendencia en los valores máximos de Cr a partir del año 2012.

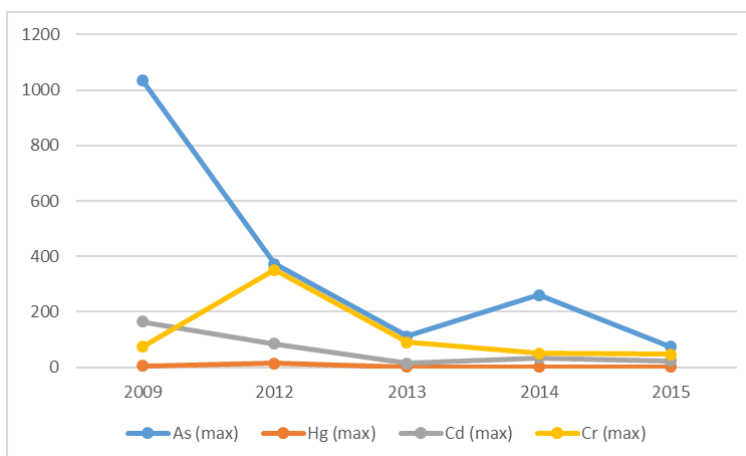


Figura 2 Distribución temporal de los valores máximos de arsénico, mercurio, cadmio y cromo en el suelo de la comuna de Arica (mg Kg⁻¹) en el periodo 2009-2015.

Las tendencias observadas en las Figuras 1 y 2 pueden atribuirse a factores analíticos, ambientales y/o de gestión del riesgo realizadas en este periodo.

3.1 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 20.590, corresponde al Ministerio del Medio Ambiente realizar estudios destinados a evaluar el riesgo ambiental con motivo de la presencia de polimetales en el suelo de la ciudad de Arica, mediante el cumplimiento de criterios fijados por un reglamento dictado para este efecto. La Tabla 2 resume los estudios de evaluación de riesgos e insumos en el marco de la Ley N° 20.590.

El primer estudio identificado sobre evaluación de los riesgos debido a la presencia de polimetales en el suelo de la ciudad de Arica, se llevó a cabo el año 2012 (CENMA). En él, se realizó un muestreo dividiendo la ciudad en 36 cuadrantes, denominados unidades operativas, y se tomaron muestras de suelo superficial las que fueron analizadas mediante espectrómetro de fluorescencia de rayos X. Los contaminantes de interés seleccionados fueron arsénico, plomo, cadmio, cromo y mercurio y la exposición fue estimada para niños, adolescentes, adultos y transeúntes para cada agente. Las vías de exposición seleccionadas fueron la inhalación de material particulado fino retenido en pulmón, la ingestión de material particulado fino, contacto dérmico con el suelo e ingestión accidental de suelo. Los autores observaron que, en 2 unidades operacionales, la exposición de los niños a arsénico es significativa en relación a efectos crónicos. En el caso del riesgo carcinogénico, la probabilidad varía entre $9,1E^{-5}$ y $6,1E^{-4}$. El arsénico fue el contaminante que más contribuyó al riesgo de efectos crónicos y extra de cáncer. En el caso del plomo, utilizando el modelo IEUBK, salvo 2 unidades operacionales con valores en suelo de 339 y 560 mg Pb Kg⁻¹, el porcentaje de niños que se estimó pueden exceder los 10 µg dL⁻¹ fue bajo.

Utilizando como insumo las determinaciones de polimetales en suelo del año 2013 y la concentración de estos elementos en el material particulado MP10 y MP2,5, el Centro Nacional del Medio Ambiente realizó el año 2014 un nuevo estudio de evaluación de riesgos en la comuna de Arica. Las concentraciones de metales en MP2,5 fueron prácticamente no detectables, atribuibles bajos niveles de la fracción fina y al tiempo de obtención de muestra (24 h por filtro). Se evaluaron 21 escenarios de exposición en las cercanías de las estaciones de monitoreo de calidad de aire. La cuantificación de riesgo indicó que, para efectos no carcinogénicos, los índices de peligro se encontraron bajo el nivel de riesgo aceptable. Igualmente, se evidenció que el nivel de riesgo incremental de cáncer se encontró por debajo del nivel de riesgo aceptable, sin embargo, se utilizó un nivel de corte de $1E^{-5}$. En cuanto al plomo, la distribución de menores entre 0 y 7 años de edad que exceden el nivel de referencia de 5 µg Pb dL⁻¹ en ningún caso fue mayor al 3%.

El año 2015, la Pontificia Universidad Católica de Chile presentó una propuesta para la determinación de la concentración máxima, aceptable, de arsénico en suelo. Esto, luego de seleccionar al metaloide como contaminante de interés tras una evaluación genérica de los riesgos a la salud de la población expuesta a los agentes descritos en el Reglamento de la Ley 20.590, dado que su concentración en suelo excede el nivel de riesgo aceptable ($1E^{-6}$). Para ello, se evaluó el nivel de exposición de la población de Arica a los elementos en estudio y se caracterizó su riesgo de acuerdo al análisis de las matrices ambientales en el periodo 2013 y rutas de exposición que presentaran una vía completa. La evaluación de los riesgos a la salud humana se basó, en lo medular, en la metodología de evaluación de salud pública de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de EE.UU. En cuanto a la distribución de los niveles esperados de Plomo en sangre en población infantil, se

estableció que a un valor de 44,48 mg de plomo por Kg de suelo (correspondiente al límite superior del intervalo de confianza de la media, 95% de confianza) se espera que el 2,7% de la población entre 6 meses y 7 años de edad supere el valor de 5 μg de plomo por dL^{-1} en sangre. La determinación de la concentración máxima aceptable de arsénico inorgánico en suelo tomó en consideración un binomio que incluye la concentración basal del metaloide (18 mg Kg^{-1}) y la concentración basada en riesgo (1E^{-6}). En consecuencia, la concentración máxima aceptable de arsénico en suelo para la comuna de Arica fue designada en 26 mg kg^{-1} .

El año 2015 CENMA realizó un nuevo estudio de evaluación de los riesgos tomando en consideración las concentraciones de metales de interés (Hg, Cd, Cr, As y Pb) determinadas en el estudio “Determinación de la concentración de los contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por la presencia de polimetales” desarrollado entre junio y diciembre de 2014. El estudio, además, incorpora una evaluación simplificada de la calidad del aire durante febrero y marzo del 2015. Las concentraciones de metales en material particulado fino (MP2,5) fueron prácticamente no detectables lo cual se atribuye a que los niveles de MP2,5 son bajos. El tiempo de obtención de muestras fue de 72 h. En el material particulado MP10, el límite superior del intervalo de confianza de la media (toda la ciudad) fue As $0,0053 \mu\text{g m}^{-3}$; Pb $0,0098 \mu\text{g m}^{-3}$; Cr $0,0071 \mu\text{g m}^{-3}$; Cd $0,0006 \mu\text{g m}^{-3}$ y Hg $0,00034 \mu\text{g m}^{-3}$. La evaluación de riesgos evidenció que, con respecto a Pb, la concentración estadísticamente representativa de este metal en la ciudad ($96,61 \text{ mg kg}^{-1}$) no supera una distribución mayor al 1,2% de excedencia del nivel de $5 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ en sangre y una media geométrica de $1,7 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$, según el modelo Modelo Biocinético Integrado de Exposición y Distribución para el Plomo en Niños. En tanto, el arsénico fue el contaminante de interés en la ciudad de Arica para los efectos crónicos carcinogénicos. La ingestión accidental de suelo es la vía de exposición que más aportó al riesgo y la inhalación de partículas con metales fue una vía con aporte despreciable al riesgo.

En resumen, las evaluaciones de riesgo llevadas a cabo en el periodo tienden a concluir que el arsénico es el contaminante de interés en el suelo de la ciudad de Arica.

Tabla 2 Estudios relacionados a evaluación de riesgos a la salud humana para la comuna de Arica en el periodo 2009-2015.

AÑO	ESTUDIO	OBJETIVO	INSUMO	EJECUTOR
2012	Evaluación de Riesgos a la Salud de la Población por la Presencia de Polimetales en la Matriz Suelo, en la Ciudad de Arica 2012.	Dar seguimiento al Estudio de Análisis Químico de Suelos de la Ciudad de Arica (Agriquem 2008 – 2009) y desarrollar una evaluación y análisis de los potenciales riesgos a la salud de la población de la ciudad de Arica, asociados a la exposición de polimetales.	Determinaciones de arsénico, plomo, cadmio, cromo y mercurio en suelo superficial una grilla de 36 cuadrantes realizadas por el ejecutor del estudio.	CENMA.
2013	Resolución Exenta N° 406 (2013). Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes.	Desarrollar directrices para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes.	-	Ministerio del Medio Ambiente
2014	Determinación de calidad de aire y evaluación de riesgo en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo.	Determinar la calidad del aire y evaluar el riesgo de la comuna de Arica, afectada por la presencia de polimetales en la matriz suelo	Determinación de niveles background y concentración de contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por presencia de polimetales (CENMA, 2013). Determinación de la calidad del aire (2014) ejecutada en el estudio.	CENMA
2015	Determinación del nivel de riesgo aceptable de protección de salud humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo	Elaborar una propuesta técnica para la determinación del nivel de riesgo aceptable para la comuna de Arica y aplicar el nivel de riesgo aceptable para la determinación de niveles de referencia en suelo.	Determinación de niveles background y concentración de contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por presencia de polimetales (CENMA, 2013). Bases de datos SEREMI de Salud.	Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro UC – Toxicología CITUC.
2015	Determinación de calidad de aire y evaluación de riesgo en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo.	Determinar la calidad del aire y evaluar el riesgo de la comuna de Arica, afectada por la presencia de polimetales en la matriz suelo	Nivel de riesgo aceptable (2015), Pontificia Universidad Católica de Chile, Centro UC – Toxicología CITUC. Determinación de la concentración de los contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por la presencia de polimetales (2014), CENMA. Determinación de la calidad del aire (2015) ejecutada en el estudio.	CENMA

Fuente: Elaboración propia.

3.2 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE BIOMONITOREO

De acuerdo a lo establecido en la Ley 20.590, corresponde a la Secretaria Regional Ministerial de Salud, según los lineamientos del Ministerio de Salud, implementar un programa de detección, control y tratamiento de los efectos a la salud, producto a la exposición a polimetales en la población afectada. Para estos efectos, la SEREMI cuenta con un Centro de Salud Ambiental (CSA) el cual presta atención médica a las personas acreditadas como beneficiarias de la Ley 20.590. Según lo reportado por la SEREMI de Salud, 2016, el CSA registra 13.042 usuarios ingresados desde el año 2009 y el CSA ha enviado 12.595 muestras de sangre para análisis de plomo y 14.499 muestras de orina para análisis de arsénico inorgánico, mediante absorción atómica. Un análisis descriptivo detallado de los hallazgos de plomo en sangre se presenta en la Sección 4 de este documento. En el caso del arsénico, la distribución de valores sobre el nivel de referencia establecido ($35 \mu\text{g As L}^{-1}$ de orina) por el Ministerio de Salud se presenta en la Figura 3.

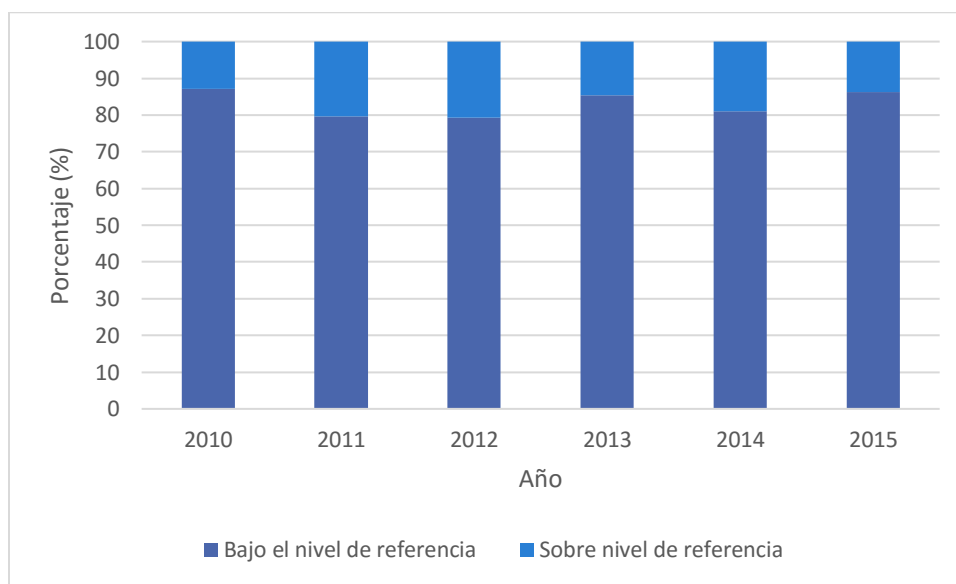


Figura 3 Distribución de valores de As inorgánico en orina de acuerdo a datos del CSA Arica.

Adicionalmente, a partir del año 2010 se estableció un sistema de vigilancia en preescolares y escolares de establecimientos educacionales localizados en sectores definidos de mayor exposición o en zonas aledañas. El sistema utiliza mediciones con técnica rápida de sangre capilar (LeadCare). Hasta el año 2015, un total de 20.007 mediciones se han realizado con esta técnica. Al 2015, el valor de referencia de este seguimiento es de $10 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ de sangre. Un análisis descriptivo detallado de estos datos, se presenta en la Sección 4 de este documento.

3.3 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS

A continuación, se resumen y caracterizan los estudios epidemiológicos identificados en el estudio relacionados a exposición a polimetales en Arica.

Caracterización de escolares participantes en tamizaje de plomo en la ciudad de Arica, Chile.

Año 2010. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadores: L. Villarroel. C. Ferreccio.

Objetivo: Describir los niveles de plomo en sangre en niños escolares para planificar intervenciones sanitarias tendiente a reducir riesgos e identificación y mitigación de efectos presentes y futuros.

Tipo de estudio: Transversal de base individual.

Población evaluada: Escolares de nivel pre-escolar y escolar de 15 establecimientos de Arica.

Muestra: 8391 niños.

Mediciones de exposición: Tamizaje con LeadCare II; límite de anormalidad $> 10 \mu\text{g}$ de Pb dL^{-1} de sangre. Confirmación de plomo en sangre y arsénico urinario con espectrometría de absorción atómica (EAA). Límites plomo $> 10 \mu\text{g}$ de Pb dL^{-1} y arsénico inorgánico $> 35 \mu\text{g L}^{-1}$.

Efecto(s) medido: Exposición.

Hallazgos más relevantes: 73 (0,87%) plomo alterado por screening. 6 (8,3%) confirmados por EEA. As: de 73 sujetos, 4 (5,7%) con As > 35 . Sin diferencias significativas en el promedio de Pb y As entre zonas expuestas y no expuestas ($p = 0,831$). Sin diferencias significativas en porcentaje de casos con arsénico $\geq 35 \mu\text{g L}^{-1}$ entre zonas expuestas y no expuestas ($p=0,448$)

Conclusiones: La población evaluada presenta niveles bajos de exposición a Pb, sin diferencias significativas entre áreas expuestas y no expuestas. Los autores recomiendan mantener vigilancia de la exposición y educar a las personas sobre las fuentes de exposición y sobre medidas de mitigación y prevención en los niños.

Estudio perfil epidemiológico de la comuna de Arica, comparado con dos comunas, y propuesta de Vigilancia Epidemiológica Ambiental en Salud.

Informe 1: Actualización bibliográfica.

Año 2011. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadores: L. Villarroel. C. Ferreccio.

Objetivo: Revisión de la literatura científica nacional e internacional a fin de establecer qué patologías se pudieran asociar a la exposición a metales presentes en matrices ambientales, con un patrón de exposición similar al observado en Arica.

Tipo de estudio: Revisión de la literatura científica periodo 2000-2010. 565 publicaciones revisadas; se seleccionan 54 artículos completos.

Población evaluada: No aplica.

Muestra: No aplica.

Mediciones de exposición: No aplica.

Efecto(s) medido: No aplica.

Hallazgos más relevantes: Evidencia sobre aborto espontáneo y bajo peso al nacer asociado a exposición a As en el agua. Resultados no concluyentes para cáncer de mama; cáncer de pulmón y vejiga asociado a exposición acumulada a As. Disfunción Renal y mortalidad por disfunción renal en países asiáticos asociado a exposición a altos niveles de cadmio. Enfermedad Cardiovascular: evidencia no concluyente. Enfermedad Respiratoria: efectos respiratorios asociada a $> 500 \mu\text{g L}^{-1}$ en agua potable. Diabetes: evidencia no concluyente con As. Función Cognitiva: asociación con As y Pb, no concluyente.

Conclusiones: Se seleccionan una serie de patologías, varias de ellas crónicas, evaluándose la disponibilidad de datos estadísticos sanitarios en Chile. Se eligen egresos hospitalarios y mortalidad.

Informe 2: Metodología de trabajo.

Año 2011. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadores: L. Villarroel. C. Ferreccio.

Objetivo: Describir la metodología para realizar estudio ecológico de series de tiempo y comparación geográfica del perfil epidemiológico de la comuna de Arica y otras regiones del país.

Tipo de estudio: Descripción de metodología.

Población evaluada: No aplica.

Muestra: No aplica.

Mediciones de exposición: No aplica.

Efecto(s) medido: No aplica.

Hallazgos más relevantes: Se describen las consideraciones metodológicas.

Conclusiones: Para estudio posterior se concluye: Arica alto metales/bajo nivel socio-económico (NSE); Antofagasta alto metales/alto NSE; La Serena bajo metales/alto NSE; Constitución bajo metales/bajo NSE.

Informe 3: Resultados.

Año 2011. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadores: L. Villarroel. C. Ferreccio.

Objetivo: Describir los perfiles epidemiológicos de las comunas de Arica en relación a Antofagasta, La Serena y Constitución, en el periodo 2000-2010, respecto a la presencia de ciertas patologías y causas

de muerte para establecer si existe asociación o no con la presencia ambiental de polimetales, ajustado por nivel socioeconómico (NSE).

Tipo de estudio: Ecológico. No individual.

Población evaluada: Población de Arica vs Antofagasta, La Serena y Constitución.

Muestra: Arica (183.120 hab.), Antofagasta (354.461 hab.), La Serena (200.244 hab.), Constitución (53.139 hab.), según estimaciones población INE 1990-2020.

Mediciones de exposición: Se revisaron condiciones ambientales sobre exposición a polimetales; como co-variables se revisaron características geográficas, climáticas y nivel socioeconómico (NSE).

Efecto(s) medido: OR con Intervalo de Confianza al 95%

Hallazgos más relevantes: Cáncer (Ca) de pulmón, vejiga y piel con As: no se obtiene conclusiones válidas al comparar por egresos hospitalarios por posible derivación de casos a otros hospitales. Reducción para Ca pulmón. Ca de pulmón y vejiga mayor en Antofagasta asociado a alta exposición a As en la infancia. Ca de piel tiene alza el 2003, asociado posiblemente a alta radiación UV del norte. Ca de estómago en Constitución, previamente reportado, posiblemente asociado a infección crónica por *Helicobacter Piloni* y NSE. Tasa de bajo peso al nacer (inferior a 1500 gramos), sin diferencia significativa entre comunas, aumento leve en Arica durante el período en estudio. Este comportamiento no se observó en el peso inferior a 2500 gramos, peso inferior a 3000 gramos y en la tasa de pequeños para la edad gestacional. Riesgo de egresos por aborto espontáneo en Arica, con descenso significativa hasta el año 2004, con incremento promedio de 23.7% entre 2005 y 2007. Tasa de egresos por HTA, en Arica muestra un leve descenso. Para asma, los resultados no permiten relacionar esta causa de egreso en Arica con As. Tasa de egresos por EPOC presenta leve tendencia al aumento. Tasa de egresos por bronquiectasias tendencia creciente observada en las tasas de esta comuna. Tasa de mortalidad por enfermedad pulmonar intersticial que pareciera estar aumentando, sin embargo, no se podría atribuir únicamente a la exposición a polimetales. Tasa de egreso por insuficiencia renal crónica, se observa importante disminución a partir del 2004, sin embargo, este resultado no permite relacionar los egresos por IRC con la presencia de Cd, Cr o Pb en Arica. Tasa de egreso por depresión tendencia significativa al aumento desde el 2004 en Arica.

Conclusiones: Tasas de defunción por Ca de pulmón y de vejiga se muestran menores en Arica comparado con Antofagasta el año 2008, pero mayor que La Serena y Constitución, por lo que no se puede extraer una conclusión que relacione estas causas de muerte con As. Respecto peso al nacer no se observa una asociación de la exposición a metales en Arica, sin embargo, es necesario vigilar el comportamiento del peso menor a 1500 gramos. Respecto a aborto espontáneo en Arica, los resultados no permiten extraer una conclusión que lo relacione As. No fue posible vincular metales con egresos hospitalarios por Infarto al Miocardio o HTA para la comuna de Arica. No es posible vincular la presencia de As o Zn en Arica con los egresos por Asma o EPOC, aunque es importante vigilar esta última. Es importante vigilar el comportamiento de Arica. Aunque no es posible establecer una relación entre Pb y depresión, se recomienda vigilar su comportamiento.

Informe 4: Eventos elegibles para un sistema de vigilancia epidemiológica ambiental.

Año 2011. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadores: L. Villarroel. C. Ferreccio.

Objetivo: Identificar las áreas elegibles para una vigilancia epidemiológica de la salud de la población de Arica específicamente en relación a potenciales eventos asociados a polimetales. A partir de los estudios 1,2 y 3, expertos en salud pública y epidemiología elaboran recomendaciones específicas para Arica.

Tipo de estudio: Descripción de metodología.

Población evaluada: No aplica.

Muestra: No aplica.

Mediciones de exposición: No aplica.

Efecto(s) medido: No aplica.

Hallazgos más relevantes: Propuestas de vigilancia de patologías estudiada: Ca pulmón, vejiga, piel y mama necesidad de Registro Poblacional de Ca al menos considerando estadísticas sanitarias disponibles. Insuficiencia renal crónica y mortalidad por cirrosis según egresos hospitalarios (DEIS). Bronquiectasia, EPOC, enfermedad pulmonar intersticial según egresos hospitalarios y Programa IRA. Mortalidad infantil, malformaciones congénitas y Peso al nacer < 1.500 g mediante vigilancia de recién nacido y estadísticas sanitarias DEIS. Deterioro cognitivo en niños Aplicación de test psicométricos Chile Crece Contigo. Vigilancia de biomarcadores de exposición Medición sistemática de polimetales en sangre de cordón.

Conclusiones: Diseñar y establecer para cada evento de interés el sistema de vigilancia correspondiente.

Caracterización de base de datos de recién nacidos y su relación materna a contaminantes de suelos en Arica. Chile

Año 2011. Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador: María Paz Bertoglia Arredondo.

Objetivo: Determinar los efectos de la exposición a arsénico y plomo en suelo en gestantes y recién nacidos que residen en zonas expuestas de la comuna de Arica.

Tipo de estudio: Transversal de base individual (recién nacidos) con datos secundarios de una cohorte concurrente (Estudio Boro en Arica-PUC)

Población evaluada: Recién nacidos de madres que atendían sus controles perinatales en algunos de los consultorios de la comuna de Arica y atendieron su parto en el Hospital Juan Noé entre los años 2007-2008.

Muestra: 2.487 mujeres embarazadas y en etapa puerperal equivalente a sus 2.487 recién nacidos

Mediciones de exposición: Georreferenciación de datos de As, Pb en suelo realizado previamente por estudio AGRIQUEM I y Plan Maestro. Posteriormente se establece para As en suelo de residencia con <20 mg kg⁻¹ (exposición baja) y >20 mg kg⁻¹ (exposición alta) según normativa UE y Australia de suelos

residenciales. Para Pb <400 mg kg⁻¹ (exposición baja) y >400 mg kg⁻¹ (exposición alta) según normativa de la US EPA para suelos residenciales. Exposición: según lo anterior, 3 categorías: BAJA: baja exposición a As y Pb; MEDIA: baja a As-alta a Pb. o alta a As - baja a Pb; ALTA: alta exposición a As y Pb.

Efecto(s) medido: Efectos reproductivos según residencia en áreas con diferentes niveles de Pb o As.

Hallazgos más relevantes: El 4% de las encuestadas vive en localidad de alta exposición a As y el 1,26% en alta exposición a Pb. Según categorías: el 0,04% estuvo en la categoría de alta exposición, el 5,17% en media y 94,78% en baja exposición. No hubo diferencias significativas entre edad, peso antes del embarazo, peso al último control del embarazo, talla materna o IMC previo al embarazo o al último control del embarazo dependiendo de la zona geográfica y niveles de exposición. Tampoco en la característica de los partos ni sexo del recién nacido, edad gestacional, peso al nacer, talla, circunferencia de cráneo ni APGAR al minuto o a los 5 minutos. Se observa mayor porcentaje de gestaciones de pre-término en nivel de exp. media/alto sin significancia estadística. Se observaron 7 fallecimientos y 73 abortos ambos sin significancia estadística según exposición. PESO AL NACER AJUSTADO: no presenta diferencias estadísticamente significativas dependiendo del nivel de exp. pero presenta diferencias significativas por sexo (masculino >peso promedio al nacer), edad gestacional, hijos previos al embarazo actual, IMC. EDAD GESTACIONAL AJUSTADA: no presenta diferencias estadísticamente significativas dependiendo del nivel de exp., pero si se observa dependiendo del sexo, peso del recién nacido, hijos previos al embarazo actual, IMC. ÍNDICE DE MASCULINIDAD: mayor en zonas de exp. media/alta sin significancia estadística.

Conclusiones: No existe un efecto significativo en los hijos de madres que durante un embarazo se expusieron a diferentes niveles de exposición al Plomo y/o Arsénico en suelo. Los principales efectos a estudiar, como número de abortos, fallecidos, peso al nacer e índice de masculinidad, no presentaron ninguna asociación estadísticamente significativa con los niveles de exposición a los polimetales estudiados.

Estudio de las características Cognitivas de niños expuestos a Plomo en la Ciudad de Arica, Chile

Año 2011. Universidad de Chile. Investigador: Verónica Iglesias

Objetivo: Determinar si la concentración de plomo sanguíneo se asocia con menor desempeño en la evaluación del coeficiente intelectual y el rendimiento en sub-escalas del WISC-IIIv.ch en niñas y niños entre 6 y 15 años atendidos en el Centro de Salud Ambiental de Arica.

Tipo de estudio: Transversal de base individual, información proporcionada por la SEREMI de Salud de la región de Arica y Parinacota.

Población evaluada: 180 niños de 6 a 15 años que residen en zonas afectadas y que son atendidos en el Centro de Salud Ambiental. Criterio de exclusión niños con enfermedades sistémicas en estadio agudo, con tratamientos que afectan el sistema nervioso central, limitaciones del sistema sensorial (ciegos y sordos), con enfermedades motoras de origen central y/o periférico y con condiciones psiquiátricas que estén en situación crítica.

Muestra: 180 niños.

Mediciones de exposición: Concentración de Pb en sangre a través de espectrofotometría de absorción atómica y As en orina (datos proporcionados por SEREMI). Cuestionario de exposición ambientales: tiempo de residencia, tabaquismo, características del hogar, actividad laboral, agua, sector de la vivienda.

Efecto(s) medido: Deterioro cognitivo en niños según niveles de plomo en sangre.

Hallazgos más relevantes: Mediana de CI total en los niños: 87 puntos (RIC 79-98 puntos); mediana de CI de madres: 89 puntos (RIC 80-96 puntos). Para Plomo, ajustando por variables de confusión se evidencia relación inversa en algunas categorías de Pb y CI total y verbal, no significativa para ninguna categoría. Para Arsénico, se observó una relación inversa y significativa sólo para el grupo que presenta valores de arsénico urinario menor a $20 \mu\text{g L}^{-1}$ por lo que estos resultados no son concluyentes y deben ser vistos con cautela. Respecto la concentración de ambos metales determinados en suelo para una sub-muestra de los niños no se observó una relación con los biomarcadores. En el caso de la concentración de Pb en suelo, en el análisis de correlación se observó una relación inversa y significativa con el CI de Ejecución. Respecto la concentración de arsénico, no se observó una relación con los puntajes de CI.

Conclusiones: Los resultados de este estudio no son concluyentes en cuanto al efecto de la exposición a plomo y arsénico sobre el coeficiente intelectual, sin embargo, sugieren que en el grupo que presenta concentraciones de arsénico urinario menor a los $20 \mu\text{g L}^{-1}$ la concentración de arsénico se relacionaría significativamente con la disminución del CI. Adicionalmente se observaron diferencias de 5 puntos en el CI de los niños que nacieron antes y después de la remoción del acopio lo que podría estar relacionado con niveles de exposición diferentes en los períodos críticos del desarrollo. Se recomienda reevaluar por parte de un equipo multidisciplinario al 25% de la muestra que presentó diferencias mayores a 18 puntos entre el CI Verbal y CI de Ejecución.

4. CONCENTRACIÓN DE METALES Y ARSÉNICO EN EL SUELO DE LA COMUNA DE ARICA, PERIODO 2015.

De acuerdo a la información provista por el Ministerio del Medio Ambiente, se realizó un análisis espacial y estadístico descriptivo de los resultados de las mediciones en suelo superficial realizadas el año 2015. En este periodo, se obtuvieron un total de 119 muestras de suelo obtenidas del horizonte de 0 a 20 cm de profundidad. La distribución espacial del muestreo realizado en este periodo, se presenta en la Figura 4.

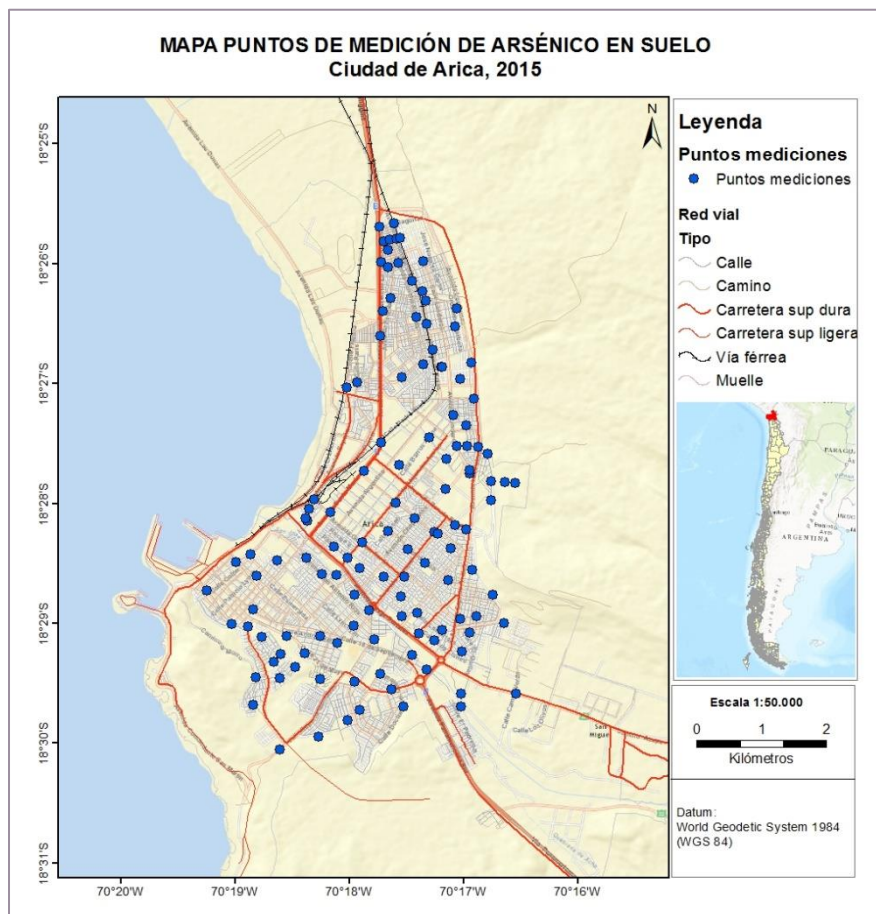


Figura 4 Localización de los puntos de muestreo del periodo 2015.

En general, las localizaciones de los puntos de muestreo son coincidentes dentro de un rango de 50 metros en las determinaciones de los años 2013, 2014 y 2015. En comparación al año 2014, los puntos determinados en el periodo 2015 son coincidentes a excepción de un punto (Figura 5).

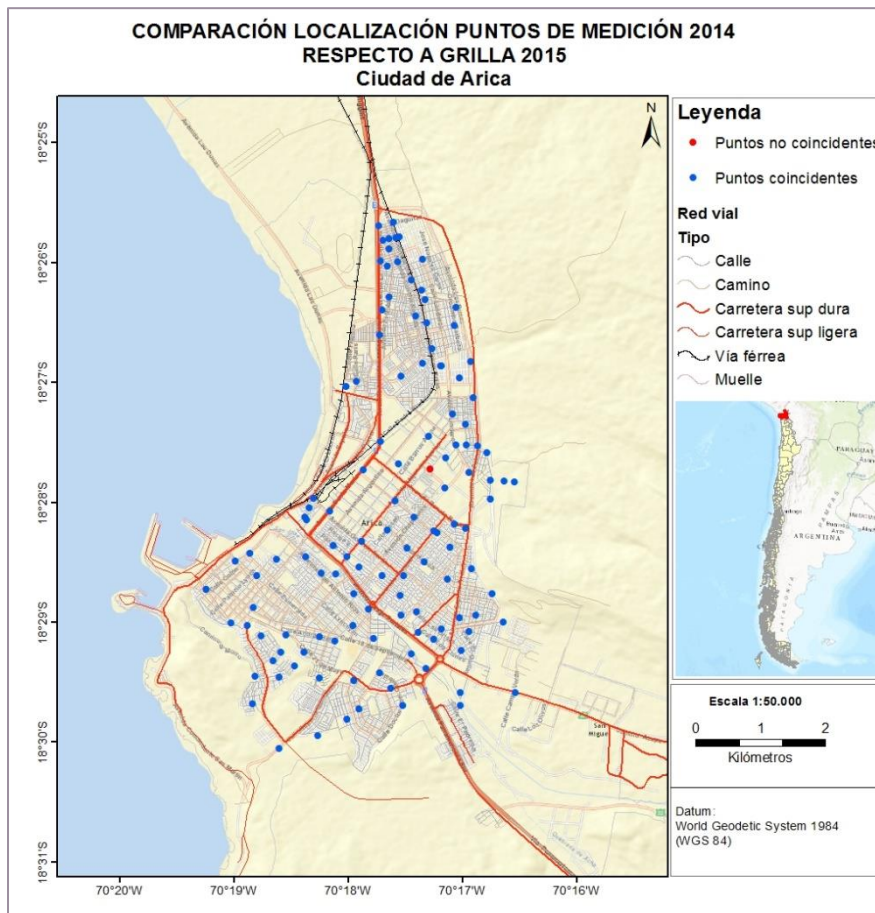


Figura 5 Comparación de la localización de los puntos de muestreo 2014 y 2015.

La estadística descriptiva, incluyendo el límite superior del intervalo de confianza de la media aritmética al 95% de confianza, UCL, se computaron utilizando el software ProUCL 5.0, al igual que el análisis de la distribución de los datos (Tabla 3). Ninguno de los valores de metales y arsénico se presentó bajo el límite de detección. En cuanto a la distribución estadística de los datos, los valores reportados de arsénico, cadmio, mercurio y plomo no siguieron una distribución identificable, mientras que los valores de Cr siguieron una distribución Gamma.

Tabla 3 Estadística descriptiva de las determinaciones de polimetales en suelo de la comuna de Arica, periodo 2015.

ELEMENTO	MÍN	MÁX	MEDIA	DESVEST	UCL	DISTRIBUCIÓN SUGERIDA UCL	P50	P75	P90	P95
Cr	7,72	45,99	19,18	6,91	20,20	Gamma	18,00	22,65	28,57	32,53
Cd	3,00	23,18	7,76	3,34	8,28	Student's modificada	6,91	8,72	11,09	14,53
As	6,99	73,47	19,91	11,62	21,71	Student's modificada	16,36	21,43	39,19	49,00
Hg	0,0027	1,2246	0,0490	0,1390	0,1045	Chebyshev	0,0127	0,0258	0,0782	0,2071
Pb	7,64	776,12	53,35	90,35	89,46	Chebyshev	29,32	54,17	97,97	194,00

Fuente: Elaboración propia. Mín.: valor mínimo. Máx.: valor máximo. Media: media aritmética. Desvest.: desviación estándar. UCL: límite superior del intervalo de confianza de la media (95%). Px: Percentil. Los valores se presentan como mg kg⁻¹ de suelo. N = 119.

5. EVALUACIÓN DE DATOS PROVENIENTES DE BIOMONITOREOS DE PLOMO EN SANGRE, ARICA.

El plomo se encuentra incluido en el Decreto 80 de 2014 (Ministerio Secretaria General de la Presidencia) como uno de los contaminantes de interés en la comuna de Arica. Este metal, se encuentra presente naturalmente en la corteza terrestre. Históricamente, las mayores fuentes antropogénicas se han asociado a su empleo en gasolinas y su uso como pigmento en pinturas interiores y exteriores. En nuestro país, el Decreto 133 de 2004 del Ministerio de Economía; Fomento y Reconstrucción Establece especificaciones de calidad de los combustibles que indica fija un límite nacional de $0,013 \text{ g Pb L}^{-1}$ para las combustibles gasolina para motores de ignición por chispa, kerosene y petróleo diésel, con excepción de la Región Metropolitana o regiones o zonas del país en que se aprueben planes para la descontaminación que pueden requerir de un estándar más estricto. En la Región Metropolitana, este límite se estableció bajo el Decreto 58 de 2003 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia Reformula y actualiza plan de prevención y descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana. A su vez, en el año 1997 el Ministerio de Salud fijó un límite máximo permisible en pinturas de $0,06\% \text{ Pb}$ en base seca o contenido no volátil, con excepción de ciertos productos listados en el Artículo 5° del Decreto 374 de 1997 del Ministerio de Salud Fija límite máximo permisible de plomo en pinturas que indica. A su vez, el Decreto 114 de 2005 del Ministerio de Salud Aprueba el reglamento sobre seguridad de los juguetes establece una biodisponibilidad diaria de $0,7 \mu\text{g}$ de plomo en juguetes.

La evaluación de los riesgos derivados de la exposición humana a plomo es compleja dado que la evidencia científica acumulada en la actualidad no permite determinar un umbral o dosis apropiada para la derivación de un valor toxicológico referencial. Por esta razón, el parámetro utilizado para la evaluación de los riesgos es el nivel de plomo en sangre, un biomarcador de exposición.

Los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) modificaron el año 2012 el nivel de referencia de plomo en sangre a $5 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ para la identificación de menores y ambientes asociados a niveles de exposición peligrosos. Este valor se basa en el percentil 97,5 de los niños entre 1 y 5 años de la *National Health and Nutrition Examination Survey* de los Estados Unidos 2007-2008 y 2009-2010 (Centers for Disease Control and Prevention, 2012). A notar, los CDC mantienen el criterio de quelación en niños con $\geq 45 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Las evaluaciones de riesgo llevadas a cabo en el marco de los estudios ambientales de la Ley de Polimetales (Sección 2.1) han utilizado el modelo de exposición toxicocinético basado en la fisiología (en inglés, PBTK) denominado modelo IEUBKwin y desarrollado por la US EPA (White et al., 1998) para la predicción del nivel de plomo en sangre a partir de determinaciones de plomo en matrices ambientales. El modelo permite establecer los niveles sanguíneos de plomo en niños de 6 meses a 7 años a partir de la exposición dietaria, ingesta de agua, ingestión de suelo, inhalación de polvo y otras fuentes. Este grupo etario es considerado la población más sensible a los efectos del plomo.

Utilizando el modelo, CENMA 2012, estableció que concentraciones entre 33 a $206 \text{ mg Pb Kg}^{-1}$ se traducen en una distribución del 0 al $0,62\%$ de la población de niños sobre $10 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ sangre. Cuando el nivel del suelo es de $339 \text{ mg Pb Kg}^{-1}$, el nivel sanguíneo podría exceder los $10 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$

sangre en 4,3% de los niños y en suelos con 560 mg Pb Kg⁻¹, se espera un 18,4 % de los niños exceda los 10 µg Plomo dL⁻¹. El año 2014, CENMA utilizando los valores de plomo en suelo en distintos colegios de la comuna de Arica, concluye que la distribución de menores entre 0 y 7 años de edad que exceden el nivel de referencia de 5 µg Pb dL⁻¹ en ningún caso sería mayor al 3% utilizando el modelo IEUBKwin. La Pontificia Universidad Católica de Chile (2015) considerando una concentración de plomo en suelo de 44,48 mg Pb Kg⁻¹ de suelo y la concentración en la fracción fina del material particulado, ambas equivalentes al límite superior del intervalo de confianza de la media (95%), el porcentaje de población que se esperaba supere 5 µg Plomo dL⁻¹ sangre era de 2,7% y una media geométrica de 2,0 µg Plomo dL⁻¹. CENMA, 2015, utilizando un valor de 96,61 mg Pb Kg⁻¹, la concentración de Pb en material particulado (fracción no identificada) y valores por defecto del modelo, estableció que el 1,2% de los niños podrían exceder los 5 µg Plomo dL⁻¹ y una media geométrica de 1,7 µg Plomo dL⁻¹. La evaluación de riesgos evidenció que, con respecto a Pb, la concentración estadísticamente representativa de este metal en la ciudad (96,61 mg kg⁻¹) no supera una distribución mayor al 1,2% de excedencia del nivel de 5 µg Pb dL⁻¹ en sangre y una media geométrica de 1,7 µg Pb dL⁻¹.

Si bien el modelo de la US EPA ha sido validado, se reconoce la incertidumbre asociada al uso de este modelo dado que los factores de exposición considerados pueden no ser necesariamente representativos de la situación de la población de Arica. Por esta razón, analizar la información disponible proveniente de los estudios de biomonitorio de plomo en sangre puede complementar la aproximación a la determinación del nivel de exposición de la población.

En Arica, se dispone de mediciones de plomo en sangre correspondientes al monitoreo que lleva a cabo el Centro de Salud Ambiental (CSA) de Arica y del sistema de vigilancia de pre-escolares y escolares provenientes de establecimientos educacionales en zona de exposición a polimetales o aledañas a ellas. El valor referencial de plomo utilizado como criterio de corte en el inicio de ambos programas fue 10 µg Plomo dL⁻¹. Sin embargo, en la actualidad se propone establecer medidas preventivas en niveles de 5 µg Plomo dL⁻¹, según lo establecido en la guía de vigilancia biológica de la población expuesta a plomo, beneficiarios de la Ley N° 20.590 (Ministerio de Salud, 2014; SEREMI de Salud Arica Parinacota, 2016).

La base de datos de plomo en sangre del Centro de Salud Ambiental consta del registro de 12.342 individuos entre los años 2008 y 2015. Las características de la población en estudio, se presenta en la Tabla 4. Tal como se observa, la media de los individuos es de 31 años y principalmente corresponde a habitantes del Sector F de la ciudad. Temporalmente, más de la mitad de los registros corresponde a mediciones realizadas el año 2010,

Tabla 4 Caracterización de la población (edad, sexo, zona de residencia) CSA plomo en sangre mediante absorción atómica, horno de grafito.

AÑO MUESTREO	(n)	%
2008	1	,0
2009	408	3,3
2010	7.741	62,7
2011	2662	21,6
2012	622	5,0
2013	226	1,8
2014	131	1,1
2015	551	4,5
Total	12.342	100,0
SEXO		
Hombre	5.809	47,1
Mujer	6.533	52,9
Total	12.342	100,0
EDAD (años)		
Min	1	-
Max	93	-
Media	31,26	-
SECTOR DE RESIDENCIA		
Chinchorro	204	1,7
Fuera del sector	229	1,9
Maestranza	349	2,8
Puerto	313	2,5
Santa Rosa	183	1,5
Sector F	11.064	89,6

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de valores de plomo en sangre por rango etario se presenta en la Tabla 7. Dado que el segmento etario más sensible a los efectos de Pb corresponde a los niños de 0-6 años, se derivó la media geométrica de los valores de Pb en sangre para cada año reportado y los percentiles P₅₀, P₇₅, P₉₀ y P₉₅ (Tabla 5). Este grupo etario es de especial importancia dado que presenta una mayor exposición a agentes presentes en suelo (U.S. EPA, 2011). Lo anterior, se observa al calcular el riesgo de obtener un nivel $\geq 5 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en menores de 6 años el cual es 4,5 veces mayor en relación a otros grupos de edad (OR: 4,49; IC_{95%}: 3,51-5,74; $p < 0,001$). De la misma forma, se analizó el rango etario de 6-11 años (Tabla 6). La técnica analítica utilizada en las determinaciones de plomo en sangre corresponde a absorción atómica, horno de grafito, con un límite de detección equivalente a $1 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$. En el análisis de los resultados, para valores bajo el límite de detección se computó la mitad de este valor (Hornung y Reed, 1990). Tal como se observa, el número de individuos en el rango de edad 0-5 años de la base de datos del CSA es limitada (aproximadamente 2%), mientras que en el rango de edad 6-11 años éstos corresponden al 12%. En el grupo 0-6 años la media geométrica se ubica en el rango de $0,75 - 1,64 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$, mientras que en el grupo de 6-11 años la media geométrica se localiza en el rango $1,07 - 1,40 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$. La estadística descriptiva de la base de datos del CSA, se presenta en la Tabla 7.

Tabla 5 Estadística descriptiva de plomo en sangre CSA, grupo 0-6 años, periodo 2009-2015.

AÑO	Med. Geom.	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	n
2009	-	-	-	-	-	0
2010	0,75	0,5	1	3	3	41
2011	1,64	2	3	6	9	53
2012	1,52	1,5	3	6	7,5	60
2013	1,42	2	3	3	3	23
2014	1,30	1	2	4	5	22
2015	1,18	2	2	2	3	31

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Tabla 6 Estadística descriptiva de plomo en sangre CSA, grupo 6-11 años, periodo 2009-2015.

AÑO	Med. Geom.	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	n
2009	1,40	2	3	5	6	295
2010	1,10	1	2	4	5	888
2011	1,11	1	2	4	4	187
2012	1,15	1	2	3	3	47
2013	1,07	1	2	3	3	15
2014	1,25	1	2	2	2	9
2015	1,35	2	2	3	3	22

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Tabla 7 Distribución etaria y estadística descriptiva de valores de plomo en sangre según datos reportados por CSA (periodo 2008-2015).

GRUPO DE EDAD	n	Media	Med. Geom.	Min	Max	DS	P ₅	P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	P _{97,5}
1 a 5	1.281	2,06	1,61	0,99	27	1,97	0,99	0,99	0,99	1,00	2,00	4,00	6,00	7,00
6 a 11	1.277	1,54	1,31	0,99	24	1,39	0,99	0,99	0,99	0,99	2,00	3,00	4,00	5,00
12 a 19	1.726	1,30	1,16	0,99	24	1,11	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	2,00	3,00	3,00
20 a 39	3.391	1,29	1,16	0,99	33	1,04	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	2,00	3,00	3,20
40 a 59	3.211	1,47	1,27	0,99	40	1,40	0,99	0,99	0,99	0,99	2,00	2,00	3,00	4,00
60 y +	1.224	1,64	1,38	0,99	23	1,50	0,99	0,99	0,99	0,99	2,00	3,00	4,00	5,00
Edad no reportada	232	2,02	1,61	0,99	12	1,67	0,99	0,99	0,99	1,00	3,00	4,00	5,00	6,18
Total	12.342	1,49	1,27	0,99	40	1,38	0,99	0,99	0,99	0,99	2,00	3,00	3,00	5,00

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

En cuanto al sistema de vigilancia de pre-escolares y escolares, esta base contiene el nivel de Pb en sangre de 9.707 individuos cuyo rango de edad fluctúa entre los 2 y 20 años, con una media de 10 años. Esta base de datos se alimenta con los registros obtenidos mediante análisis de sangre capilar utilizando LeadCare. El límite de detección es 3,3 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$, valor mayor al de la técnica analítica utilizada en la base de datos del Centro de Salud Ambiental. Para el procedimiento de los datos, los valores bajo el límite de detección ($< 3,3 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$) se computó la mitad de este valor. Cuando estuvo disponible, se consideró el valor confirmado por el Instituto de Salud Pública en lugar del valor LeadCare, en la primera medición. En cuanto al grupo de niños entre 1-5 años de edad, se presenta un total de 1.382 valores con una media de 3,013 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ y media geométrica de 2,538 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$. La distribución de valores de plomo en sangre por año en este rango etario se presenta en la Tabla 8. La estadística descriptiva del grupo etario en el rango 6-11 años se presenta en la Tabla 9. La estadística descriptiva de la base de datos del sistema de vigilancia, se presenta en la Tabla 10.

Tabla 8 Estadística descriptiva de plomo en sangre del programa de vigilancia de escolares, grupo 1-5 años

AÑO	Med. Geom.	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	n
2012	2,21	1,65	3,50	4,80	5,70	574
2013	2,79	1,65	4,50	6,40	7,20	413
2014	2,45	1,65	4,00	5,30	6,40	307
2015	3,42	4,15	5,35	7,30	8,50	88

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Tabla 9 Estadística descriptiva de plomo en sangre del programa de vigilancia de escolares, grupo 6-11 años

AÑO	Med. Geom.	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	n
2012	1,98	1,65	1,65	4,10	5,00	3619
2013	1,87	1,65	1,65	3,60	4,50	2639
2014	2,18	1,65	3,50	4,60	5,50	953
2015	2,83	3,30	4,60	6,10	7,20	673

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Tabla 10 Estadística descriptiva de los valores de plomo en sangre del programa vigilancia de pre-escolares y escolares, Arica (periodo 2012-2015).

AÑO	n	MEDIA	MED. GEOM.	MIN.	MAX.	PERCENTIL							
						5	10	25	50	75	90	95	97,5
2012	4.634	2,2410	2,00	1,65	51,60	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	4,2	5,0	6,0
2013	3.052	2,2018	1,98	1,65	9,40	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	4,1	5,2	6,3
2014	1.260	2,6228	2,27	1,65	17,60	1,65	1,65	1,65	1,65	3,6	5,0	5,59	6,9
2015	761	3,5431	2,95	1,65	43,60	1,65	1,65	1,65	3,5	4,8	6,2	7,4	8,7
Total	9.707	2,3803	2,09	1,65	51,60	1,650	1,650	1,650	1,650	1,650	4,500	5,500	6,53

Fuente: Elaboración propia. Med. Geom.: Media Geométrica. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

En Chile, no se dispone de estudios oficiales con muestreos representativos a nivel nacional o regional de plomo en sangre en menores. La literatura científica nacional reporta datos limitados para Pb en sangre en niños menores a 6 años. Frenz y cols. (1997) determinó Pb en sangre en cordón umbilical de recién nacidos en Santiago (n = 312) y San Felipe (n = 113). Posteriormente, se realizó seguimiento a los 6, 12, 18 y 24 meses de vida. La media geométrica en cordón umbilical fue de 2,99 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ y 1,99 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ para los menores de Santiago y San Felipe, respectivamente. A los 2 años la media geométrica fue de 5,04 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en Santiago y 3,65 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en San Felipe. Sepúlveda y cols. (2000) determinó Pb en sangre mediante atomización electrotermal con espectrofotometría de masas a 570 niños residentes en el sector Ferrocarril, Puerto y un grupo no expuesto en la ciudad de Antofagasta. La media geométrica fue de 8,671 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$, 6,890 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ y 4,221 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en los niños residentes en sector Ferrocarril, Puerto y no expuestos, respectivamente. Tchernitchin y cols. (2006) reporta la determinación de Pb en sangre el año 1998, mediante LeadCare, en niños de 5-8 años (n = 41) residentes en el sector Santa María, Los Industriales y Cerro Chuño de la ciudad de Arica. Posteriormente, el año 1999 recluta la mayoría de los niños incluidos el año 1998 e incluye nuevos sujetos. La media de plomo en sangre, en el año 1999, fue de 18,1 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en los niños del sector Santa María (n = 12), 8,5 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en los niños del sector Los Industriales y Cerro Chuño (n = 116) y 5,8 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$ en niños del sector Pampa Nueva (n = 13).

En los Estados Unidos, los CDC publican cada 2 años los resultados obtenidos mediante la *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES). Este programa, incluye una serie de estudios que buscan evaluar el estado nutricional y de salud de adultos y niños en los Estados Unidos. Uno de los parámetros evaluados en este programa corresponde a plomo en sangre. La Tabla 11 presenta las medias geométricas y percentiles del rango etario 1-5 años de plomo en sangre reportadas en las NHANES 2007-2008 y 2009-2010. Las encuestas de estos periodos fueron utilizadas por los CDC para la derivación del valor referencial actual de plomo en sangre en niños (CDC, 2012).

Tabla 11 Estadística descriptiva valores de plomo en sangre grupo 1-5 años, NHANES 07-08 y 09-10.

ENCUESTA	Med. Geom.	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	P ₉₅	N
07-08	1,51	1,43	2,10	3,20	4,10	817
09-10	1,17	1,15	1,70	2,39	3,37	836

Fuente: Elaboración propia. Valores expresados en $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

Se observa que las medias de plomo en sangre obtenidas con los datos del CSA y el Programa de vigilancia de pre-escolares y escolares son menores a los hallazgos de Tchernitchin y cols. (2006), el año 1999 en la ciudad de Arica. Al comparar las medias geométricas de plomo en sangre de grupos etarios equivalentes del programa de vigilancia pre-escolares y escolares en Arica y NHANES, se observa que las obtenidas en Arica son levemente superiores a las reportadas en Estados Unidos, sin embargo, esta diferencia puede atribuirse en gran medida a la metodología analítica empleada en el programa de vigilancia de Arica. Mientras en NHANES el límite de detección de la técnica es de 0,25 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$, en Arica este límite es de 3,3 $\mu\text{g Plomo dL}^{-1}$, cuando se usa LeadCare. Sin perjuicio de lo anterior, es importante indicar que el programa de vigilancia de pre-escolares y escolares busca

pesquisar menores con valores elevados de exposición a plomo, a diferencia de NHANES que -en esencia- busca establecer patrones poblacionales de exposición. Si bien los datos obtenidos del CSA y del Programa de vigilancia impiden la extrapolación de estos resultados a la población de la comuna de Arica, ya que se desconoce la metodología de muestreo, permiten una aproximación complementaria a la utilizada en la modelación matemática para evaluar el nivel de exposición a plomo en menores a través de la matriz suelo. En este sentido, las medias geométricas de los valores de plomo en sangre obtenidos por el Centro de Salud Ambiental y el Programa de vigilancia de pre-escolares y escolares representan niveles bajos de exposición a Pb. A notar, la media geométrica obtenida en el programa de vigilancia de pre-escolares y escolares ($2,1 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$, todos los individuos) se aproxima a lo modelado por la Pontificia Universidad Católica de Chile el año 2015, en donde se estima una concentración de plomo en sangre de $2,0 \mu\text{g Plomo dL}^{-1}$.

La distribución temporal de las medias de plomo en sangre en menores de la ciudad de Arica según lo reportado por el programa de vigilancia de pre-escolares y escolares (medias geométricas) y lo reportado por Tchernitchin et al., 2006, el año 1999 (media aritmética) se presenta en la Figura 6. La gráfica incluye, además, las intervenciones reglamentarias que se han adoptado a nivel nacional para la disminución de plomo en la población y que a nivel internacional se han definido como fuentes importantes de exposición a plomo.

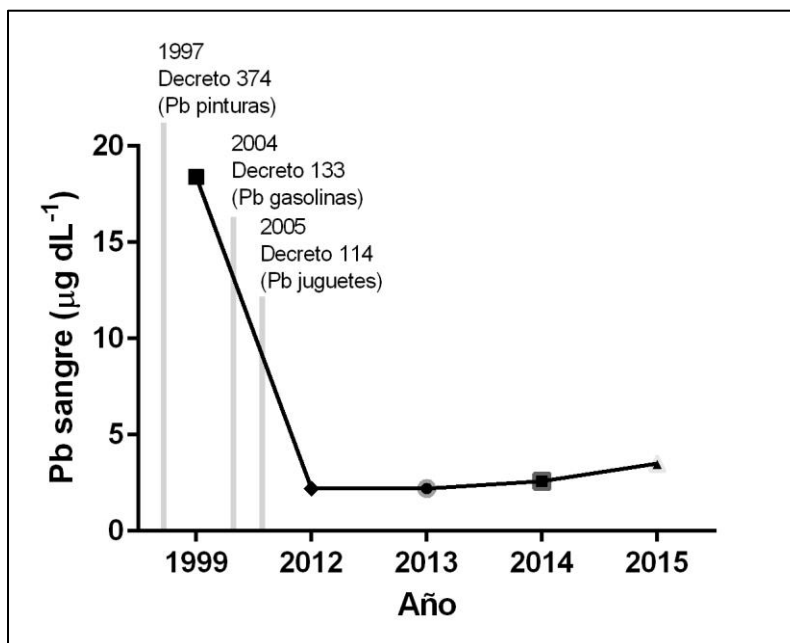


Figura 6 Distribución temporal de las medias de plomo en sangre en menores de Arica según lo reportado en el programa de vigilancia y Tchernitchin et al., 2006.

6. EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD HUMANA

En el año 2015, el Comité de Expertos de la Pontificia Universidad Católica de Chile convocado por el Ministerio del Medio Ambiente (Resolución Exenta N° 1053, octubre 2014, Ministerio del Medio Ambiente Designa equipo de expertos para la aplicación de la evaluación de riesgo contemplada en el D.S. N° 80 de 2014) estableció que el arsénico inorgánico es el agente de interés debido a que la concentración del metaloide en el suelo de la comuna de Arica se presentaba sobre el nivel de riesgo aceptable a la salud humana. Sin perjuicio de lo anterior, el informe elaborado por el Comité establece que la concentración natural de este elemento se presenta sobre el nivel de riesgo aceptable. Dado ambos antecedentes, a modo de gestión del riesgo, el nivel de riesgo aceptable derivado para arsénico inorgánico se estableció en 29 mg As kg⁻¹ suelo (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2015).

Posteriormente, utilizando los valores de polimetales obtenidos el año 2014 en suelo y aire, el Estudio Determinación de la Calidad del Aire y Evaluación de Riesgo en la Comuna de Arica por la Presencia de Polimetales en la Matriz Suelo, CENMA 2015, concluye del mismo modo que el arsénico es el contaminante de interés en la comuna de Arica.

En este contexto, utilizando los valores de polimetales en el periodo 2015, se cuantificó la exposición de la población residente en la comuna de Arica bajo un escenario genérico residencial y se cuantificó el riesgo de efectos carcinogénicos y no carcinogénicos de una manera determinística, de modo de determinar si la premisa que indicaba que el arsénico es el contaminante de interés se mantenía válida para este periodo. De esta forma, se justificaría la evaluación de nuevas zonas de riesgo en base a los valores de As en el suelo de la comuna.

6.1 CARACTERIZACIÓN GEOGRAFICA DE LA COMUNA DE ARICA

Según la clasificación de Köppen¹, la ciudad de Arica se emplaza en la zona climática de “Desierto costero con nublados abundantes (BWn)”, caracterizada por presentar escasas precipitaciones, baja oscilación térmica tanto diaria como anual y temperaturas que oscilan en 5,5°C. Además, se pueden presentar neblinas a ras de suelo, las que se conocen como camanchaca. En términos más específicos, los bajos niveles de precipitación alcanzan un total anual en torno a los 1,5 mm (Figura 7). Por consiguiente, el clima es seco, sin embargo, es moderado por sus altos niveles de humedad relativa promedio, los que superan 70% durante todo el año.

¹ Clasificación climática propuesta por Wladimir Köppen a comienzo del S.XX. Se basa en dos elementos climáticos, la temperatura del aire y la cantidad de agua disponible, en relación con las características fitogeográficas del territorio.

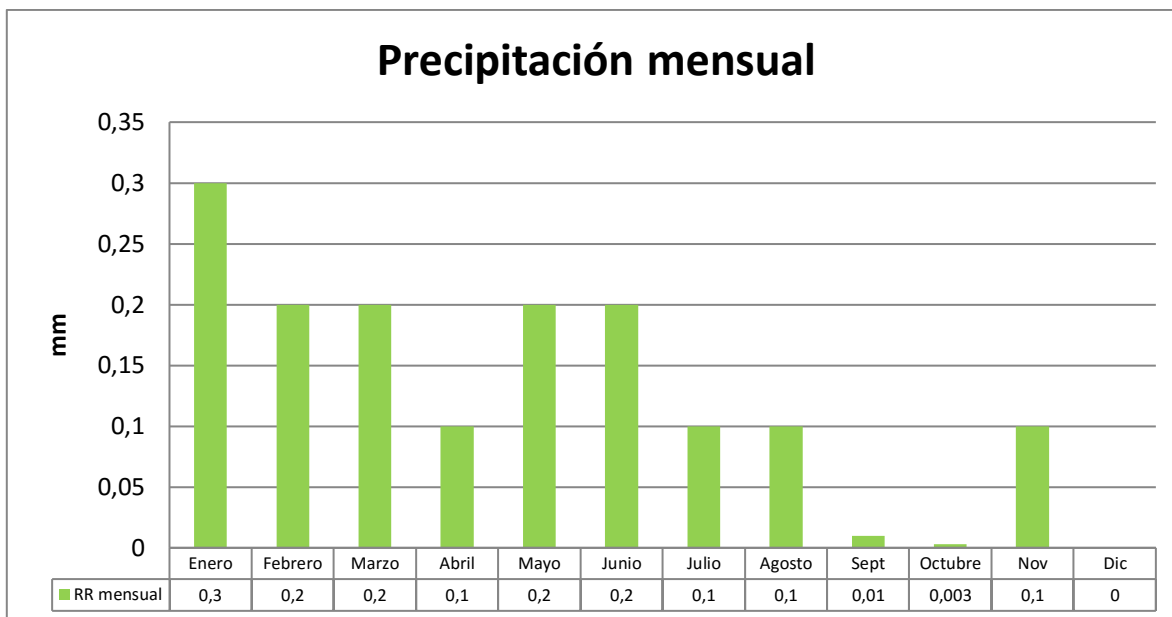


Figura 7 Precipitación mensual en la ciudad de Arica.

La ciudad de Arica se localiza dentro de la extensa planicie litoral que presenta la Región de Arica y Parinacota. Su área urbana es atravesada por el Río San José, de cauce esporádico, siendo alimentado únicamente por precipitaciones estivales (régimen pluvial) provenientes del altiplano. Su caudal medio anual es de $1,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Información Hídrica de las Cuencas Priorizadas, Dirección General de Aguas). Siguiendo con las condiciones hidrográficas del territorio, al norte de Arica se encuentra la desembocadura Río Lluta, que a su vez configura el humedal costero más septentrional de Chile. Dicho río, al igual que el río San José, es capaz de alimentar el desarrollo agrícola generado en las partes bajas de su cuenca. Presenta un caudal promedio de $2,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ determinado en gran parte por las precipitaciones altiplánicas ocurridas en los meses de verano.

6.2 DETERMINACIÓN DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN INVOLUCRADAS

La evaluación de los riesgos a la salud humana requiere, como primera etapa, la confección de un modelo conceptual que incluye la identificación de las principales fuentes, luego determinar la calidad de los datos ambientales, y luego identificar los receptores. Este modelo permite la identificación de la hipótesis de exposición y la identificación de los receptores de acuerdo a un marco lógico. Para la construcción del modelo conceptual se deben tener en consideración los componentes ambientales y humanas que conducirían a esta exposición. Una vía de exposición consta de los siguientes cinco elementos:

1. Una fuente de contaminación,
2. transporte a través de un compartimiento ambiental,
3. un punto de exposición,
4. una ruta de exposición humana, y
5. un receptor

Las vías de exposición se pueden designar como completa, potencial o eliminada dependiendo de la existencia o no de estos elementos. En una vía de exposición “completa” se presentan los cinco elementos y en una vía de exposición “potencial” al menos uno de los cinco elementos no ha sido confirmado, pero puede existir. A su vez, una vía de exposición puede ser eliminada si al menos uno de los cinco elementos nunca estará presente. La vía completa podrá, además, ser actual o pasada. Solo aquellas vías completas son consideradas apropiadas para la identificación de la hipótesis de exposición.

En el contexto de la Ley de Polimetales de Arica, históricamente, se han definido como fuentes de contaminación los residuos con elevadas concentraciones de metales y Arsénico acopiados en el denominado sitio F, el transporte de minerales por el ferrocarril Arica-La Paz y el acopio de materiales en el puerto (Tchernitchin et al., 2006; CENMA, 2015). Sin perjuicio de lo anterior, el análisis espacial de las determinaciones de metales y arsénico en el periodo 2013 a 2015, Sección 6 de este documento, indica que la distribución de estos elementos se presenta actualmente de manera aleatoria en la comuna de Arica. Lo anterior, no permitiría sostener la hipótesis de una actividad actual de aquellas fuentes históricas. Adicionalmente, el suelo de la ciudad de Arica contiene naturalmente concentraciones considerables de polimetales (CENMA, 2013). Por esta razón, el suelo de la comuna de Arica se designó como una fuente difusa de exposición bajo el modelo conceptual.

Tanto la dispersión eólica de partículas de suelo, y su posterior inhalación, como la ingesta involuntaria de suelo y el contacto dérmico directo pueden constituir mecanismos de transporte y vías de exposición que constituyan un perfil adecuado para las hipótesis de exposición de la población residente en la comuna. Las rutas y vía de exposición asociadas a la ingesta de agua de consumo y la ingesta de frutas, verduras y otros alimentos se han considerado rutas incompletas de exposición dado que no se describen antecedentes que permitan asociar la presencia de metales y arsénico en el suelo de la comuna Arica con la ingesta de estos elementos a través de los alimentos o el agua potable. Como receptor, bajo este modelo, se identificó a la población de la comuna – adultos y niños- en un escenario residencial

En resumen, el modelo conceptual (Figura 8) consideró las siguientes vías completas de exposición para la población de la ciudad de Arica asociadas a la exposición a metales y arsénico provenientes del suelo como fuente difusa:

- a) inhalación de material particulado con contenido de metales y Arsénico,
- b) ingestión involuntaria de suelo con la presencia de los Polimetales.
- c) contacto dérmico con suelo con la presencia de los Polimetales.

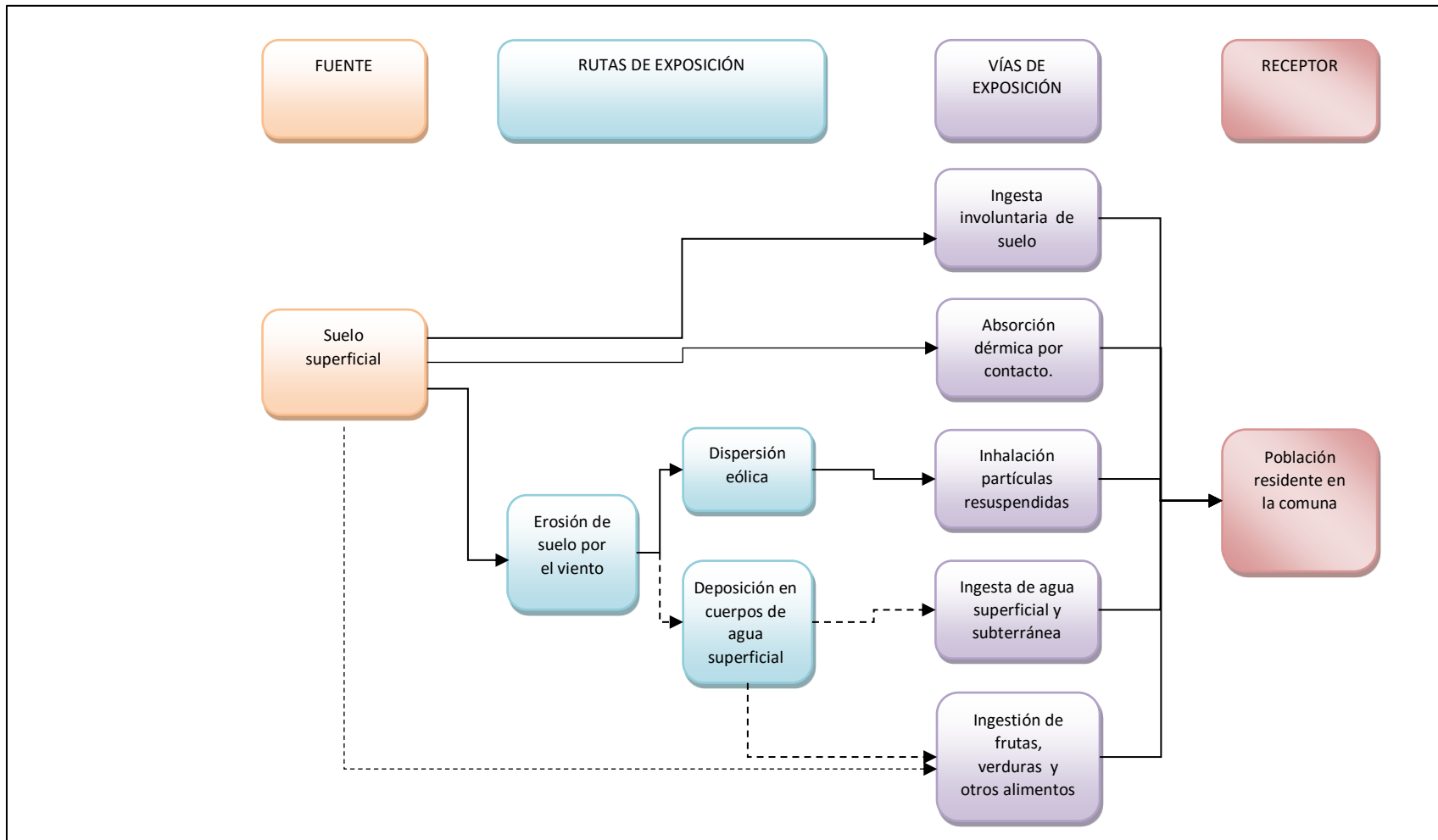


Figura 8 Modelo conceptual para la evaluación de riesgos a la salud humana debido a la presencia de polimetales en la matriz suelo de la comuna de Arica, periodo 2015.

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNA DE ARICA

La comuna de Arica pertenece a la Provincia de este mismo nombre, ubicada en la Región de Arica y Parinacota. Según información del INE obtenida en el censo del 2002, la comuna posee una superficie de 4.799,4 km² y una población de 185.268 habitantes, de los cuales 93.526 son mujeres y 91.742 hombres. Arica acoge a un 43,23% de la población total de la región. De sus habitantes, un 5,3% corresponde a población rural y un 94,7 % a población urbana.

Esta comuna limita al norte con Perú, ubicada a 19 Km. de la Línea de la Concordia donde se encuentra el complejo fronterizo de Chacalluta, el más activo del país y a 2.071 Km. de Santiago. Al sur limita con la provincia de Tarapacá.

Los poblados y localidades que conforman la comuna son: Poconchile, en el Valle del Río Lluta y San Miguel de Azapa, en el valle del mismo nombre. Otras localidades de la comuna son Villa Frontera, Molinos, Sora, Alto Ramírez, Sobraya, Ausipar y Timar.

6.4 DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EXPOSICIÓN

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se confeccionaron 2 escenarios genéricos de exposición para la comuna de Arica, considerando el límite superior del intervalo de confianza de la media al 95% determinado para cada agente en la matriz suelo en el horizonte de 0-20 cm (Tabla 3). De esta forma, se puede consignar la exposición de un residente que se desplaza por la ciudad dentro del día y a lo largo del periodo de exposición.

Escenario 1: Niños (0-6 años), escenario residencial.

Escenario 2: Adultos (18 – 70 años), escenario residencial.

En cuanto a los factores de exposición, la tasa de ingesta de suelo en niños, duración de la exposición residencial en niños, peso corporal niños y adultos, área corporal en adultos y niños se basó en U.S. EPA Exposure Factors Handbook (2011a). La tasa de ingesta y duración de la exposición en adultos, escenario residencial, se basó en U.S. EPA, 1991. Los factores de adherencia dérmicos fueron tomados de U.S. EPA, 2004.

Se consideró una biodisponibilidad oral del 100% a excepción de As y Cr en los que se consideró una biodisponibilidad de 0,55 y 0,57, respectivamente, de acuerdo a estudios de bioaccesibilidad de estos elementos en suelo de la comuna de Arica (CENMA, 2013). La biodisponibilidad dérmica de As y Cd fue obtenida de U.S. EPA (2004) y la de Cr(VI) de U.S EPA (2001b).

6.5 CALCULO DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN

En función de las vías de exposición identificadas en el modelo conceptual, se determinó la dosis diaria promedio anual (DDPA), la dosis diaria promedio de por vida (DDPV), concentración diaria promedio anual (CDPA) y la concentración promedio de por vida (CDPV), utilizando las ecuaciones y factores que se describe a continuación.

6.5.1 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR INGESTIÓN INVOLUNTARIA DE SUELO

La dosis de ingestión involuntaria de metales y arsénico en suelo se calculó mediante la Ecuación 1.

$$DDPx - \text{oral} = (Cs \times Tx \times FC \times BDx \times FE \times DE) / (PCx \times TPx)$$

Ecuación 1

Donde:

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
DDPx - oral	-	Dosis diaria promedio anual/de por vida – oral	mg (Kg-día) ⁻¹
Cs	-	Concentración en suelo	mg Kg suelo ⁻¹
Tx		Tasa ingestión suelo	
	100	Tasa ingestión suelo adultos	mg día ⁻¹
	200	Tasa ingestión suelo niños	mg día ⁻¹
FC	1,00E ⁻⁰⁶	Factor de conversión	Kg mg ⁻¹
BDX		Biodisponibilidad oral	
	0,55	Biodisponibilidad As	Adimensional
	0,57	Biodisponibilidad Cr	Adimensional
	1	Biodisponibilidad Cd	Adimensional
FE	365	Frecuencia de exposición	Días año ⁻¹
DE		Duración de la exposición	
	30	Duración de la exposición - adultos	Años
	6	Duración de la exposición - niños	Años
PCx		Peso corporal	
	80	Peso corporal adultos	Kg
	15	Peso corporal niños	Kg
TPx		Tiempo ponderado	
	10950	Tiempo ponderado – adultos – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – adultos – carc.	Días
	2190	Tiempo ponderado – niños – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – niños – carc.	Días

6.5.2 DOSIS DE EXPOSICIÓN POR CONTACTO DIRECTO DEL SUELO CON LA PIEL

La dosis debido a la exposición a metales y arsénico en suelo a través de la vía dérmica se calculó mediante la Ecuación 2.

$$DPx - der = (Cs \times FC \times BDx \times F \times SCx \times FAX \times FEx DE) / (PCx \times TPx)$$

Ecuación 2

Donde:

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
DDPx - der	-	Dosis diaria promedio anual/de por vida – dérmica	mg (Kg-día) ⁻¹
Cs	-	Concentración en suelo	mg Kg suelo ⁻¹
FC	1,00E ⁻⁰⁶	Factor de conversión	Kg mg ⁻¹
BDX		Biodisponibilidad dérmica	
	0,03	Biodisponibilidad As	Adimensional
	0,013	Biodisponibilidad Cr	Adimensional
	0,001	Biodisponibilidad Cd	Adimensional
F	1	Frecuencia del evento	Eventos día ⁻¹
SCx		Superficie corporal expuesta	
	6032	Superficie corporal expuesta – adultos	cm ²
	2373	Superficie corporal expuesta – niños	cm ²
FAX		Factor de adherencia	
	0,07	Factor de adherencia	mg (cm ²) ⁻¹
	0,04	Factor de adherencia	mg (cm ²) ⁻¹
FE	365	Frecuencia de exposición	Días año ⁻¹
DE		Duración de la exposición	
	30	Duración de la exposición – adultos	Años
	6	Duración de la exposición – niños	Años
PCx		Peso corporal	
	80	Peso corporal adultos	Kg
	15	Peso corporal niños	Kg
TPx		Tiempo ponderado	
	10950	Tiempo ponderado – adultos – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – adultos – carc.	Días
	2190	Tiempo ponderado – niños – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – niños – carc.	Días

6.5.3 DOSIS POR INHALACIÓN DE PARTÍCULAS EN POLVO RESUSPENDIDO

La concentración de exposición calculada a partir de la inhalación de partículas re-suspendidas del suelo se calculó mediante la Ecuación 3.

$$CDPx - inh = (Cs \times FDP \times EV \times FEx DE) / (FEP \times PCx \times TPx)$$

Ecuación 3

Donde:

PARÁMETRO	VALOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
CDPx - inh	-	Conc. diaria promedio anual/de por vida – inhalat.	mg (m ³) ⁻¹
Cs	-	Concentración en suelo	mg Kg suelo ⁻¹
FDP	0,25	Fracción inhalada depositada en pulmón	Adimensional
EV	1	Eventos por día	Día ⁻¹
FE	365	Frecuencia de exposición	Días año ⁻¹
DE		Duración de la exposición	
	30	Duración de la exposición – adultos	Años
	6	Duración de la exposición – niños	Años
FEP	1,4E ⁻⁹	Factor de emisión de partículas	m ³ Kg ⁻¹
PCx		Peso corporal	
	80	Peso corporal adultos	Kg
	15	Peso corporal niños	Kg
TPx		Tiempo ponderado	
	10950	Tiempo ponderado – adultos – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – adultos – carc.	Días
	2190	Tiempo ponderado – niños – no carc.	Días
	25550	Tiempo ponderado – niños – carc.	Días

En base a lo anterior, se obtuvieron las dosis y concentraciones de exposición que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12 Dosis y concentraciones de exposición As, Cd, Cr y Hg, escenario residencial Arica, niños y adultos.

CONC./DOSIS - VÍA	As	Cd	Cr	Hg
DDPA - oral - adultos	1,49E-05	1,03E-05	1,43E-05	1,30E-07
DDPV - oral - adultos	6,39E-06	4,43E-06	6,16E-06	5,59E-08
DDPA - oral - niños	1,59E-04	1,10E-04	1,54E-04	1,39E-06
DDPV - oral - niños	1,36E-05	9,46E-06	1,31E-05	1,19E-07
DDPA - der - adultos	3,43E-06	4,37E-08	1,38E-06	5,51E-09
DDPV - der - adultos	1,47E-06	1,87E-08	5,94E-07	2,36E-09
DDPA - der- niños	4,12E-06	5,23E-08	1,66E-06	6,61E-09
DDPV - der - niños	3,53E-07	4,49E-09	1,42E-07	5,66E-10
CDPA - inh - adultos	3,88E-09	1,48E-09	3,61E-09	1,87E-11
CDPV - inh - adultos	1,66E-09	6,34E-10	1,55E-09	8,00E-12
CDPA - inh - niños	3,88E-09	1,48E-09	3,61E-09	1,87E-11
CDPV - inh - niños	1,66E-09	6,34E-10	1,55E-09	8,00E-12

Fuente: Elaboración propia. DDPA y DDPV expresadas en mg (kg-día)⁻¹. CDPA y CDPV expresadas en mg (m³)⁻¹.

6.6 RELACIÓN DOSIS RESPUESTA

La determinación de la relación dosis-respuesta permite identificar, idealmente, la dosis en la que no se ha observado la aparición del efecto crítico debido a la exposición al agente, usualmente proveniente de estudios en animales de experimentación. Por defecto, se considera como efecto crítico a aquel efecto adverso o su precursor que se presenta a la menor dosis de exposición. Considerando el efecto crítico, se determina la dosis en la que no se observa la aparición de este efecto de una manera estadísticamente significativa (NOAEL). Alternativamente, es posible modelar un valor *benchmark* por el cual se observa un aumento predeterminado del efecto crítico, estadísticamente significativo. En ambos casos, esta dosis se utiliza como punto de partida para la derivación de los valores de referencia toxicológicos, aplicando factores asociados a la incertidumbre derivada de la extrapolación de efectos observados en animales a los humanos y, también, entre individuos de la misma especie. Estos factores, permiten proteger a aquellas poblaciones más sensibles a los efectos de los agentes en estudio.

Desde el punto de vista conceptual, los valores de referencia toxicológicos se derivan utilizando los siguientes principios y convenciones:

- En el caso de las sustancias que producen efectos carcinogénicos, se asume que existe una relación lineal entre la dosis de exposición y el riesgo de cáncer, y tal efecto se presenta a cualquier nivel de exposición (efectos sin umbral),
- El riesgo de efectos no carcinogénicos es despreciable cuando la exposición es menor al umbral por el cual es poco probable que se presenten estos efectos adversos,
- Las poblaciones más sensibles a los efectos a la salud debido a la exposición a un agente son contabilizadas mediante la incorporación de factores o procedimientos que reducen la probabilidad de subestimar el riesgo.

Dadas estas premisas, para evaluar el riesgo de los efectos no carcinogénicos debido a la exposición crónica a los diferentes agentes por vía oral e inhalatoria, se utilizaron los Niveles de Riesgo Mínimo (MRL) derivados por la ATSDR y/o la dosis/concentración de referencia (RfD/RfC), desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, U.S. EPA, publicados en la base de datos IRIS a la fecha de confección de este informe (Tabla 13). En el caso de las dosis de referencia dérmica, en todos los casos, se derivaron mediante extrapolación de vías a partir de la dosis de referencia oral según U.S. EPA (2004). En caso de existir un valor de referencia de distinta magnitud para la misma vía, se seleccionó el parámetro más conservador. En el caso de los efectos carcinogénicos se seleccionaron los estimadores de riesgo carcinogénico (CSF/IUR) desarrollados por la US EPA, con excepción del factor de potencia carcinogénico vía oral para cromo hexavalente que se basó en Stern, 2010.

Tabla 13 Concentraciones/Dosis de referencia y factores de potencia carcinogénica As(i), Cd, Cr(VI) y Hg.

PARÁMETRO	As(i)	Cd	Cr(VI)	Hg
RfD (mg (kg-día) ⁻¹)	3,00E-04	5,00E-04	3,00E-03	No derivado
RfD – dérmica (mg (kg-día) ⁻¹)	3,00E-04	2,50E-05	7,50E-05	No derivado
RfC (mg (m ³) ⁻¹)	No derivado	No derivado	1,00E-04	3,00E-04
CSF (mg (kg-día) ⁻¹) ⁻¹	1,5	No derivado	0,5	No derivado
IUR (μg (m ³) ⁻¹) ⁻¹	4,30E-03	1,80E-03	1,20E-02	No derivado

Fuente: Adaptado de US EPA; IRIS Data Base y ATSDR (MRL).

En el caso del arsénico inorgánico, el efecto crítico para la derivación de la dosis de referencia oral se refiere a efectos dérmicos como hiperpigmentación, queratosis y complicaciones vasculares. Para la derivación del factor de potencia carcinogénico, éste se derivó a partir de estudios de cáncer a la piel y en el caso de la vía inhalatoria, cáncer de pulmón. Para cadmio, el efecto crítico para la derivación de la dosis de referencia oral se refiere a proteinuria. El factor de potencia carcinogénico por vía inhalatoria, se basó en estudios de cáncer a pulmón, tráquea y bronquios. Para cromo hexavalente, la dosis de referencia oral se basa en un NOAEL equivalente a 2,5 mg (kg día)⁻¹, sin reporte del efecto crítico. La concentración de referencia se basa en efectos respiratorios. El factor de potencia carcinogénico por vía oral se basa en la incidencia de tumores en intestino delgado en ratas y el factor de potencia por vía inhalatoria se basa en cáncer pulmonar. En el caso del mercurio, la concentración de referencia, se consideró como efecto crítico los efectos a nivel de sistema nervioso, entre ellos, temblor de manos, alteraciones de la memoria y disfunción autonómica.

6.7 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Para determinar la probabilidad de desarrollar los efectos adversos carcinogénicos y/o no carcinogénicos asociados a los agentes por parte de la población de la ciudad de Arica, en ambos escenarios, se derivó el cociente de peligro y el riesgo incremental de cáncer por vía oral, dérmica e inhalatoria, según corresponda. Adicionalmente, se derivó el índice de peligro y el nivel incremental total de riesgo de cáncer considerando la sumatoria de cocientes y riesgo incremental de cáncer de los agentes y vías. Las Tablas 14 y 15 presentan el resultado de la caracterización del riesgo por escenario de exposición.

Para los efectos no carcinogénicos, típicamente, un cociente de riesgo menor a la unidad representa un valor de riesgo no significativo.

En el caso de los efectos carcinogénicos, el modelo clásico de caracterización del riesgo aplicado a sustancias carcinogénicas y genotóxicas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) y la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR) se basa en el cálculo del riesgo incremental de cáncer debido a la exposición de por vida al compuesto, valor que debe contrastarse contra el nivel de riesgo aceptable.

En consecuencia, en este estudio un valor menor a $1E-6$ se consideró como nivel de riesgo aceptable para efectos carcinogénicos.

De acuerdo a lo presentado en las Tablas 14 y 15, se deduce que, tanto en adultos como en niños residentes en la comuna de Arica, el índice de peligro para efectos no carcinogénicos se encuentra en un nivel de riesgo aceptable, siendo el arsénico el mayor contribuyente a este índice. En el caso del riesgo incremental de cáncer, en ambos escenarios, esta probabilidad se encuentra por sobre el nivel de riesgo aceptable definido en $1E-6$. Tanto en adultos como en niños, el arsénico representa al menos el 76% del nivel de riesgo incremental. En base a lo anterior, se puede concluir que el arsénico presente en el suelo de la comuna de Arica (periodo 2015) sigue siendo el agente de interés para la gestión de la Ley de Polimetales de Arica.

Tabla 14 Cocientes de riesgo, índices peligro, nivel de riesgo incremental de cáncer, adultos, escenario residencial, Arica 2015.

EFFECTOS NO CARCINOGENICOS	As	Cd	Cr	Hg	ÍNDICE DE PELIGRO POR VÍA
Cociente Riesgo (oral + dérmico - adulto)	0,06	0,02	0,01	No aplica	0,09
Cociente Riesgo (inh - adulto)	No aplica	No aplica	0,00	0,00	0,00
ÍNDICE DE PELIGRO POR AGENTE	0,06	0,02	0,01	0,00	
ÍNDICE DE PELIGRO					0,09
EFFECTOS CARCINOGENICOS	As	Cd	Cr	Hg	RIESGO INCREMENTAL POR VÍA
Riesgo cáncer (oral + dérmico - adulto)	1,18E-05	No aplica	3,38E-06	No aplica	1,52E-05
Riesgo cáncer (inh-adulto)	7,14E-09	1,14E-09	1,86E-08	No aplica	2,68E-08
RIESGO INCREMENTAL POR AGENTE	1,18E-05	1,14E-09	3,40E-06		
RIESGO INCREMENTAL					1,52E-05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Cocientes de riesgo, índices peligro, nivel de riesgo incremental, niños, escenario residencial, Arica 2015.

EFFECTOS NO CARCINOGENICOS	As	Cd	Cr	Hg	ÍNDICE DE PELIGRO POR VÍA
Cociente Riesgo (oral + dérmico - niños)	0,54	0,22	0,05	No aplica	0,82
Cociente Riesgo (inh - niños)	No aplica	No aplica	0,00	0,00	0,00
ÍNDICE DE PELIGRO POR AGENTE	0,54	0,22	0,05	0,00	
ÍNDICE DE PELIGRO					0,82
EFFECTOS CARCINOGENICOS	As	Cd	Cr	Hg	RIESGO INCREMENTAL POR VÍA
Riesgo cáncer (oral + dérmico -niños)	2,10E-05	No aplica	6,65E-06	No aplica	2,76E-05
Riesgo cáncer (inh-niños)	7,14E-09	1,14E-09	1,86E-08	No aplica	2,68E-08
RIESGO INCREMENTAL POR AGENTE	2,10E-05	1,14E-09	6,67E-06		
RIESGO INCREMENTAL					2,77E-05

Fuente: Elaboración propia.

6.8 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.

La metodología de la evaluación de los riesgos a la salud humana debido a la exposición a sustancias químicas establece procedimientos definidos de manera científica y técnica dentro de un marco de referencia lógico a nivel internacional (WHO, 2010). Sin embargo, la adaptación de esta metodología a las condiciones de nuestro país conlleva un nivel de incertidumbre que, dada la escasa disponibilidad de estudios en nuestro país, no es posible de cuantificar. Uno de estos parámetros se refiere a los factores de exposición que se utilizan en la cuantificación de la exposición de la población. En este sentido, este estudio utilizó aquellos derivados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Si bien, no se discute la rigurosidad y validez de esos factores, genera un grado potencial de incertidumbre. La experiencia extranjera se fundamenta principalmente en estudios poblacionales que caracterizan al grupo en estudio. En nuestro caso, para disminuir el nivel de incertidumbre se hace necesario disponer de estos factores de manera local, los que debieran capturar los parámetros más relevantes para estimar exposición, al menos en los grupos más vulnerables.

Por otra parte, la derivación de las concentraciones/dosis de referencia y los factores de potencia carcinogénica representan una incertidumbre genérica en cualquier estudio de evaluación de riesgos. En este sentido, la extrapolación de efectos de una sustancia química carcinogénica administrada en altas dosis a los efectos a dosis considerablemente más bajas, conlleva un grado de incertidumbre. En el caso de los efectos crónicos no carcinogénicos, esta incertidumbre es compensada por la aplicación de factores de seguridad de modo de cubrir la variabilidad intra- e inter-especies, así como proteger a las poblaciones más vulnerables.

7. REDEFINICIÓN DE ZONAS DE RIESGO EN EL MARCO DE LA LEY DE POLIMETALES.

Dado que el arsénico continúa siendo el agente de interés para la gestión de la Ley de Polimetales de Arica, la redefinición de las zonas de riesgo para la salud de los habitantes de Arica tomó en consideración las concentraciones del metaloide en el suelo de la comuna, reportadas en el periodo 2013 a 2015.

La metodología aplicada para identificar la necesidad de incorporar nuevas zonas de riesgo, se dividió en las siguientes etapas:

- El análisis de distribución espacial de puntos muestreados en suelo en el periodo 2013-2015,
- Identificación de zonas de agrupación de valores o *clustering*,
- La temporalidad de las *clusters* derivados en cada año.

7.1 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS PUNTOS MUESTREADOS.

Para comprender la distribución espacial de los valores, se realizó un análisis de auto-correlación espacial con la herramienta estadística I de Moran. Esta herramienta contempla la ubicación y los valores de los datos de manera simultánea. Considerando el conjunto de mediciones y el atributo de interés (en este caso, las determinaciones de arsénico en suelo), se evaluó el comportamiento de las entidades. De esta forma, es posible comprender si existe algún patrón de distribución en términos de agrupación, si los datos son dispersos o simplemente su comportamiento es aleatorio.

El análisis de auto-correlación espacial (I de Moran) realiza estadística deductiva, por ende, los resultados siempre estarán comprendidos dentro del contexto de una hipótesis nula. Para esta herramienta, la hipótesis nula plantea que el atributo tiene una distribución aleatoria en relación a sus vecinos.

La Figura 9 arroja un score Z de 0,54 cifra que indica que la distribución no es significativamente diferente a la de un tipo aleatorio. Por su parte, el valor p de 0,58 no es significativo para rechazar la hipótesis nula. Por ende, se asume que la distribución espacial de los valores de las entidades sea el resultado de procesos espaciales aleatorios.

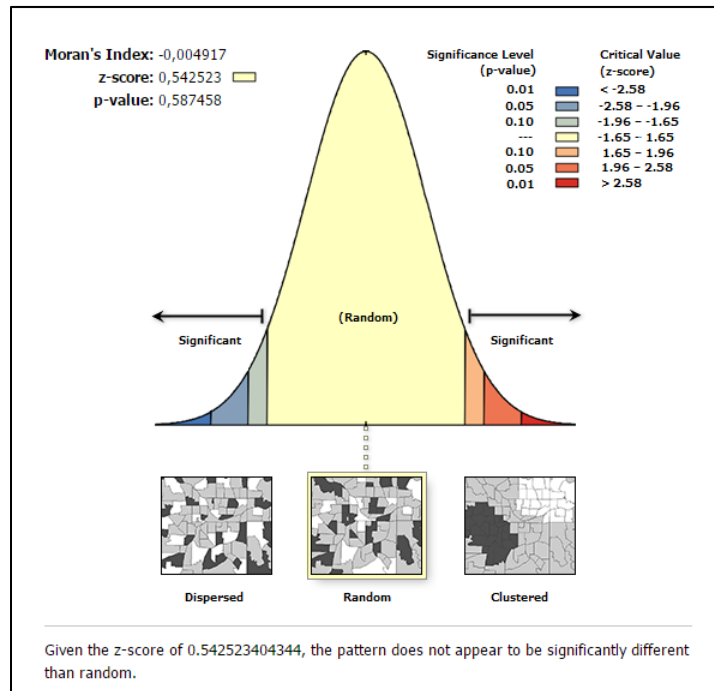


Figura 9 Resultados obtenidos con la herramienta estadística I de Moran, respecto de las mediciones de arsénico en el suelo de Arica para el año 2015. Fuente: Gráfico generado a partir del software ArcGis 10.2.

Complementariamente, y para comprender el comportamiento de los datos y su normalidad, se realiza un análisis e interpretación de parámetros estadísticos. Para analizar la dispersión de los datos, se utiliza la herramienta Normal QQplot (Figura 10), la que permite comparar la dispersión de los datos respecto de la diagonal de la distribución normal.

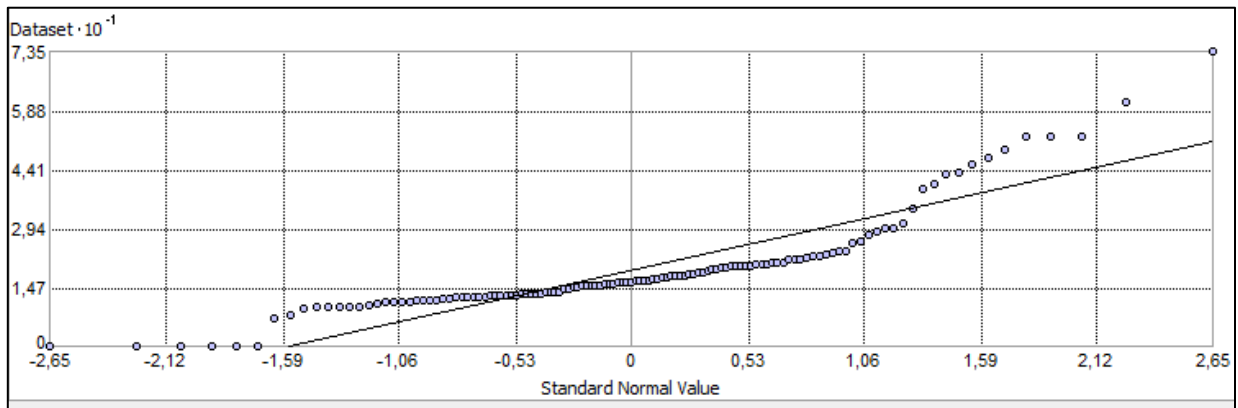


Figura 10 Análisis de la distribución de los valores de arsénico utilizando Normal QQplot. Fuente: Gráfico generado a partir del software ArcGis 10.2.2.

La Figura 10 refleja la dispersión de los datos de arsénico medidos durante el año 2015 para la ciudad de Arica, respecto de la diagonal de la normal. Como es posible apreciar, estos no se asemejaron a una distribución de tipo normal, aumentando aún más su dispersión hacia los extremos. Lo anterior es concordante con el resultado obtenido en el análisis descriptivo de los resultados de las mediciones en suelo superficial utilizando el software ProUCL 5.0, en que la distribución de los valores no siguió una distribución identificable. Cabe mencionar que los años 2013 y 2014, tuvieron un comportamiento similar. En todos los casos se deduce que no existe un patrón de distribución, en los valores de arsénico en la matriz suelo de la comuna de Arica.

7.2 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE AGRUPACIÓN DE VALORES O *CLUSTERING*.

A partir de técnicas de estadística espacial se analizaron los valores de arsénico en el suelo de la comuna de Arica, concluyendo que no se evidencia una autocorrelación espacial entre valores. En términos generales, tampoco es posible hablar de datos agrupados, sin embargo, existen algunos casos en que si existe una agrupación o *clustering* para cada año. Estos *clusters* fueron determinados a partir de una herramienta conocida como *Hotspots analysis*, la cual identifica puntos estadísticamente significativos que califica como puntos calientes, o puntos fríos. Para establecer puntos estadísticamente significativos, las entidades deben estar dentro de un contexto de entidades vecinas. Para que un punto caliente *hotspot* sea estadísticamente significativo, el dato debe tener un valor alto, y a su vez, estar rodeado de valores altos (ocurre lo mismo para los puntos fríos o *coldspots*).

La importancia del análisis de *clustering* radica en que una concentración de valores altos podría determinar la existencia de áreas donde predominen los valores altos, lo que generaría un punto de partida para la designación de zonas de riesgo o de riesgo potencial.

Para cada año, del periodo 2013 a 2015, se realizó un análisis de *hotspots*, bajo un criterio de distancia de “zona de indiferencia”, el cual considera que las entidades que están dentro de la banda de distancia están incluidas en los análisis. Si se excede la distancia crítica, la ponderación o nivel de influencia disminuye rápidamente. Además, se determinó el método de cálculo de distancia euclidiana, puesto a que esta considera una línea recta para medir la distancia entre dos puntos. La distancia de banda utilizada fue de 200 m.

La localización espacial de los *hotspots* de los años 2013, 2014 y 2015 se presentan en las Figuras 11, 12 y 13, respectivamente. Las coordenadas y los valores de arsénico en suelo de cada *hotspot* se presentan en la Tabla 16.

MAPA HOTSPOTS PUNTUAL DE ARSÉNICO EN SUELO
Ciudad de Arica, 2013

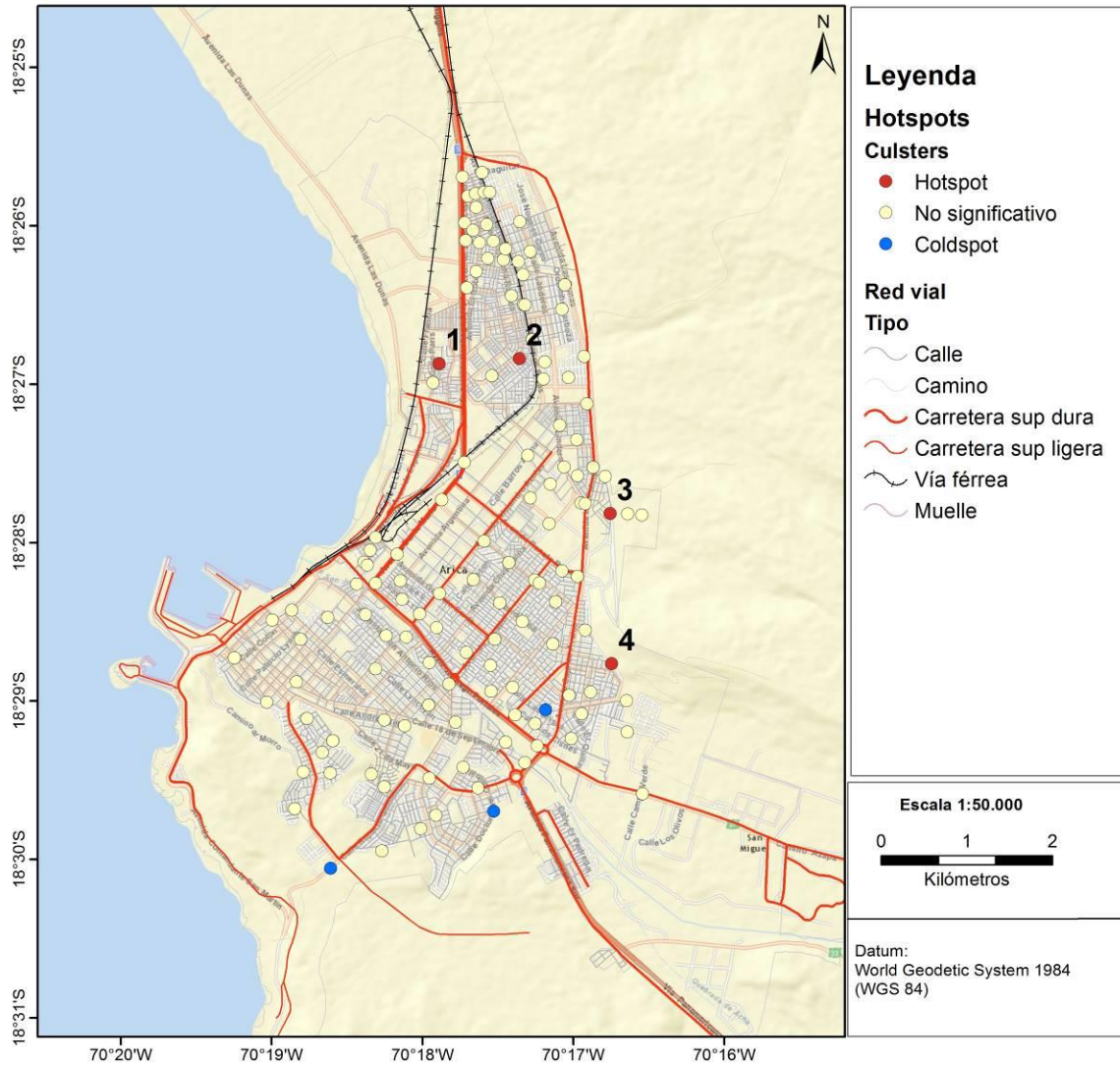


Figura 11 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2013.

MAPA HOTSPOTS PUNTUAL DE ARSÉNICO EN SUELO
Ciudad de Arica, 2014

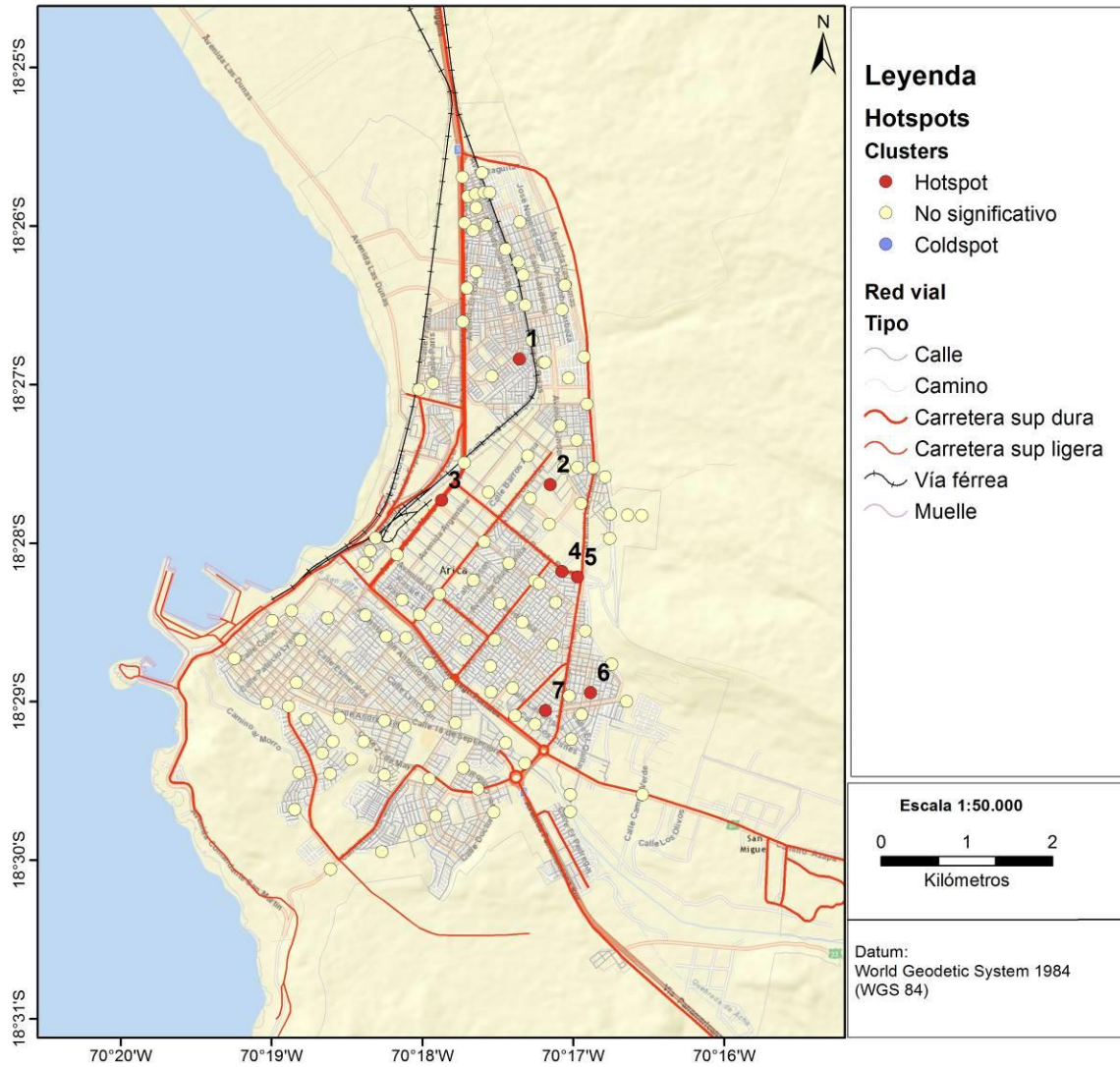


Figura 12 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2014.

MAPA HOTSPOTS PUNTUAL DE ARSÉNICO EN SUELO
Ciudad de Arica, 2015

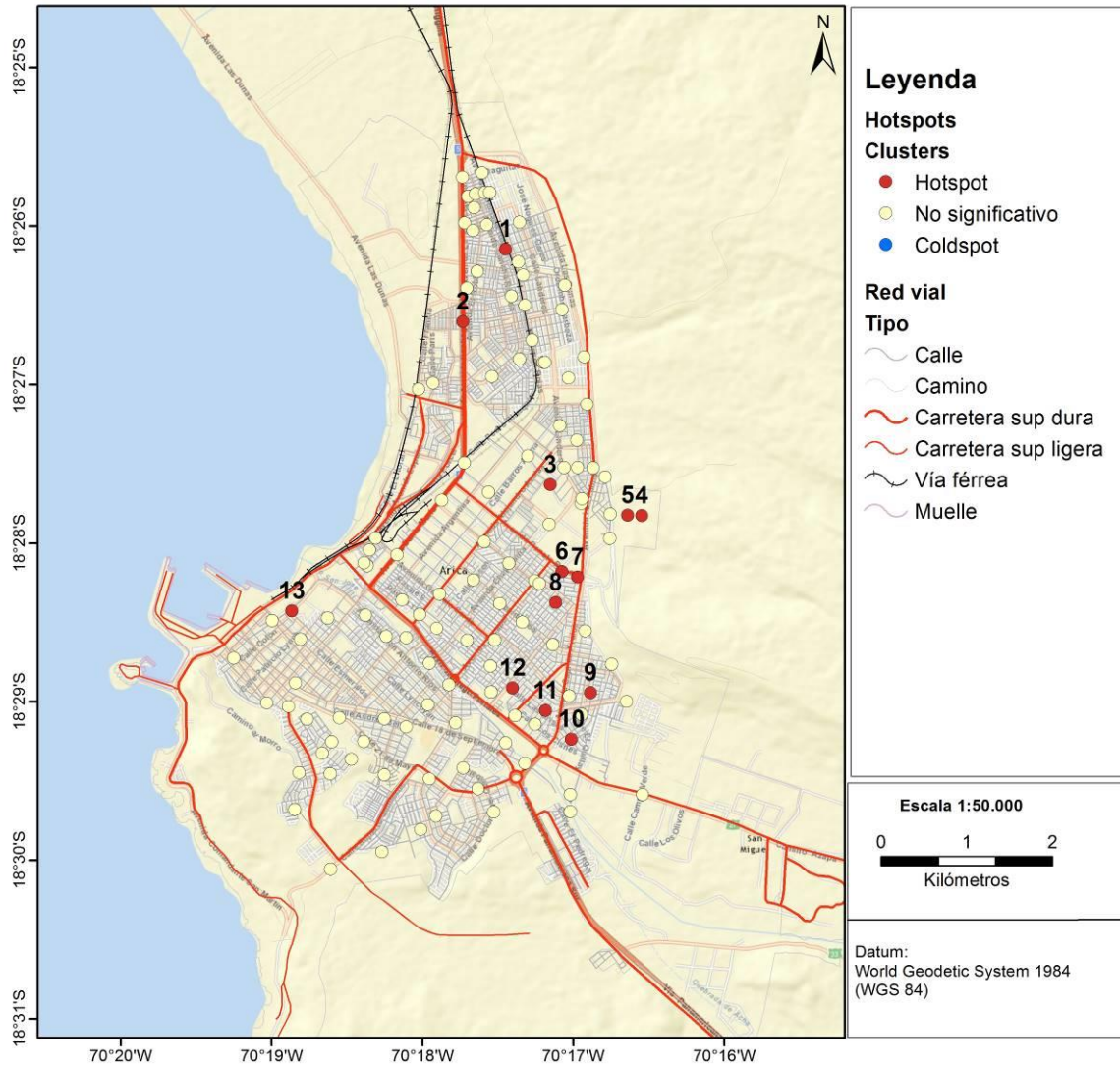


Figura 13 Localización de los hotspots de As en suelo de la ciudad de Arica, año 2015.

Tabla 16 Coordenadas y concentración de As en suelo de los hotspots identificados en el periodo 2013-2015.

AÑO 2013	GEOREFERENCIACIÓN	CONCENTRACIÓN As (mg kg⁻¹)
Hotspot 1	362972E 7959740N	110,78
Hotspot 2	363911E, 7959798N	41,05
Hotspot 3	364967E, 7957995N	40,47
Hotspot 4	364985E, 7956247N	38,90
AÑO 2014		
Hotspot 1	363911E 7959798N	70,19
Hotspot 2	364271E, 7958339N	116,54
Hotspot 3	363005E, 7958153N	48,54
Hotspot 4	364406E, 7957326N	26,95
Hotspot 5	364585E, 7957260N	66,45
Hotspot 6	364740E, 7955915N	77,55
Hotspot 7	364213E, 7955708N	61,32
AÑO 2015		
Hotspot 1	363749E 7961077N	52,21
Hotspot 2	363251E, 7960233N	52,32
Hotspot 3	364271E, 7958339N	73,47
Hotspot 4	365335E, 7957978N	52,32
Hotspot 5	365171E, 7957983N	20,55
Hotspot 6	364406E, 7957326N	16,01
Hotspot 7	364585E, 79572608N	60,76
Hotspot 8	364335E, 7956965N	45,11
Hotspot 9	364740E, 7955915N	39,19
Hotspot 10	364513E, 7955373N	49
Hotspot 11	364213E, 7955708N	42,75
Hotspot 12	363831E, 7955970N	47,07
Hotspot 13	361255E, 7956868N	40,46

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra la localización de todos los *hotspots* del periodo 2013 a 2015. Un *hotspot* localizado en coordenadas similares en distintos años se representó en el mapa según su identificación más reciente.

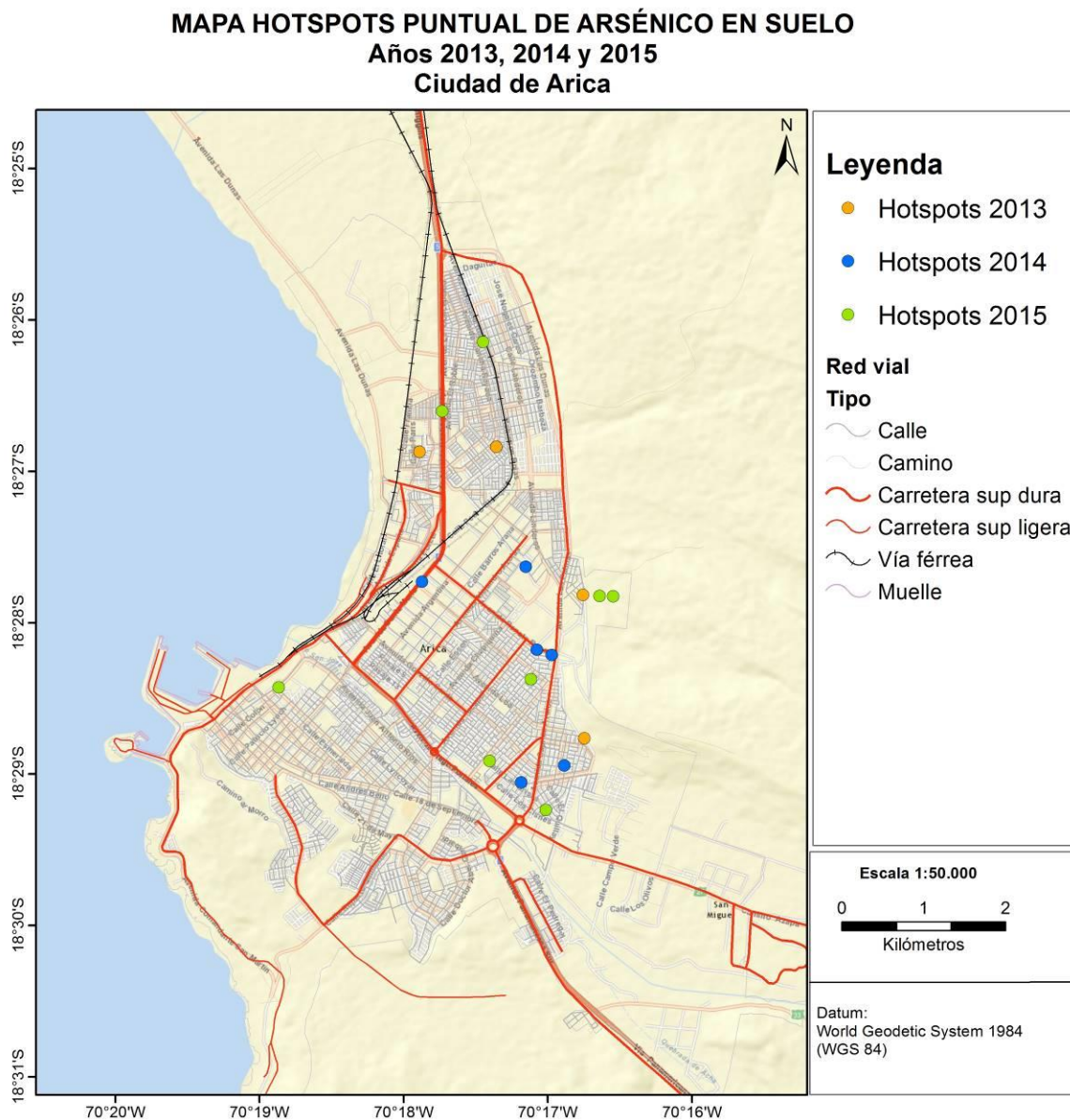


Figura 14 Localización de todos los *hotspots* de As en suelo en el periodo 2013 a 2014.

7.3 (RE)DEFINICIÓN DE ZONAS DE RIESGO.

Debido a consideraciones temporales de exposición de la población que reside en la comuna de Arica, la definición de nuevas zonas de riesgo supone la identificación de puntos con una concentración elevada de arsénico en el suelo, que se rodeen de otros puntos con valores elevados (*hotspots*) y que, además, se mantengan en el tiempo. Lo anterior, dado que puntos aislados sobre el nivel de riesgo aceptable no necesariamente gatillan definir el área circundante como una zona de riesgo, según la definición e implicancia de la Ley de Polimetales de Arica. En efecto, la mantención de esta tendencia en el tiempo permite contabilizar, de mejor forma, la exposición crónica pasada de la población que habitó en las zonas circundantes. En términos toxicológicos, por exposición crónica, se entiende la exposición repetida por vía oral, dérmica o inhalatoria por un periodo mayor al 10% del tiempo de vida de un organismo². En otras palabras, la consideración de una exposición crónica pasada de una población debería incluir al menos el 10% del tiempo de vida de ella. En este estudio, se dispuso de los valores de arsénico en suelo de los periodos 2013, 2014 y 2015, agente que se presenta en el nivel de riesgo aceptable en esta matriz. En consecuencia, se utilizó la información de estos años para evaluar la definición de nuevas zonas de riesgo en la comuna de Arica.

De acuerdo a lo presentado anteriormente en las Figuras 11 a 13 y Tabla 16, se observa que los *hotspots* en una coordenada geográfica pueden presentar variaciones según el periodo analizado. Lo anterior, se puede explicar por la distribución aleatoria de las mediciones en el tiempo, tal como se indicó en la Sección 6.1. En este sentido, no se evidencian *hotspots* sobre el nivel de riesgo aceptable (29 mg As kg⁻¹ suelo), que se rodeen de valores elevados en un rango de 200 metros a la redonda y que se mantengan en tal condición durante los años 2013 a 2015. Por esta razón, no se cumplen los criterios espaciales y temporales de exposición de la población que permitan identificar puntos de partida para la identificación nuevas zonas de riesgos.

Si bien la distribución espacial y temporal de las determinaciones de arsénico en el suelo de la comuna de Arica no permite identificar nuevas zonas de riesgo, se recomienda identificar y definir los *hotspots* como zonas de intervención ambiental, dado que exceden el nivel máximo de As en suelo propuesto por el equipo de expertos el año 2015 y permitirá priorizar la gestión de los órganos competentes en lo relacionado a la Ley N° 20.590.

Dada la temporalidad de este análisis, este estudio no modifica aquellas zonas definidas en el plan maestro de intervención del año 2009 para la ciudad de Arica y, por lo tanto, no modifica las intervenciones de vivienda y relocalización estipulados en este Plan.

² US EPA. 2002. A review of the reference dose and reference concentration processes. EPA/630/P-02/002F.

8. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se han compilado los antecedentes disponibles relacionados a la evaluación de matrices ambientales, análisis de riesgos y de biomonitorio, en el marco de los establecido en la Ley N° 20.590, en el periodo 2009-2015.

El análisis de los datos disponibles en relación a plomo en sangre del programa de vigilancia de pre-escolares y escolares indica que la media geométrica del grupo etario 1-5 años fue de $2,21 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$, $2,79 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$, $2,45 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$ y $3,42 \mu\text{g Pb dL}^{-1}$, en los años 2012, 2013, 2014 y 2015, respectivamente. Estas medias geométricas representan niveles bajos de exposición a Pb.

La evaluación de los riesgos debido a la presencia de polimetales en el suelo de la comuna de Arica en el periodo 2015 evidencia que el arsénico es el contaminante de interés, toda vez que su concentración en suelo se relaciona con un nivel de riesgo incremental de cáncer que se encuentra por sobre el nivel de riesgo aceptable de uno en un millón. Esto concuerda con los hallazgos obtenidos en el análisis del periodo 2014 y el comité de expertos de la Pontificia Universidad Católica de Chile el año 2015, utilizando los datos del periodo 2013.

El análisis de la distribución de los valores de arsénico en el suelo de la comuna de Arica, indica que el metaloide presenta un patrón aleatorio. El análisis espacial y temporal de los valores de arsénico en el suelo de la comuna (periodo 2013 a 2015), muestra que no se presentan valores sobre 29 mg Kg^{-1} de suelo, que se rodeen de valores elevados y que se mantengan, como tal, en el periodo analizado. Por tanto, no se justifica la definición de nuevas zonas de riesgo según lo establecido en la Ley N° 20.590.

9. REFERENCIAS

- AGRIQUEM, 2009. Análisis químico de suelos de la ciudad de Arica. Informe final, octubre 2009.
- AGRIQUEM, 2010. Estudio actualización de la presencia de metales pesados en suelo, subsuelo y aire en el entorno poblacional los industriales, sitio F, de la ciudad de Arica. Segundo Informe Final, octubre 2010.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2006. Estudio de contaminación de suelos de Arica. CENMA para MINVU. Informe Final, Julio 2006.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2012. Response to Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention Recommendations in “Low Level Lead Exposure Harms Children: A Renewed Call of Primary Prevention”.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2012. Evaluación de Riesgos a la salud de la Población por la Presencia de Polimetales en la matriz Suelo, en la Ciudad de Arica.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2013. Determinación de los niveles naturales o background y de la concentración de los contaminantes de interés en el suelo de la Comuna de Arica por la presencia de polimetales. CENMA para Subsecretaría de Medio Ambiente. Informe Final, octubre 2013.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2014. Determinación de calidad de aire y evaluación de riesgo en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2014. Determinación de la concentración de los contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por la presencia de polimetales.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). 2015. Determinación de la concentración de los contaminantes de interés en el suelo de la comuna de Arica por la presencia de polimetales.
- CONAMA 2010. Región de Arica y Parinacota. Informe Final, diciembre de 2010.
- CONAMA, 2010. Informe de actividades realizadas en el marco del programa maestro de intervención zonas con presencia de polimetales en Arica. Abril 2010.
- Frenz, P., Vega, J., Marchetti, P., Torres, J., Kopplin, E., Delgado, I., Vega, F. 1997. Exposición crónica a plomo ambiental en lactantes chilenos. Rev. Med. Chile 125: 1137-1144.
- Hornung, R.W., Reed, L.D. 1990. Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. Appl Occup Environ Hyg 5(1):46-51.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2013. Guías metodológicas de muestreo y análisis químico de suelos para áreas background y para la investigación confirmatoria y evaluación de riesgo en suelos/sitios con presencia de contaminantes.
- Ministerio de Salud. 2014. Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Plomo en la Comuna de Arica.
- Pontificia Universidad Católica de Chile. 2015. Determinación del nivel de riesgo aceptable de protección de salud humana, para los contaminantes de interés en la comuna de Arica por la presencia de polimetales en la matriz suelo.

- Sepúlveda, V., Vega, J., Delgado, I. 2000. Exposición severa a plomo ambiental en una población infantil de Antofagasta, Chile. *Rev. Med. Chile* 128(2): 221-232.
- SEREMI de Salud Región de Arica y Parinacota. 2016. Reporte de actividades mes de julio de 2016.
- SEREMI de Salud Región de Arica y Parinacota. 2016. Reporte de actividades mes de septiembre de 2016.
- Stern, A.H. 2010. A quantitative assessment of the carcinogenicity of hexavalent chromium by the oral route and its relevance to human exposure. *Env. Res.* 110(8): 798-807.
- Tchernitchin, A.N., Lapin, N., Molina, L., Molina, G., Tchernitchin, N.A., Acevedo, C., Alonso, P. 2006. Human Exposure to Lead in Chile. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 185: 93-139.
- U.S. EPA. 1991. Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual. Supplemental Guidance. Standard Default Exposure Factor. Interim Final.
- U.S. EPA. 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment). Final.
- U.S. EPA. 2001a. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition.
- U.S. EPA. 2001b. Inorganic Chromium - Report of the Hazard Identification Assessment Review Committee.
- White, P., van Leeuwen, P., David, B., Maddaloni, M., Hogan, K., Marcus, A., Elias, R. 1998. The conceptual structure of the integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children. *Env. Health Perspect.* 106(6): 1513-1530.
- World Health Organization (WHO). 2010. WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards.