



**6 Años  
Acreditada**  
Desde: Noviembre 2016  
Hasta: Noviembre 2022

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Docencia de Postgrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio

## **INFORME FINAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### ***Cuantificación y Distribución de Plomo, Arsénico y Mercurio en Muestras Biológicas de Población Urbana de Andacollo.***

Informe preparado por la Facultad de Medicina. Universidad Católica del Norte para la Mesa Ejecutiva para el desarrollo de Andacollo (MEPA)

Coquimbo, Octubre 2018

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE**



Informe preparado por:

Dra. Vasthi López Palma. Facultad de Medicina. Universidad Católica del Norte .

Directora Centro de Estudios Epidemiológicos y Ambientales de la Región de Coquimbo.  
CESALCO.

\* En éste informe se presentan los resultados del estudio realizado y un resumen de las antecedentes y metodología formulados en el proyecto.

Directora de Proyecto

Revisado y aprobado por:

Dr. Sergio Haberle

Decano Facultad de Medicina

Universidad Católica del Norte

Coquimbo

## Otros participantes del proyecto y sus funciones:

Dra. Vasthi López Palma	Director General Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsable de Formulación y desarrollo del proyecto.</li> <li>• Análisis, conclusión y resultados proyecto.</li> <li>• Supervisión desarrollo proyecto.</li> <li>• de carta Gantt.</li> <li>• Confección de informes y ponencias.</li> <li>• Encargada de comunicación proyecto</li> </ul>
Dra. Liliana Zúñiga Venegas	Directora ejecutiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsable de desarrollo operativo proyecto.</li> <li>• Elaboración de base de datos</li> <li>• Participación de Análisis de Datos</li> </ul>
Dra. Sandra Cortés	Investigadora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de estudio</li> </ul>
Dr. Ian Acuña	Analista de datos/Confección de mapas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encargado de georreferenciación, Andacollo.</li> <li>• Participación de análisis de datos, modelamiento espacial y confección de mapas.</li> </ul>
Cristian Farías	Bioquímico	Control de gestión y calidad de toma y envío de muestras.
Beatriz Zuñiga	Enfermera	Encargada de toma de Muestras
Constanza Alvarez	Interno de Medicina	Encuestador y empadronador de terreno.
María Teresa Pinto	Estudiante de Nutrición y Dietética	Encuestador y empadronador de terreno
Karina Juarez	Periodista	Encargada de comunicaciones Proyecto

## INDICE

	<b>Página</b>
<b>INDICE</b>	3-5
<b>ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO</b>	6 - 12
Problemática de la comuna de Andacollo	6
Antecedentes Ambientales y Epidemiológicos de la comuna de Andacollo.	7 - 12
Tasa de Mortalidad General y Específica	7
Comuna de Andacollo declarada Zona Saturada	8
Composición química del material particulado	9
Existencia de Pasivos Ambientales Mineros en la comunidad de Andacollo	11
<b>OBJETIVOS</b>	13
<b>METODOLOGÍA</b>	14 -21
Tipo de estudio	14
Población y área de estudio	14
Tamaño de muestra	15-16
Reclutamiento y Muestreo	17-18
Criterios de inclusión	18
Obtención de datos	19
Análisis de muestras	20
Análisis de datos y confección de mapas de los metales medidos	21
<b>RESULTADOS</b>	22 - 39
Descripción Sociodemográfica de la población participante del estudio	22
Descripción del estilo de vida de los habitantes de Andacollo	23
Prevalencias de exposición y concentraciones	
Relación entre metales pesados y variables sociodemográficas	30

Interacción entre concentraciones de metales pesados	34
Distribución espacial de las concentraciones de arsénico inorgánico, mercurio y plomo en la comuna de Andacollo.	36
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	40
<b>REFERENCIAS</b>	41
<b><u>INDICE FIGURA</u></b>	
	9
Figura 1: Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de aire	14
Figura 2. Área de estudio	
Figura 3. Zona Urbana de Andacollo	15
Figura 4. Indicadores Sociodemográficos.	24
Figura 5. Distribución de las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo, por sexo.	27
Figura 6. Distribución de las concentración de Arsénico inorgánico, mercurio y Plomo por cuartil.	29
Figura 7. Relación entre la concentración de arsénico inorgánico con algunas variables sociodemográficas y de estilo de vida.	31
Figura 8. Relación entre la concentración de Mercurio con algunas variables socio-demográficas y de estilo de vida.	32
Figura 9. Relación entre la concentración de Plomo con algunas variables socio-demográficas y de estilo de vida.	33
Figura 10. Nivel de interacción entre metales, para mujeres y hombres de Andacollo.	35
Figura 11. Distribución espacial de las concentraciones de Arsénico inorgánico en la comuna de Andacollo	37
Figura 12: Distribución espacial de las concentraciones de mercurio en la comuna de Andacollo.	38
	39

Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones de plomo en la comuna de Andacollo

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla I. Valores promedio de concentración de material particulado y elementos analizado.	10
Tabla II. Valores máximo de concentración de material particulado y elementos analizados.	10
Tabla III. Descripción Sociodemográfica de la población participante del estudio	22
Tabla IV. Descripción estilo de vida	23
Tabla V. Descriptivos estadísticos de las concentraciones de arsénico inorgánico, mercurio y plomo-	25
Tabla VI. Prevalencias de exposición a arsénico inorgánico, mercurio y plomo	26
Tabla VII. Diferencia de metales entre mujeres y hombres, sobre el límite de detección.	28

## ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

### 1) Problemática de la comuna de Andacollo

La Comuna de Andacollo se ubica a 56 kilómetros al Sur Este de La Serena, capital de la IV Región de Coquimbo. Inmersa entre dos cerros, esta localidad forma parte de las últimas ramificaciones de la cordillera de los Andes y está situada a una altura de 1.100 metros sobre el nivel del mar (Videla, 2003). Sus límites son al Norte con La Serena, al Sur con Río Hurtado y Ovalle, al Este con Vicuña y al Oeste con Coquimbo. Su población es de 11.488 habitantes con una superficie de 310,3 km<sup>2</sup>. (INE, 2008).

Andacollo, se caracteriza porque históricamente su principal actividad económica, ha sido la actividad minera. Desde el año 1996 hasta la fecha, dos faenas a gran escala se mantienen funcionando, Compañía Minera Teck Carmen de Andacollo (con una producción de 304.000 toneladas de cobre contenido en concentrado el año 2013) y Minera Dayton (con una capacidad de 120 mil onzas de oro al año), las cuales producen el 78% del polvo que recae sobre el casco urbano de Andacollo (CENMA, 2011). Como consecuencia a esto, la comuna de Andacollo se declaró zona saturada PM10 (material particulado igual o menor a 10 micrones) el año 2009 (Ministerio Secretaría General de Presidencia DS-8, 2009). Por otro lado, altos porcentaje de indigencia y pobreza (el mayor de la IV región), el alto índice de vejez (el mayor de la IV región) y la baja escolaridad la cual no supera los 8 años (por debajo del promedio regional) (SEREMI Salud Coquimbo, 2014), interactúan negativamente con la exposición ambiental a PM10 transformando a Andacollo en una comuna vulnerable y , por ende, de riesgo.

De acuerdo al informe “*Resumen situación Epidemiológica comuna de Andacollo Región de Coquimbo*”, realizado por el Departamento de Epidemiología de la División de Planificación Sanitaria, del Ministerio de Salud de Chile; la comuna de de Andacollo destaca a nivel nacional, tanto por sus tasas de mortalidad así como por sus causas. En efecto, la comuna de Andacollo, presenta una tasa de mortalidad general bruta, al año 2014, de 6,7 (por 1000 hab.), mayor a la tasa de

mortalidad regional (5,49) y nacional (5,8). Sin embargo, al realizar la estandarización de las tasas de mortalidad por la edad, con la finalidad de eliminar el efecto de la estructura de edad, la tasa de mortalidad de la comuna de Andacollo sube a 9,5 (por 1000 hab.) al año 2014 (últimos datos disponibles), casi el doble de la tasa de mortalidad regional y nacional. Por otro lado, Andacollo es la única comuna en Chile que presenta como primera causa de muerte las enfermedades respiratorias, seguida por el aumento de la incidencia de cánceres asociados a las vías respiratorias (CENMA, 2011).

Por otro lado, de acuerdo a información disponible en SERNAGEOMIN, Andacollo sería la ciudad de Chile con mayor número de relaves, con una cantidad de 104 relaves en total, de los cuales 18 están abandonados, 05 activos y 81 no activos. (Atlas de Depósitos Relaves. SERNAGEOMIN).

En consecuencia, la Mesa Ejecutiva para el Desarrollo de Andacollo (MEPA), solicita a la Facultad de Medicina, realizar un estudio, que permita determinar si la población de Andacollo se encuentra expuesta a metales pesados tales como: Arsénico, Plomo y Mercurio

A continuación se describen los antecedentes Ambientales y Epidemiológicos que fundamentaron el desarrollo del proyecto.

## **2) Antecedentes Ambientales y Epidemiológicos de la comuna de Andacollo**

### **a) Tasa de Mortalidad General y Específica**

De acuerdo al informe “*Resumen situación Epidemiológica comuna de Andacollo Región de Coquimbo*”, realizado por el Departamento de Epidemiología de la División de Planificación Sanitaria, del Ministerio de Salud de Chile; la comuna de Andacollo presenta una tasa de mortalidad general bruta, al año 2014, de 6,7 (por 1000 hab.), mayor a la tasa de mortalidad regional (5,49) y nacional (5,8). Sin embargo, al realizar la estandarización de las tasas de mortalidad por la edad, con la finalidad de eliminar el efecto de la estructura de edad, la tasa de mortalidad de la comuna de Andacollo sube a 9,5 (por 1000 hab.) al año 2014 (últimos datos disponibles), casi el doble de la tasa de mortalidad regional y nacional.

Por otro lado, al analizar las tasas de muerte, por causa de enfermedad, se observa que la comuna de Andacollo, presenta la mayor tasa de mortalidad por Enfermedades Respiratorias del país; presentando una tasa de 81 por 100.000 habitantes durante el quinquenio 2010-2014, muy por sobre lo registrado a nivel nacional (47 por 100.000 hab. y duplicando la tasa de la región de Coquimbo (40 por 100.000 hab). Al realizar un análisis del tipo de enfermedades respiratoria, que estarían causando la alta tasa de mortalidad observada, se determinó que la comuna de Andacollo presenta una tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias debido a agentes externos de 25 por 100.000 hab.; superando 12 veces la tasa país (2 por 100.000 hab.) y 8 veces la tasa regional (3 por 100.000 hab.). Ahora bien, al considerar estos antecedentes, sumados al hecho de que porcentaje de consulta de urgencias por enfermedades respiratorias son similares entre hospitales de similar complejidad - Andacollo (29% ) Vicuña (28 %) y Los Vilos (28%) - es posible plantear que las enfermedades respiratorias que podrían explicar las altas tasas de mortalidad, no serían de tipo infeccioso asociado a temporada invernal; sino que, probablemente, se deben a enfermedades respiratorias de tipo Neumoconiosis, asociadas a la exposición laboral de material de particulado. Dicha condición es específica en comunas mineras como Andacollo, donde se practicaba minería artesanal de manera muy importante hasta los años noventa. Sin embargo, ésta información no está confirmada y no existen los estudios que lo comprueben.

b) Comuna de Andacollo declarada Zona Saturada por material particulado MP10.0

Por medio de Decreto Supremo, la Presidencia de la República de Chile declaró al área urbana de Andacollo y sus alrededores “zona saturada por material particulado MP10” a inicios del año 2009.

Al respecto, la comunidad de Andacollo permanentemente ha manifestado a la autoridad ambiental, a través, de su Consejo Municipal y ONGs, su preocupación por el aumento de emisiones de material particulado producto del desarrollo de actividades propias de la minería tales como, tronaduras, chancado o tránsito de vehículos pesados. Como resultado, éste decreto definió el polígono de territorio a ser declarado Zona Saturada, comprendiendo los sectores de la

ciudad de Andacollo, faenas mineras de Dayton y Carmen de Andacollo por el Oeste y Sur de la ciudad respectivamente, sector Los Negritos por el Este y sector de Altamira por el Norte.

De acuerdo a los datos de evaluación disponibles, la contribución a la acumulación de material particulado en Andacollo, es aportado en un 22% por la ciudad, Dayton es de 36% y la Compañía Minera Carmen de Andacollo de un 42%.

### c) Composición química del material particulado

El Centro Nacional de Medio Ambiente (CENMA) a través de su informe “*Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo*”, del año 2011, determinó la composición química del particulado de Andacollo utilizando muestras de cuatro estaciones de monitoreo, dos ubicadas en la ciudad de Andacollo, (Hospital y Urmeneta) y dos lugares de fondo correspondientes a Rosario y observatorio Collowara. Para la determinación química se consideraron 3 campañas intensivas, de aproximadamente dos semanas cada una, para determinación de al menos mercurio, cianuro, plomo, cobre, hierro, sílice y arsénico en 4 lugares (2 lugares urbanos y 2 lugares considerados de fondo). La figura 1 ilustra los lugares, que se monitorearon:



Figura 1: Ubicación geográfica estaciones de monitoreo (CENMA, 2011).

Se realizó la determinación de arsénico (As), cobre (Cu), mercurio (Hg), plomo (Pb), hierro (Fe) y sílice (Si), en partículas de MP2.5 y MP10. Los resultados se muestran en las siguientes tablas (Tabla I y II), las cuales fueron elaboradas con los valores promedio y máximos para cada uno de los lugares de medición considerando sólo los casos con concentraciones mayores al límite de detección (>LD) (CENMA, 2011).

Tabla I: Valores promedio de concentración de material particulado y elementos analizados, año 2011.

Estación	Fracción	Concent [µg/m <sup>3</sup> ]	As [ng/m <sup>3</sup> ]	Hg [ng/m <sup>3</sup> ]	Cu [ng/m <sup>3</sup> ]	Fe [ng/m <sup>3</sup> ]	Pb [ng/m <sup>3</sup> ]	Si [ng/m <sup>3</sup> ]
Urmeneta	MP2.5	18	<LD	<LD	41	396	<LD	987
Hospital	MP2.5	17	16	3	44	298	<LD	<LD
Urmeneta	MP2.5 a MP10	44	<LD	3	143	1860	<LD	2595
Hospital	MP2.5 a MP10	46	<LD	11	133	1950	<LD	1148
Fondo	MP10	38	<LD	<LD	192	1546	<LD	648
Collowara	MP10	39	<LD	<LD	23	1090	<LD	4237

Fuente: Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo. CENMA (Centro Nacional del Medio Ambiente). 2011.

Tabla II: Valores máximo de concentración de material particulado y elementos analizados, año 2011.

Estación	Fracción	Concent [µg/m <sup>3</sup> ]	As [ng/m <sup>3</sup> ]	Hg [ng/m <sup>3</sup> ]	Cu [ng/m <sup>3</sup> ]	Fe [ng/m <sup>3</sup> ]	Pb [ng/m <sup>3</sup> ]	Si [ng/m <sup>3</sup> ]
Urmeneta	MP2.5	65	<LD	<LD	48	1104	<LD	987
Hospital	MP2.5	42	16	5	85	503	<LD	<LD
Urmeneta	MP2.5 a MP10	58	<LD	4	335	4792	<LD	3918
Hospital	MP2.5 a MP10	72	<LD	14	261	3745	<LD	2215
Fondo	MP10	51	<LD	<LD	304	2706	<LD	652
Collowara	MP10	52	<LD	<LD	23	2306	<LD	7789

Fuente: Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo. CENMA (Centro Nacional del Medio Ambiente). 2011.

De acuerdo a éstos resultados, las concentraciones promedio de plomo (Pb) y mercurio (Hg), en su mayoría menores al límite de detección, están muy por debajo de los valores recomendados por Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Comunidad Europea (CEE) y en Chile. Sin embargo, se determinó y concluyó en éste estudio, que la concentración de arsénico (As) en el material particulado MP 2,5, se encuentra mas de 2 veces por sobre la norma internacional vigente. En efecto, las concentraciones de As en el material particulado MP 2.5 fue de 16 ng/m<sup>3</sup>, siendo el valor de referencia de 6 ng/m<sup>3</sup>.

En concreto, y sobre la base de los antecedentes presentados, existirían concentraciones de arsénico en MP2.5, que sobrepasarían la normativa vigente, lo que resulta extremadamente preocupante ya que, en cuanto a los factores ambientales asociados a cáncer en el país, uno de los más conocidos es la exposición a arsénico, considerado por la IARC 1(International Agency for Resarch on Cancer) cancerígeno tipo 1 para el humano.

d) Existencia de Pasivos Ambientales Mineros en la comunidad de Andacollo (relaves)

Debido a la larga tradición minera de la ciudad de Andacollo, principalmente de oro y cobre, se generó en ésta comunidad un gran número de relaves o Pasivos Ambientales Mineros (PAM), los que podrían afectar a la salud de la poblaciones aledañas, debido a la gran cantidad de polvo en suspensión que éstos generan, provocando entre otras, enfermedades respiratorias, como neumoconiosis.

Al respecto, los relaves no sólo constituyen un peligro por los contaminantes químicos, sino también, por la contaminación paisajística y deterioro de la biodiversidad, tales como; arrastre de polvo, peligro de derrumbe de grandes tranques y potencial de aguas ácidas.

De acuerdo al “*Atlas de Depósitos de Relevés*” de SERNAGEOMÍN, existen en Andacollo un total de 104 relaves, de los cuales 18 están abandonados , 05 activos y 81 no activos. Estos están, distribuídos en área urbano y rural de la comuna, siendo los más llamativos, y probablemente los más dañinos, los que se encuentran enquistados a escasos metros del centro cívico-religioso de la ciudad. Estos corresponden, a nueve depósitos de relaves que ocupan cerca de 20 hectáreas, de los cuales siete están abandonados e insertos en sitios urbanos consolidados. El resto de tranques de relaves (95) se encuentran, actualmente, insertos en el área rural, muchos de los cuales cerca de

asentamientos humanos. Ahora bien, los siete depósitos abandonados que se encuentran enquistados en el área urbana de Andacollo, son los que podrían afectar más negativamente a la salud de la población y al medio ambiente.

Actualmente, SERNAGEOMIN, no dispone de información disponible públicamente, respecto a la composición química de los relaves ubicados en Andacollo, sin embargo, al revisar estudios de investigación disponibles (tesis de investigación), donde se ha determinado la composición química de los relaves urbanos de Andacollo, mediante, ICP-Plasma (Laboratorio Químico ALS Cemex, 1994), se ha demostrado un elevado contenido de arsénico, mercurio, plomo y berilio entre 29 elementos encontrados, todas estas son potenciales generadoras de enfermedades para la población. El promedio de concentraciones de plomo encontradas, en los 4 relaves urbanos analizados fueron 8,5 ppm y de arsénico 13 ppm.

Finalmente, como conclusión de los antecedentes expuestos, actualmente existe una limitada información pública de respecto a la composición química del particulado MP10 y MP2.5, agua y suelo de la ciudad de Andacollo. Al respecto se destaca el informe del CENMA 2011, que sólo describe presencia de Arsénico en particulado MP2.5, por sobre la norma ambiental vigente. Por otro lado, y considerando la información actualmente disponible, correspondiente a informes de evaluación ambiental y trabajos de investigación, se describe la presencia de Plomo, Mercurio y Arsénico, en la composición de MP10 y la composición de relaves encontrados en el casco urbano de la ciudad de Andacollo. Sin embargo, no se informa la concentración de éstos metales, sino sólo los porcentajes de composición.

En consecuencia, considerando éstos antecedentes, existiría una potencial fuente de exposición a metales pesados en la comuna de Andacollo.

## OBJETIVOS

### **Objetivo General**

Determinar las prevalencias de la población de Andacollo a la exposición de plomo (Pb), arsénico inorgánico (As inorgánico) y mercurio (Hg).

### **Objetivo Específicos**

- Determinar la concentración de plomo en orina, arsénico inorgánico y mercurio en orina en la población general de Andacollo
- Elaborar un modelo espacial (mapa) de las concentraciones de Pb, Hg y As inorgánico encontradas en la población estudiada de Andacollo.
- Analizar si los eventuales patrones de prevalencias observados para Pb, arsénico inorgánico (As inorgánico) y Hg, s, se relacionan espacialmente con relaves, caminos y puntos de operación minera.

## METODOLOGÍA

### a) Tipo de estudio

Se realizó un estudio de corte transversal o prevalencias (descriptivo no causal), mediante un muestreo aleatorio con representatividad poblacional.

### b) Población y área de estudio

Según las proyecciones del Censo de 2002 (INE, 2008) la comuna de Andacollo tiene una población de 11.488 habitantes, de los cuales aproximadamente 7.200 corresponden a personas entre 18 y 65 años, con una representación del 50,2% de mujeres y 49,8% de hombres. Las personas en este rango etario fueron consideradas como población de referencia a partir de la cual se realizó la identificación de los sujetos que participaron en el estudio.

Ahora bien, teniendo en cuenta el Decreto Supremo N° 8 (2009); se propuso como área de estudio en éste proyecto, toda la Zona Urbana de la comuna, es decir todos los 17 barrios de Andacollo quedarán representados (Fig. 2 y 3). A partir del mapa de barrios de Andacollo (SURPLAN, 2012) se obtuvo el polígono periférico, estimativo del área urbana de Andacollo, el cual refleja la zona de estudio (Fig. 3).

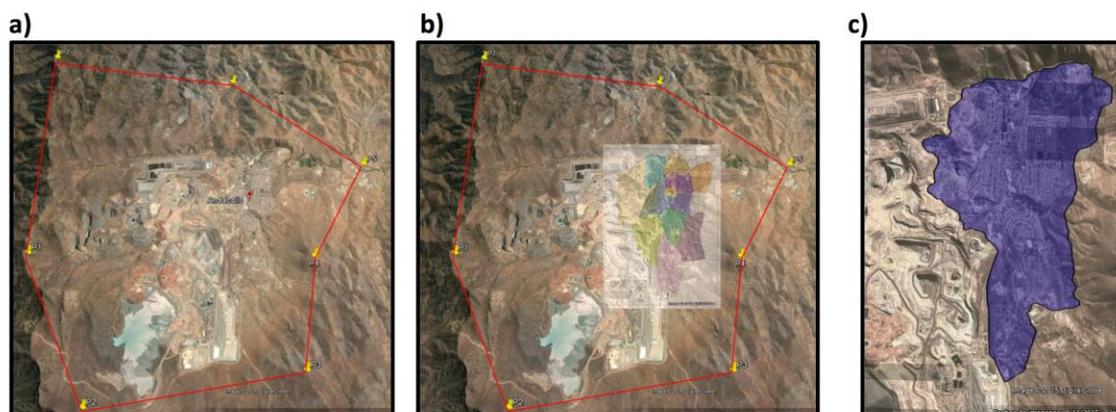


Figura 2: Área de estudio. a) Polígono Zona Saturada b) Ubicación de zona urbana de Andacollo dentro del polígono; c) Área de estudio ajustada a la zona urbana habitada la cual comprende todos los barrios de Andacollo (Ex: SURPLAN, 2012).

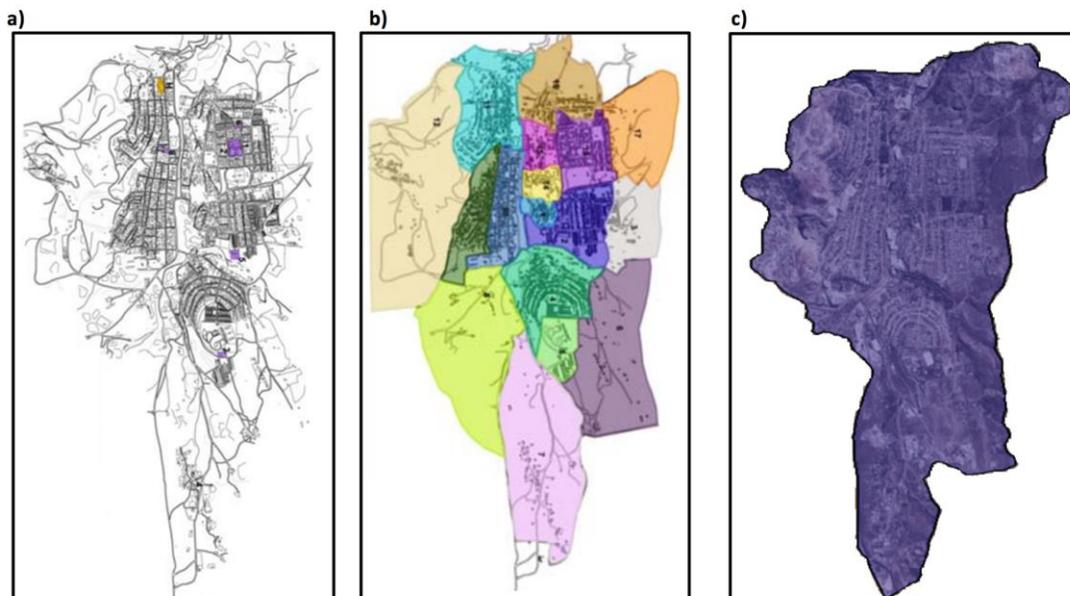


Figura 3. Zona Urbana de Andacollo; b) Barrios de Andacollo; c) Área de estudio ajustada a la zona urbana habitada (Ex: SURPLAN, 2012).

### c) Tamaño de muestra

Para calcular el tamaño de muestra representativa de la comunidad de Andacollo, se consideraron los valores de referencia establecidos por el Ministerio de Salud en el año 2014 y los de la “Centers for Diseases Control and Prevention” (CDC), para el caso de plomo en orina. Estos correspondieron a :

Plomo: En orina a  $2,6 \text{ } \mu\text{g/dl}$  para adultos mayores de 15 años . Valor de referencia para plomo en orina, de acuerdo al “Centers for Diseases Control and Prevention” (CDC)

Arsénico: En orina  $35 \mu\text{g/L}$  para población Adulta. (Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Arsénico en la Comuna de Arica. Santiago: MINSAL, 2014. Valor de referencia Agrupación de Higienistas Americanos (ACGIH).

35  $\mu\text{g/L}$  de arsénico en orina para población Adulta. Valor de referencia para arsénico en orina, de acuerdo al “*Centers for Diseases Control and Prevention*” (CDC)

Mercurio: En orina 10  $\mu\text{g/L}$  para población Adulta. ( Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Mercurio en la Comuna de Arica. Santiago: MINSAL, 2014. Valor de referencia Agencia para sustancias tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR).

4.0  $\mu\text{g/L}$  de mercurio en orina para población Adulta. Valor de referencia para mercurio en orina, de acuerdo al “*Centers for Diseases Control and Prevention*” (CDC).

Por otro lado, el MINSAL realizó un estudio en la ciudad de Arica, donde se evaluó la concentración de Pb y Arsénico presente, en una población potencialmente expuesta a éstos metales. Los resultados obtenidos describen una prevalencia exposición a plomo, de 0,54% y de 13,1% para arsénico, de un universo de 14.000 personas. Por lo tanto, considerando éstos antecedentes, una muestra representativa para éste estudio de tipo descriptivo, con un error del 5%, un nivel de confianza del 95% y considerando una pérdida del 20%, fue de:

- As:  $172 + 20\%$  pérdida = 206 personas
- Hg: no disponible
- Plomo:  $9 + 20\%$  pérdida = 11 personas

En consecuencia, el n representativo correspondió a **206 personas**

Donde :

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

n = El tamaño de la muestra que queremos calcular

N = Tamaño del universo (Andacollo aprox. 11.000 habitantes)

Z = Es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. En función del nivel de confianza que busquemos, usaremos un valor determinado que viene dado por la forma que tiene la distribución de Gauss. Los valores más frecuentes son:

Nivel de confianza 90% -> Z=1,645 Nivel de confianza 95% -> Z=1,96 Nivel de confianza 99% -> Z=2,575

e = Es el margen de error máximo que admito (5%)

p = Prevalencias MINSAL (estudio Arica)

#### d) Reclutamiento y Muestreo

Como parte de la primera etapa de proyecto, se realizó la **fase de empadronamiento** de hogares y **selección de las personas** participantes del estudio. El empadronamiento y selección de los hogares, se realizó mediante metodología planteada en el proyecto y georeferenciación. Se realizó un muestreo homogéneo de la comuna de Andacollo, y se seleccionaron 236 casas. La selección de la persona del hogar participante, se realizó mediante metodología planteada en el proyecto (método Kish) y éste fue de manera voluntaria y mediante firma de consentimiento informado.

Como segunda fase, de la Etapa Muestreo, se realizó la fase **de toma de muestras** de las personas seleccionadas. La toma de muestra se realizó previa coordinación telefónica con los participantes y se realizó en el móvil de Toxicología del Dpto de Cs. Biomédicas, a cargo de una enfermera y coordinadora de terreno. Para la obtención de las muestras, se estableció una “ruta de muestreo”, que consistió en elaborar un itinerario según la disponibilidad horaria manifestada por cada voluntario durante la etapa de empadronamiento. Los participantes fueron contactados

telefónicamente tres días antes de la fecha tentativa asignada, para recordar la no ingesta de comida de mar durante los 3 días previos a la toma de muestra.

Como producto final de ésta etapa, se muestrearon 193 personas, con un 19,9 % de pérdida de potenciales participantes, debido a que, algunos voluntarios, no cumplieron criterios de inclusión (no comer mariscos 3 días previos a toma de muestra, cambios de domicilios y/o no estar ubicables (llamada a celular y/o visita domicilio). Las 193 muestras obtenidas, están sobre el tamaño muestral mínimo calculado, correspondiente a 172 participantes.

Las muestras, fueron almacenadas y transportadas a 4°C, y trasladadas al Laboratorio del Centro de Medicina Ambiental y Laboral de la Facultad de Medicina. Universidad Católica del Norte. Posteriormente, éstas fueran enviadas a el Laboratorio de Metrología Química de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChen), para determinación analítica de arsénico inorgánico, mercurio y plomo en orina, de acuerdo a indicaciones específicas de transporte.

La concentración de arsénico inorgánico, correspondieron a las especies de  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$ , Arsénico monometilado (MMA) y arsenicodimetilado (DMA)

Paralelo a este proceso de verificación de domicilios y en la primera etapa de proyecto (según carta gantt) se realizó una campaña de divulgación. En ésta etapa se realizó una difusión masiva mediante dos modalidades:

- Stand Educativo: Se dispuso del Laboratorio Móvil de Neurotoxicología Ambiental con el que cuenta la Facultad de Medicina, adaptado como Stand Educativo, mientras se desarrollaba el proceso de selección de hogares y participantes, en los puntos más concurridos de Andacollo (plazas, ferias, iglesia). Durante este proceso se entregó información oral, escrita.
- Radios y televisión locales: Se concurreó a los medios de comunicación locales y de la Universidad Católica del Norte, de manera de dar a conocer los objetivos y alcances del proyecto, así como también, en qué consiste la participación de la ciudadanía

Así mismo, se elaboraron encuestas personalizadas encaminadas a establecer las características sociodemográficas y de estilo de vida de los Andacollinos. En consecuencia se colectó información referente a un total de 98 variables, las cuales contemplan ocho (8) variables

fisiológicas, once (11) sociodemográficas, tres (3) variables de localización espacial y setenta y seis (76) referentes al estilo de vida de los habitantes de Andacollo.

e) Criterios de inclusión

Se verificó que el/la participante seleccionado/a de cada domicilio cumpliera con los siguientes criterios de inclusión:

- Personas adultas, de entre 18 años y 65 años.
- Con al menos 4 años de residencia permanente en Andacollo.
- Sin exposición ocupacional a metales pesados (últimos 5 años) o accidental a sustancias químicas.
- No haber consumidos pescados ni mariscos al menos 3 días anterior a la toma de muestra.

Si la persona elegible no se encontraba en el hogar se entrevistó a la siguiente persona según sexo y edad del hogar, que cumpliera con los criterios de inclusión anteriormente señalados.

f) Obtención de datos

- Encuesta socio-demográfica: Una vez confeccionada la lista de sujetos que consintieron por escrito su participación en el estudio, el equipo del proyecto visitó nuevamente los domicilios, donde se aplicó una encuesta que consignaba aspectos que nos permitió realizar una caracterización sobre distintos aspectos de la población, tales como: Indicadores de salud, socioeconómicos, demográficos y de estilo de vida (historia laboral, nivel educacional, actividades diarias, cercanías con potenciales fuentes de emisión, tabaquismo activo y pasivo, consumo de alcohol, etc).
- Geo-referenciación y fotointerpretación: Una vez obtenido el plano del área de estudio, indicando el número de manzanas y nombre de todas las calles de la zona urbana, éstas se transformaron en 206 “celdas” (3 manzanas aprox), correspondiente a toda la zona urbana de Andacollo, de cada “celda” de las cuales se seleccionó una persona, por lo tanto los 206 sujetos. Cada uno de estos domicilios se registrará y se georreferenciará para la elaboración de un “mapa inicial”, el cual nos orientó para el barrido de la zona de estudio.

Dado que existían áreas puntuales dentro de la zona de estudio, que podrían considerarse potenciales fuentes de exposición (sectores de minería, de relaves, caminos, tronaduras, etc.), se georreferenciarán además, éstas áreas para incluir esta información en la confección de los mapas, mediante programa SIG y el programa R estadístico. Para ello, el proyecto contempló un experto.

De igual manera, se considerará la ubicación de otros sitios de interés comunitario como escuelas, colegios, centros religiosos, centros de salud, etc.

- Toma y transporte de muestras biológicas: A cada participante se le entregó instrucciones detalladas para la toma de 2 frascos de muestra de orina. La muestra de sangre (5 mL) fue extraída por una enfermera, mediante punción endovenosa y almacenadas a 4°C. Las muestras fueron congeladas y almacenadas a -20°C para luego ser transportadas a los laboratorios de la c-Chen.

Finalmente, se lograron tomar 193 muestras y todas éstas fueron codificadas y registradas para asegurar su trazabilidad en el proceso de medición analítica.

#### g) Análisis de muestras

La determinación de As inorgánico, mercurio y plomo en orina, se realizó en el Laboratorio de Metrología Química de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (c-Chen), mediante Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplado Inductivo (ICP-MS). El límite de detección de la técnica fue de 0.1  $\mu\text{g/l}$ .

#### h) Análisis de datos y confección de mapas de los metales medidos (As, Hg y Pb)

##### Estadística descriptiva y comparativa

- Se realizaron los respectivos análisis de la encuesta sociodemográfica para caracterizar a la población en cuanto a edad, género, nivel socio económico, escolaridad, etc. Se confeccionaron gráficas para visualizar medidas de tendencia central y dispersión dentro de cada uno de los grupos categóricos conformados.

• EL promedio de las concentración de Pb, Hg y As fue comparado entre los distintos grupos conformados en la caracterización socio-demográfica. Para algunas de estas clasificaciones se utilizó la distribución espacial de los individuos (barrios, cercanía a zonas de emisión); otros factores correspondieron a las variables socio-demográficas (edad, género, oficio, etc.). Dependiendo de las características finales de los datos obtenidos (e.g. distribuciones) se utilizó test de comparación tales como: t-test de Student, ANOVAs de una vía, U-test de Mann-Whitney o el H-test de Kruskal Wallis. Finalmente, se procedió a realizar análisis de frecuencias (X<sup>2</sup>, Kolmogorov-Smirnov), correlaciones (Spearman, Pearson) y regresiones simples (MLG, logísticas) entre los factores sociodemográficos y los datos de concentración de metales obtenidos.

### Estadística espacial

Se realizó comparación de los patrones espaciales entre capas, con el fin de dilucidar si la distribución espacial de las concentraciones de Pb, Hg y As obtenidas de los habitantes de Andacollo resultaban con distribuciones parecidas. Esta comparación se realizó mediante el “test de Mantel” entre las matrices de valores.

### Elaboración de mapas

A partir de los datos de las concentraciones de As, Hg y Pb y la georeferenciación realizada de cada hogar, es decir de cada individuo, se elaborarán tres mapas con la distribución espacial de los metales analizados. Para ésto se utilizó el Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el entorno estadístico R versión 3.2.2 (R-Core Team, 2015).

A continuación se presentan los resultados derivados de dichas variables, primero describiendo las características sociodemográficas generales de la población y los resultados de la concentración de metales, para luego reportar los análisis asociativos del estado de los metales en orina con las características de estilo de vida y la ubicación espacial de las personas dentro del territorio municipal.

## RESULTADOS

### 1. Descripción Sociodemográfica de la población participante del estudio

En la Tabla III, se muestra la descripción Sociodemográfica de la población participante del estudio. Como se observa en la tabla III, el 73,1% de los participantes del estudio fueron mujeres y el 26,9 % hombres, con un promedio de edad de 45 y 42 años respectivamente. Por otro lado, el promedio de años vividos en Andacollo fue para el caso de las mujeres de 41 y el de los hombres de 35.

**Tabla III**

**Descripción Sociodemográfica de la población participante del estudio. (n=193)**

Características	Frecuencia	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
<b>Sexo</b>					
<b>Mujeres n (%)</b>	141 (73,1 %)	-	-	-	-
<b>Hombres n (%)</b>	52 (26,9 %)	-	-	-	-
<b>Edad (años)</b>	-	18	66	43,50	12,97
<b>Mujeres</b>	-	19	65	45,31	14,36
<b>Hombres</b>	-	18	66	42,82	12,11
<b>Tiempo viviendo en Andacollo (años)</b>	-	4	66	37,19	15,67
<b>Mujeres (n, %)</b>	-	5	65	41,40	15,72
<b>Hombres (n, %)</b>	-	5	66	35,63	15,41
<b>Nivel de estudio (años)</b>	-	0	20	10,71	3,30
<b>Mujeres (n, %)</b>	-	0	20	10,18	4,03
<b>Hombres (n, %)</b>	-	2	19	10,87	2,88

2. Descripción del estilo de vida de los habitantes de Andacollo

Tabla IV								
Descriptiva del estilo de vida de los habitantes de Andacollo								
Variables cuantitativas								
Variable	Mujeres				Hombres			
	prom.	mín	máx	desv. est.	prom.	mín	máx	desv. est.
Cigarros x día (un.)	3,24	0,07	10	2,95	2,89	0,1	10	2,08
Alcohol x día (gr)	10,94	0	119,76	12,71	3,17	0	50,08	11,01
Distancia a la mina (m)	961,2	372	1718	362	1013,3	264	1661	340,29
Variables dicotómicas								
Variable	n total	Casos Positivos (%)	n Mujeres	Casos positivos Mujeres (%)	n Hombres	Casos positivos Hombres (%)		
Consume pescado?	193	182 (94.3%)	141	133 (94.3%)	52	49 (94.2%)		
Consumió pescado en los últimos 3 días?	188	8 (4.3%)	141	4 (2.8%)	52	4 (7.7%)		
Consume algas?	193	74 (38.3%)	141	51 (36.2%)	52	19 (36.5%)		
Consumió algas en los últimos 3 días?	193	1 (0.5%)	141	0 (0%)	52	1 (1.9%)		
Consume mariscos?	193	152 (78.8%)	141	108 (76.6%)	52	44 (84.6%)		
Consumió mariscos en los últimos 3 días?	157	1 (0.6%)	105	1 (1%)	52	0 (0%)		
Fuma?	192	75 (39.1%)	140	55 (39.3%)	52	20 (38.5%)		
Bebe Alcohol?	193	120 (62.2%)	140	78 (55.7%)	52	42 (80.8%)		
Hace ejercicio?	192	45 (23.4%)	140	27 (19.3%)	52	18 (34.6%)		
Presentó abortos	140	32 (22.9%)	140	32 (22.9%)	-	- (%)		
Dificultad para concebir?	183	31 (16.9%)	139	28 (20.1%)	44	3 (6.8%)		
HTA	193	20 (10.4%)	141	12 (8.5%)	52	8 (15.4%)		
Diabetes	193	8 (4.1%)	141	5 (3.5%)	52	3 (5.8%)		
Resistencia insulina	193	10 (5.2%)	141	10 (7.1%)	52	0 (0%)		
Fundición en casa	193	5 (2.6%)	141	5 (3.5%)	52	0 (0%)		
Mecánica en casa	193	14 (7.3%)	141	8 (5.7%)	52	6 (11.5%)		
Orfebrería en casa	193	6 (3.1%)	141	5 (3.5%)	52	1 (1.9%)		
Gasfitería en casa	193	6 (3.1%)	141	3 (2.1%)	52	3 (5.8%)		
Taller en casa	193	7 (3.6%)	141	4 (2.8%)	52	3 (5.8%)		
Chatarra en casa	193	7 (3.6%)	141	7 (5%)	52	0 (0%)		
Imprenta trabajo	193	9 (4.7%)	141	4 (2.8%)	52	5 (9.6%)		
Fundición trabajo	193	5 (2.6%)	141	3 (2.1%)	52	2 (3.8%)		
Mecánico trabajo	193	10 (5.2%)	141	6 (4.3%)	52	4 (7.7%)		
Orfebrería trabajo	193	5 (2.6%)	141	5 (3.5%)	52	0 (0%)		
Gasfitería trabajo	193	10 (5.2%)	141	3 (2.1%)	52	7 (13.5%)		
Chatarra trabajo	193	9 (4.7%)	141	8 (5.7%)	52	1 (1.9%)		
Transito camiones	193	101 (52.3%)	141	80 (56.7%)	52	21 (40.4%)		
Patio de tierra	193	158 (81.9%)	141	117 (83%)	52	41 (78.8%)		
Patio techado	193	74 (38.3%)	141	50 (35.5%)	52	23 (44.2%)		

De la información obtenida, desde la encuesta de calidad de vida, en los gráficos de la Figura 4, se destacan los siguientes resultados. Sobre el 80% de la comunidad Andacollo, declara tener en sus casas, sólo patio de tierra y que de éstos, sólo un promedio del 37,83 % se encuentra techado. Además, el 50 % de éstos mismo casos, declara estar expuesto al tránsito de camiones. Ahora bien, de ésta información se podría concluir la gran exposición al polvo, de la comuna de Andacollo. Sin embargo, a pesar de que se observa, una tendencia de asociación entre la concentración de metales pesados y las variables de patio techado y tránsito de camiones, éstas no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, creemos que ésta es un aspecto que necesita ser considerado en futuros estudios.

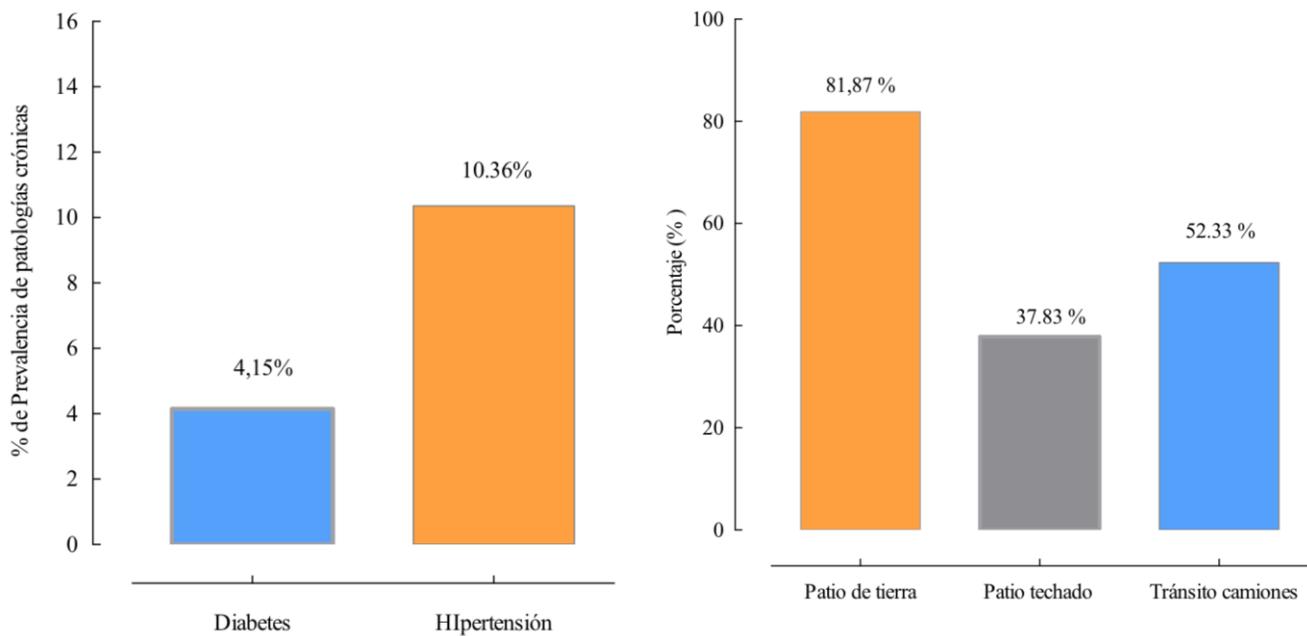


Figura 4. Indicadores Sociodemográficos: A) Porcentaje de personas con patología crónicas, como Diabetes e Hipertensión. B) Condiciones de Habitabilidad

### 3. Prevalencias de exposición y concentraciones de As inorgánico total, mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en la comuna de Andacollo

En la Tabla V, se muestra el análisis estadísticos de concentraciones de arsénico inorgánico en orina (As), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en orina, determinados en la población de participante del estudio.

**Tabla V:** Descriptivos estadísticos de las concentraciones de arsénico inorgánico, mercurio y plomo en orina. El límite de detección (LD) fue de 0.1  $\mu\text{g/l}$

Estadísticos	Hg ( $\mu\text{g/L}$ )	Pb ( $\mu\text{g/L}$ )	As In. ( $\mu\text{g/L}$ )
Datos validos (%)	192 (99 %)	192 (99 %)	192 (99 %)
Media	1,10	0,21	8,25
D. estándar	2,33	1,66	7,25
Mediana	0,00	0,00	6,31
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Máximo	<b>14,40</b>	<b>19,40</b>	<b>67,60</b>
Percentiles del total de los datos			
10	0,00	0,00	2,73
25	0,00	0,00	3,95
50	0,00	0,00	6,31
75	<b>1,76</b>	<b>0,00</b>	<b>10,18</b>
Descriptiva de los datos sobre el límite de detección (LD)			
Datos sobre el LD (%)	49 (25,5%)	5 (2,6%)	190 (99%)
Media	4,03	7,97	8,34
D. estándar	2,76	7,41	7,24
Mediana	3,32	4,09	6,48
Mínimo	1,08	2,28	2,28
Máximo	14,40	19,40	67,60
Percentiles de los datos sobre el límite de detección (LD)			
10	2,13	2,28	2,78
25	2,40	2,44	4,07
50	3,32	4,09	6,48
75	5,10	15,45	10,23

- As inorgánico Total, corresponde a  $\text{As}^{+3}$ ,  $\text{As}^{+5}$  y especies de arsénico metilado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la prevalencia de exposición arsénico es de un 1%, correspondiente a 2 personas que presentaron concentraciones por sobre los valores de referencia, establecidos por el MINSAL (35  $\mu\text{g/L}$ ). **Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, el 98,95 % (190) de la comunidad de Andacollo estaría expuesta a concentraciones bajas de Arsénico, entre concentraciones de 2,28  $\mu\text{g/L}$  a 67,60  $\mu\text{g/L}$ , con una concentración de 10,23  $\mu\text{g/L}$ , como percentil 75.**

Ahora bien, el 63 % (121) de la población está expuesta a concentraciones mayores de 5  $\mu\text{g/L}$  y específicamente, el 27 % (52) por sobre los 10  $\mu\text{g/L}$ . Lo que podría descartar una posible exposición por agua potable. Sin embargo, éste es un aspecto que es necesario estudiar.

Por otro lado, la prevalencia de exposición a Hg es de 9,9%, según los valores de referencia de CDC (Centers for Disease Control and Prevention- USA), correspondiente a 19 personas sobre valor establecido en USA (4  $\mu\text{g/L}$ ) y de 1,56 % (3) de acuerdo a los valores de referencia de MINSAL (10  $\mu\text{g/L}$ ). Sin embargo, el 25,5% de la población está expuesta a Hg, entre concentraciones entre 1,08 a 14,40 ( $\mu\text{g/L}$ ), con una concentración de 5,10  $\mu\text{g/L}$  como percentil 75. Además, es necesario indicar que ninguna de las personas participantes del estudio, tenía como oficio la práctica de la extracción artesanal de oro (pirquineros artesanales), lo que descartaría una exposición de tipo laboral.

Finalmente, el 2,6 % de la población de Andacollo estaría expuesta a Plomo, con concentraciones de exposición entre 2,28 a 9,40  $\mu\text{g/L}$  con una prevalencia de 2,1 %, correspondiente a 4 personas sobre la norma. (2,6  $\mu\text{g/L}$ , en orina)

En la **Tabla VI**, se describen los valores de prevalencia obtenidos.

	As Inorgánico	Mercurio (Hg)	Plomo (Pb)
CDC	1%	9,90%	2,10%
MINSAL	1%	1,56%	-----

Ahora bien, de acuerdo a los protocolos Clínicos del Ministerio de Salud de Chile, para población expuesta de metales pesados, sólo las prevalencias calculadas con los valores de referencia consideradas por el MINSAL, ( 1% As In y 1,56 % Hg) , son considerados válidas, para la toma de decisiones clínicas.

En la Figura 5 se encuentran representados la distribución por género, de las concentraciones de arsénico inorgánico, mercurio y plomo, por sobre los valores de referencia de MINSAL y CDC (Centers for Disease Control and Prevention)

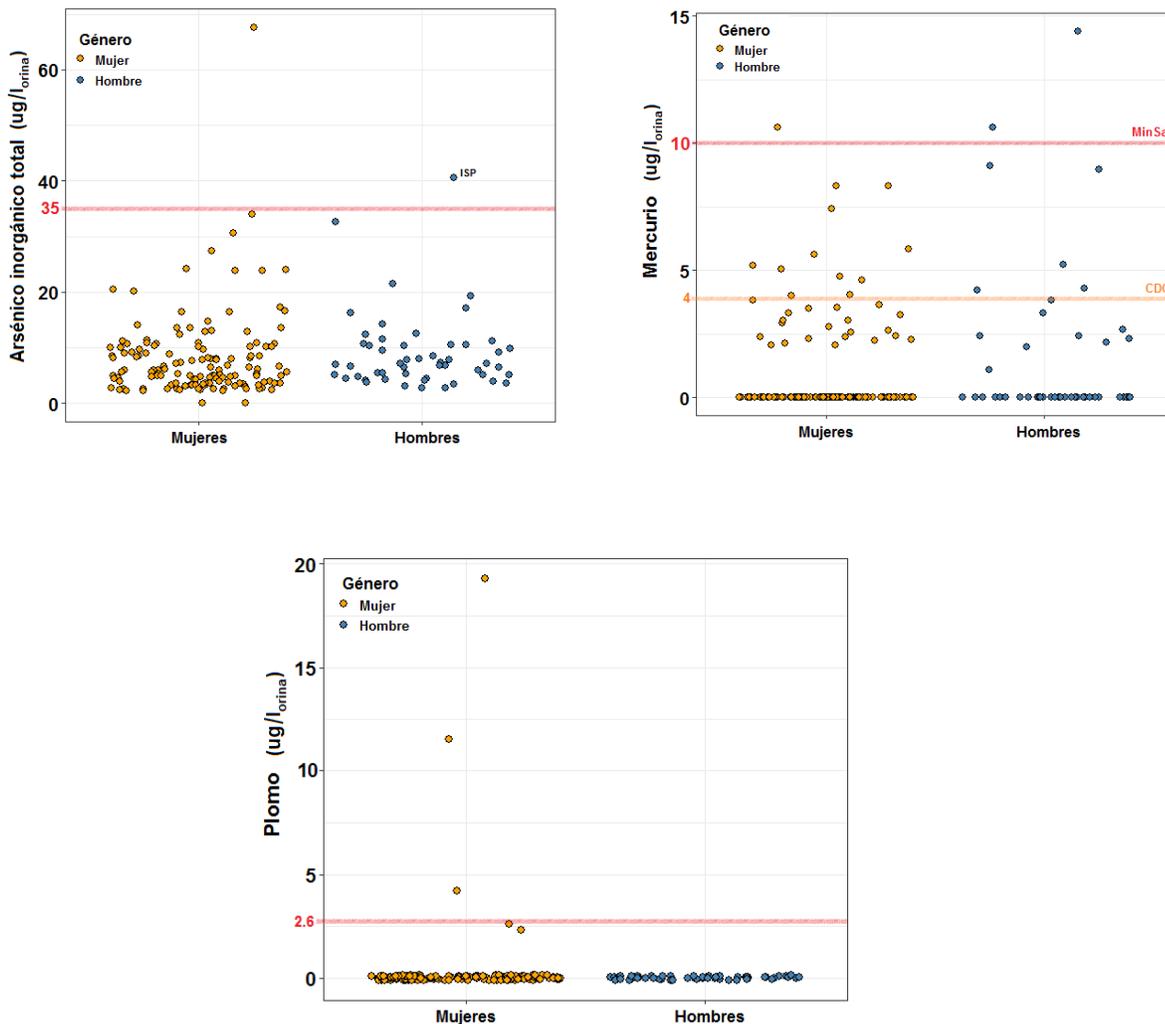


Figura 5: Distribución de las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo, por género, por sobre los valores de referencia de acuerdo a MINSAL y CDC (Centers for Disease Control and Prevention)

Por otro lado, como se observa en la tabla V, no se encontraron diferencia significativa entre los promedios de las concentraciones de arsénico inorgánico y mercurio entre hombres y mujeres. Si embargo, como se observa en la figura 6, las concentraciones de mercurio en los hombres tienden a ser mayores, distribuyéndose entre los dos cuartiles superiores

Tabla VII. Concentraciones promedios de Hg y As In, metales entre mujeres y hombres, sobre el límite de detección (mediciones C-CHEN).

	Mujeres	Hombres	Valor- <i>p</i>
<b>Hg (µg/L)</b>	3,31 [2,41 – 4,89]( <i>n</i> =33)	3,55[2,34 – 8,03]( <i>n</i> =16)	0,806
<b>As inorgánico total (µg/L)</b>	5,96 [3,62 – 10,10] ( <i>n</i> =139)	6,92 [4,82 – 10,50] ( <i>n</i> =51)	0,168

\*Los valores *p* fueron calculados con el test *U* de Mann-Whitney

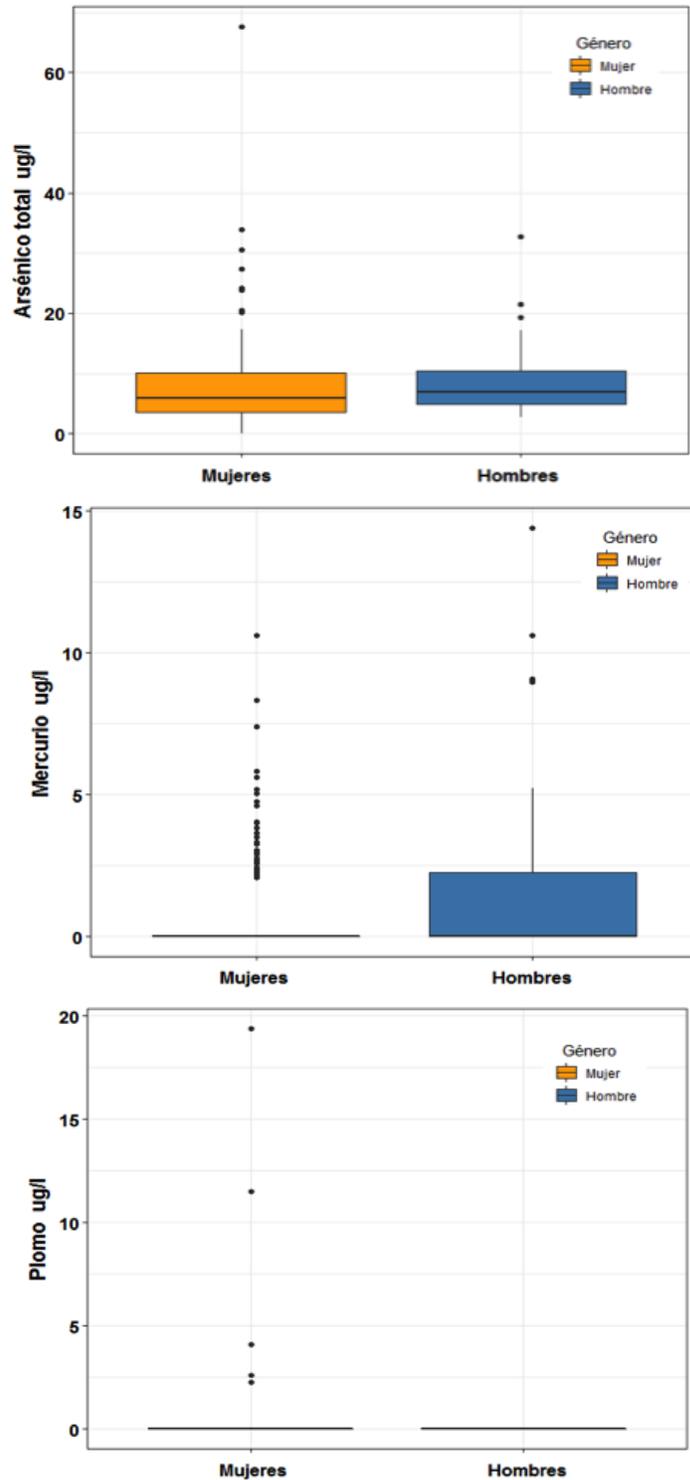


Figura 6. Distribución de las concentración de Arsénico inorgánico total, mercurio y Plomo en orina ( $\mu\text{g/L}$ ) de mujeres y hombres de Andacollo. Las cajas y barras representan la distribución intercuartílica. No existen diferencias significativas (test-t) en ninguno de los tres casos.

4) Relación entre concentraciones de arsénico, mercurio, plomo y variables sociodemográficas

En las Figuras 7-9 se presentan los resultados de los análisis de regresión lineal entre las concentraciones de As, Pb y Hg y las variables cuantitativas del muestreo, algunas de ellas sociodemográficas, como edad o tiempo de residencia en Andacollo, mientras que otras hacen referencia al estilo de vida (consumo de alcohol o cigarrillo). Además, la distancia de la vivienda a la mina también fue evaluada dentro de estos análisis.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las únicas relaciones significativas (regresión) muestran un aumento de la concentración de plomo y mercurio a mayor distancia de la mina. Sin embargo estas relaciones tan solo explican el 2.3 % y 1.9 % de la variabilidad respectivamente ( $R^2$ ).

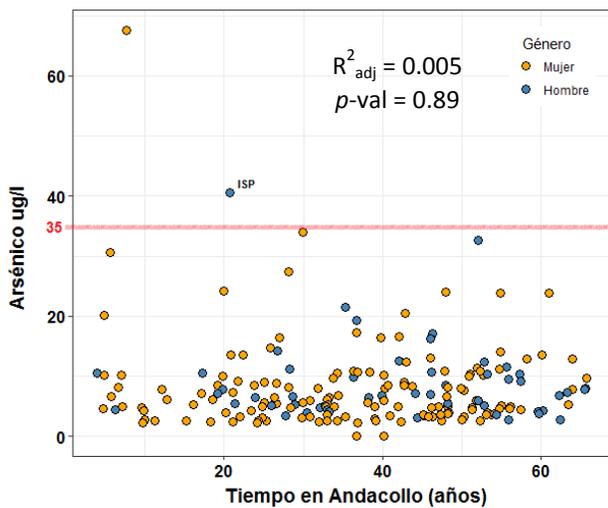
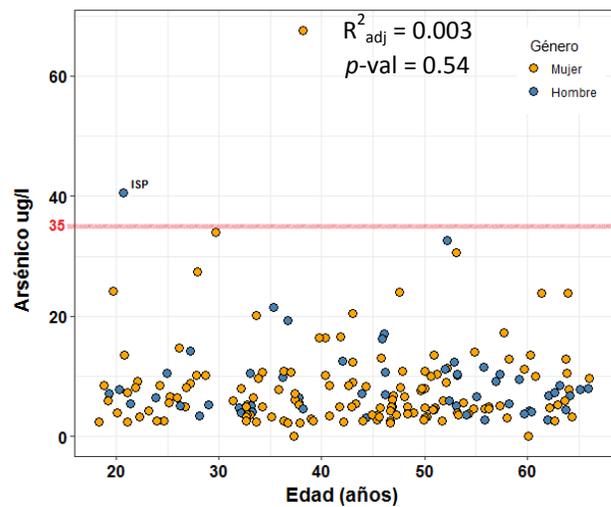
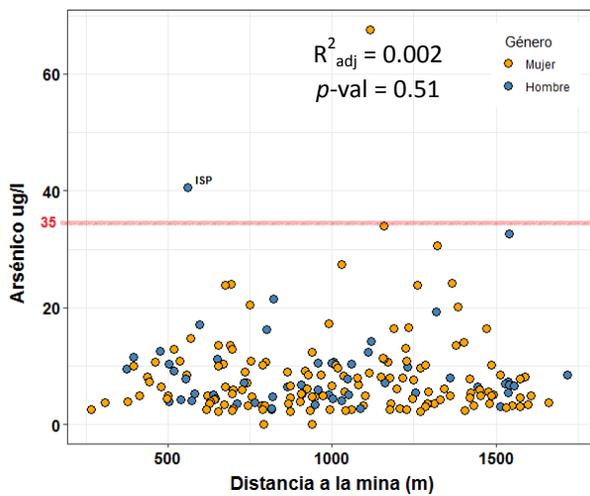
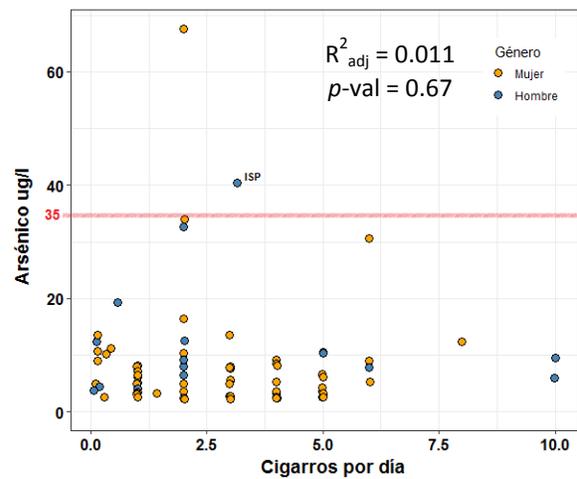
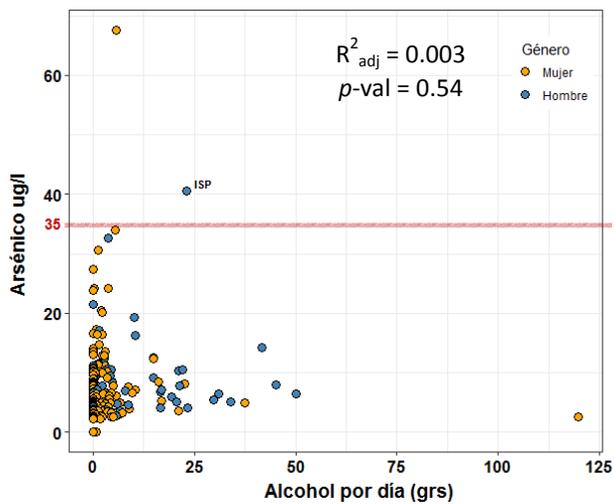


Figura 7. Relación entre la concentración de arsénico inorgánico ( $\mu\text{g/L}$ ) de mujeres y hombres de Andacollo con algunas variables sociodemográficas y de estilo de vida. La línea roja representa el umbral legal de tolerancia, los valores de  $R^2$  ajustado y  $p$  se obtuvieron a partir de una regresión simple entre las variables reportadas.

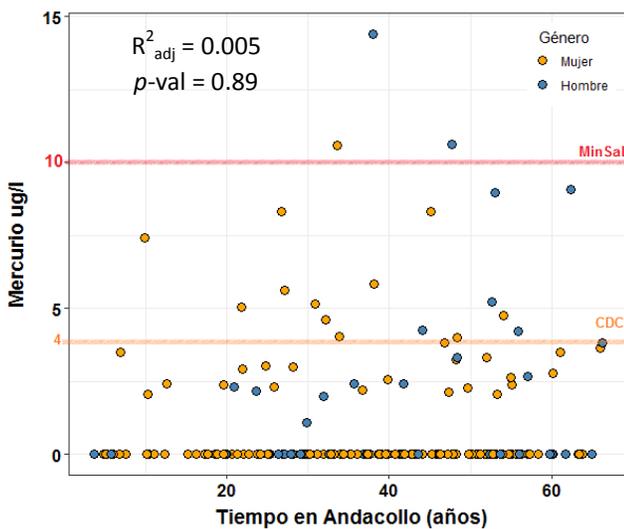
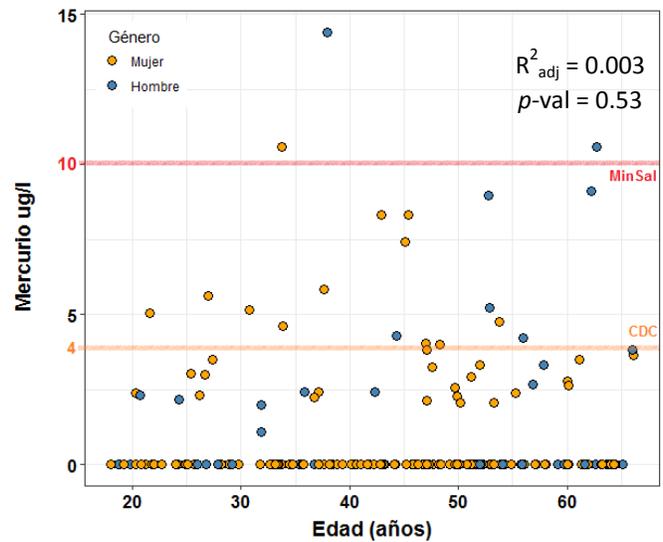
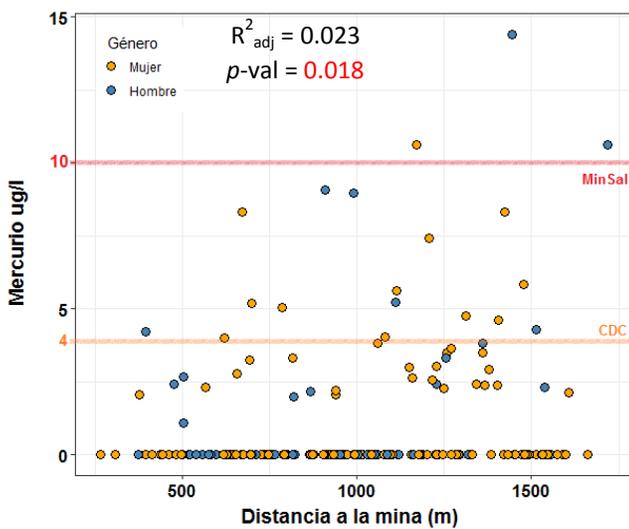
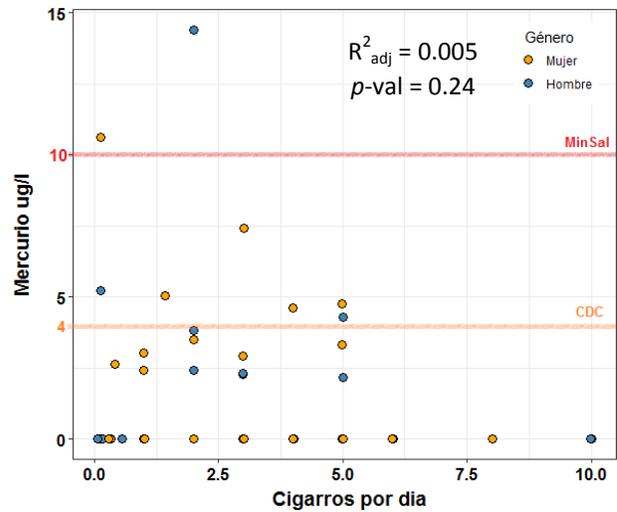
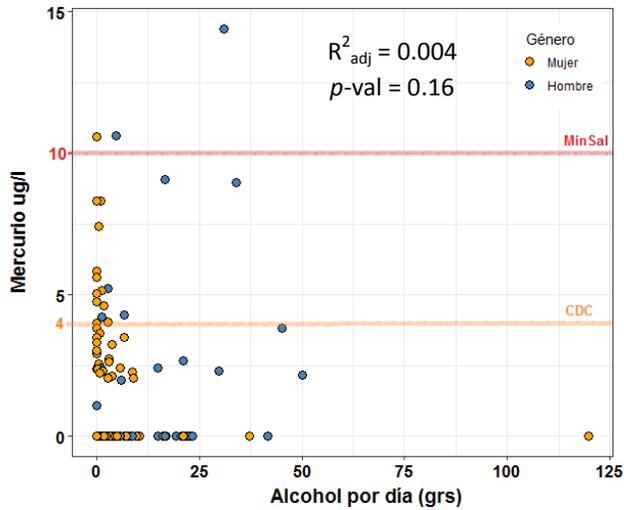


Figura 8. Relación entre la concentración de Mercurio en orina ( $\mu\text{g/l}$ ) de mujeres y hombres de Andacollo con algunas variables socio-demográficas y de estilo de vida. La línea roja representa los va umbral legal de tolerancia, los valores de  $R^2$  ajustado y  $p$  se obtuvieron a partir de una regresión simple entre las variables reportadas. Aunque con un  $R^2$  muy bajo, sobresale la relación positiva significativa entre concentración de Mercurio y la

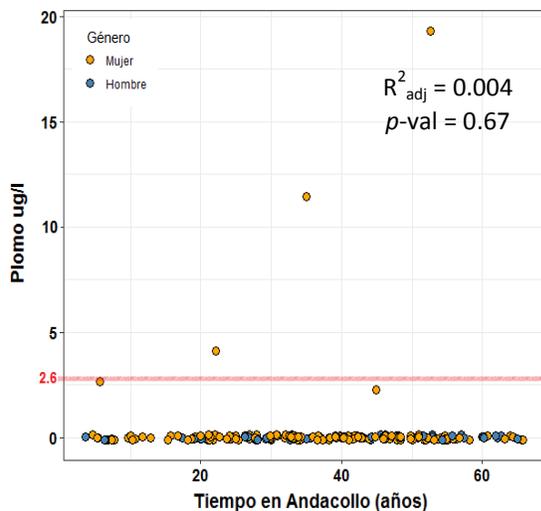
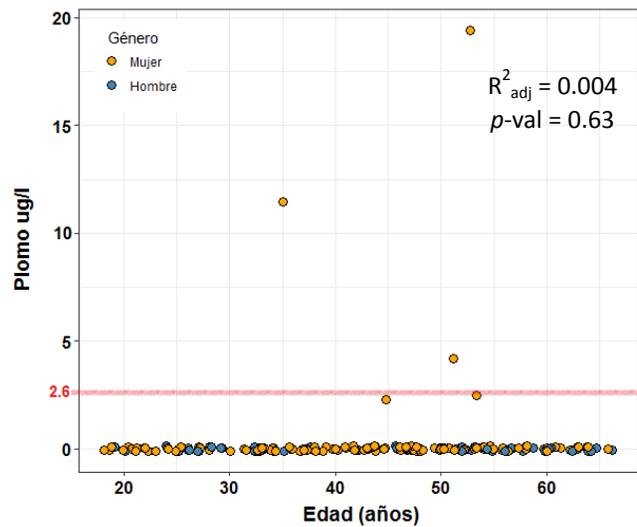
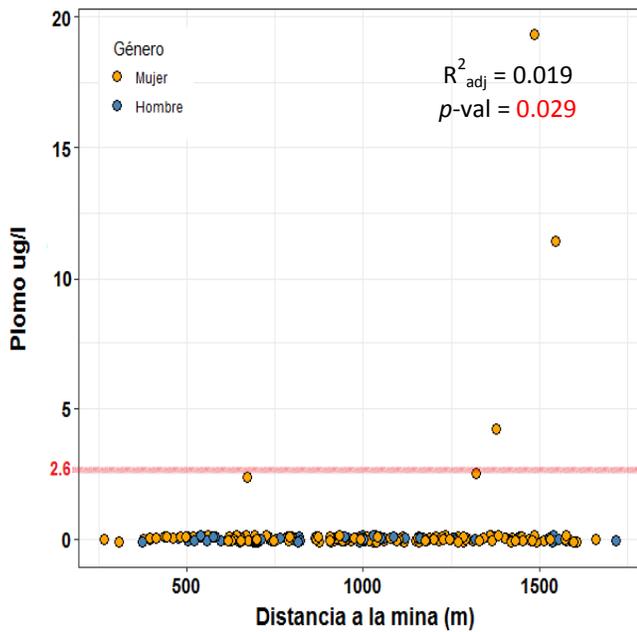
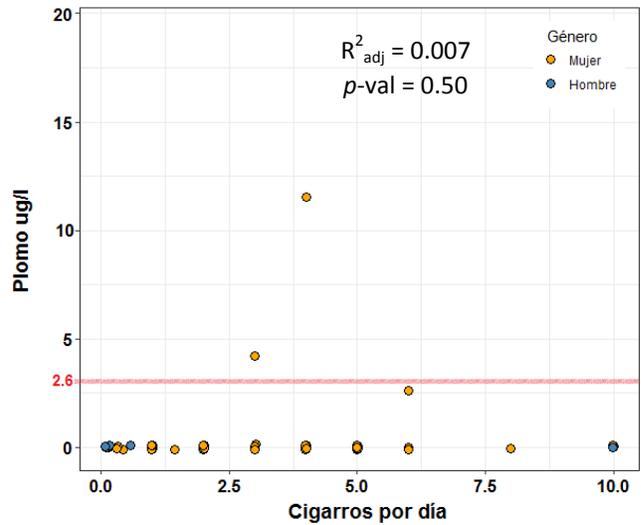
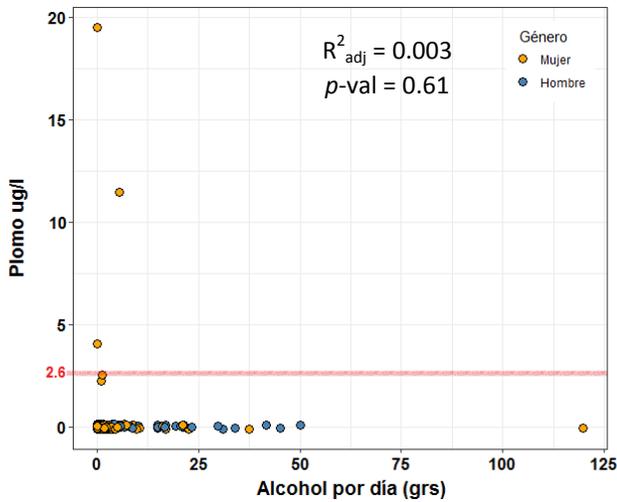


Figura 9. Relación entre la concentración de Plomo en orina ( $\mu\text{g/l}$ ) de mujeres y hombres de Andacollo con algunas variables socio-demográficas y de estilo de vida. La línea roja representa el umbral legal de tolerancia, los valores de  $R^2$  ajustado y  $p$  se obtuvieron a partir de una regresión simple entre las variables reportadas. También con un  $R^2$  muy bajo, existe una relación positiva significativa entre concentración de Plomo y la distancia a la mina (valor  $p$  en rojo)

5) Interacción entre concentraciones de metales pesados

Mediante regresión lineal, se explora la interacción entre los diferentes metales pesados (As, Hg y Pb). En otras palabras, se busca identificar si existen personas que presentan concentraciones altas de más de un metal pesado. Como se observa, en la figura 10, no se encontraron personas que presentan concentraciones altas, más de un metal.

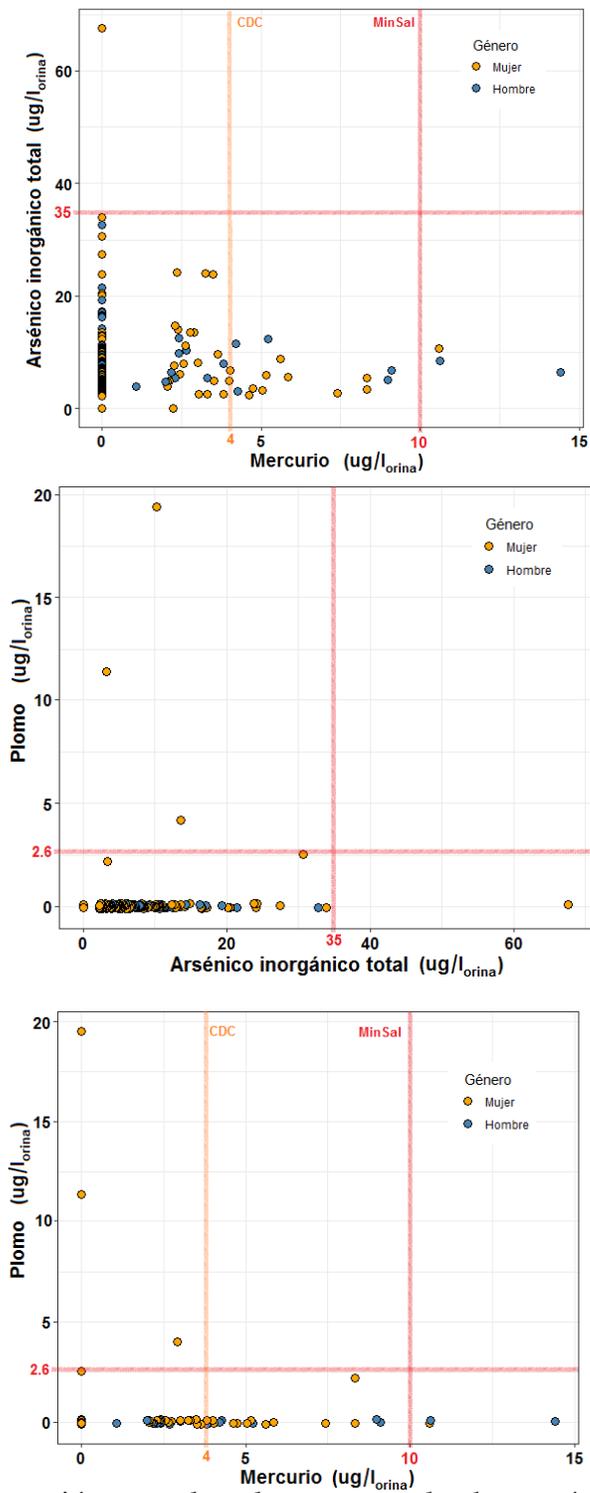


Figura 10. Nivel de interacción entre los elementos evaluados según su concentración en orina ( $\mu\text{g/l}$ ) para mujeres y hombres de Andacollo. Las líneas rojas representan los umbrales de tolerancia legal.

6) Distribución espacial de las concentraciones de arsénico inorgánico, mercurio y plomo en la comuna de Andacollo.

Finalmente en la figura 11, 12 y 13, se presenta la distribución espacial de las concentraciones de metales en la comuna de Andacollo, representado con una escala de colores, los distintos niveles de concentración para cada metal.

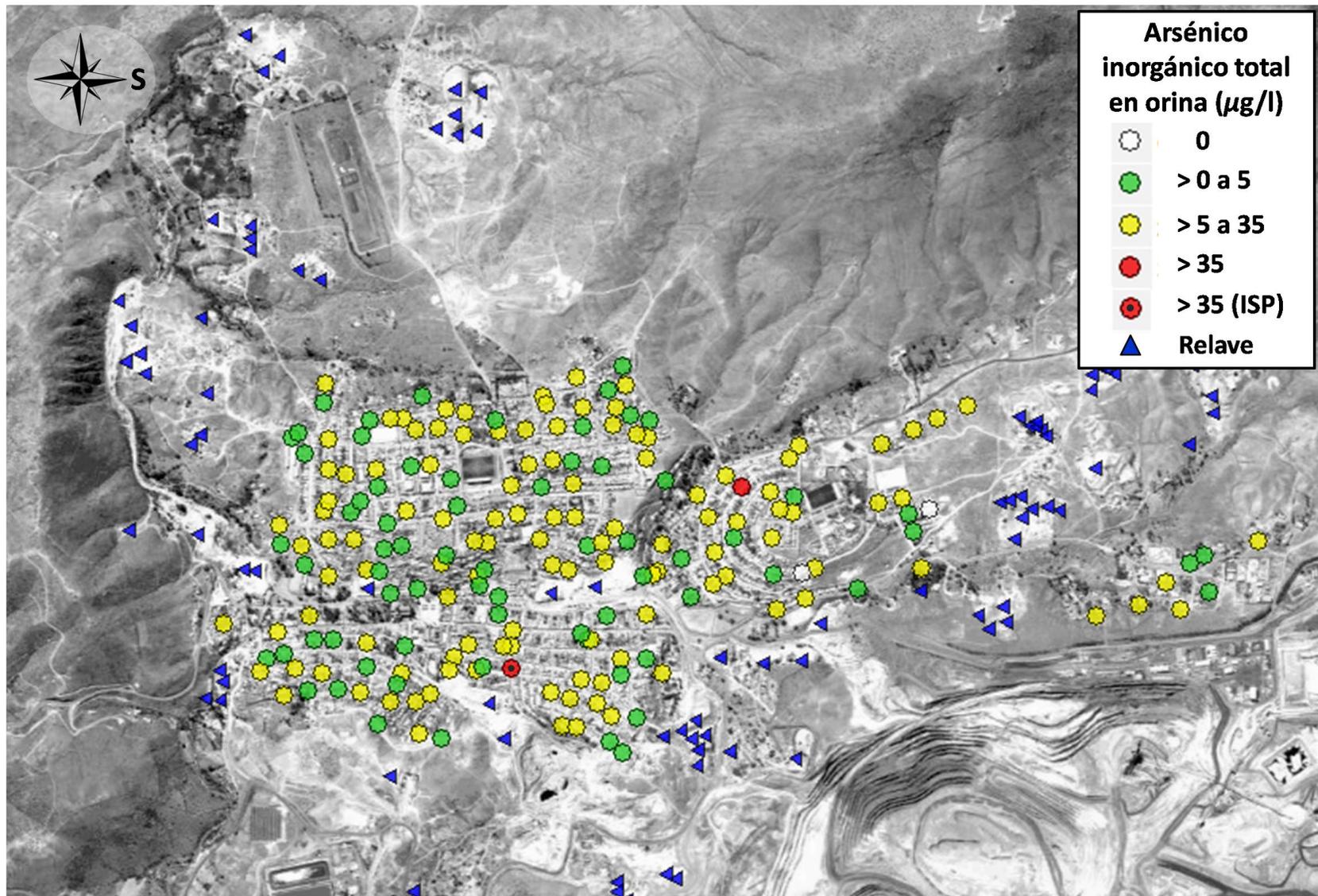


Figura 11. Distribución espacial de las concentraciones de Arsénico inorgánico en la comuna de Andacollo

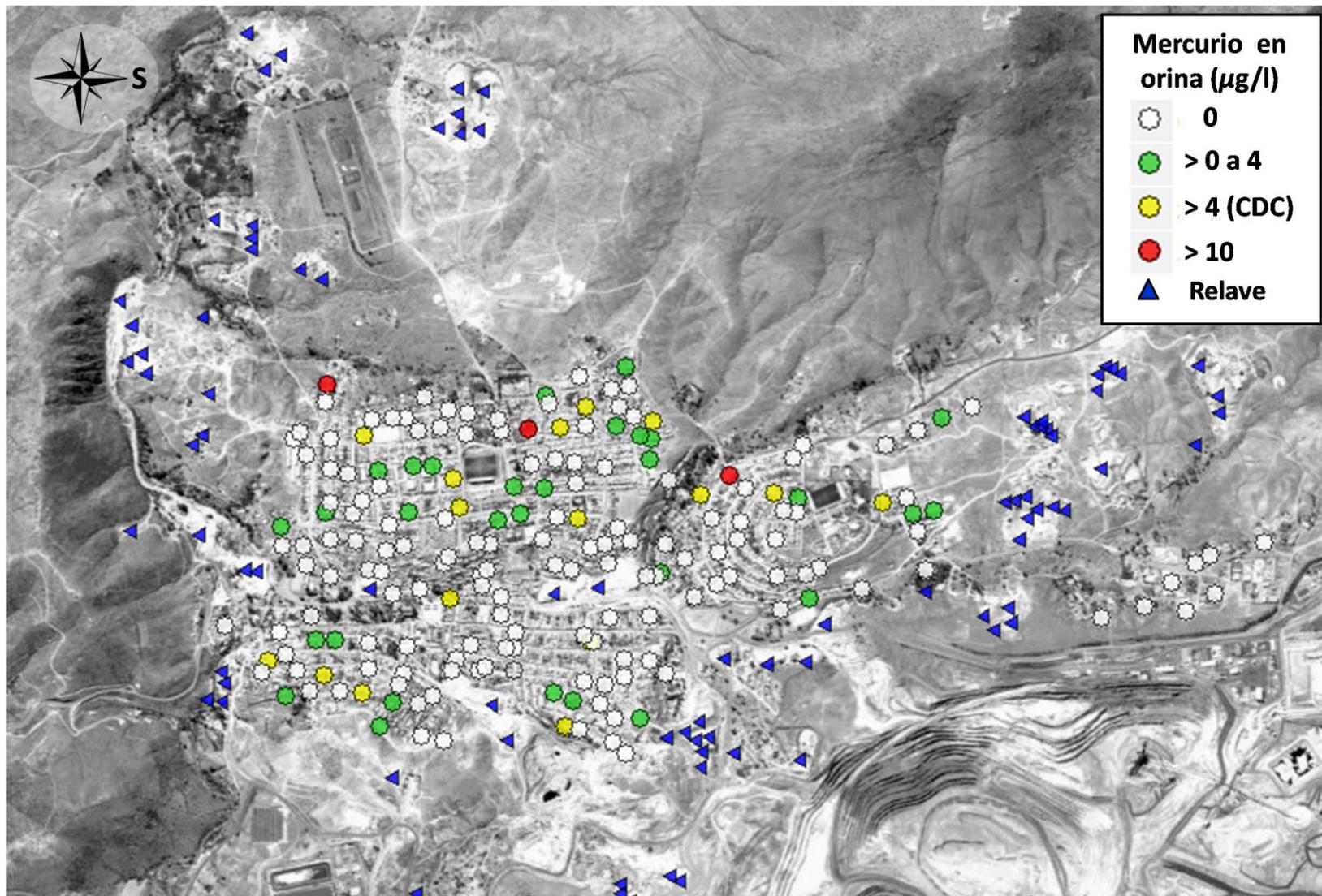


Figura 12: Distribución espacial de las concentraciones de mercurio en la comuna de Andacollo.

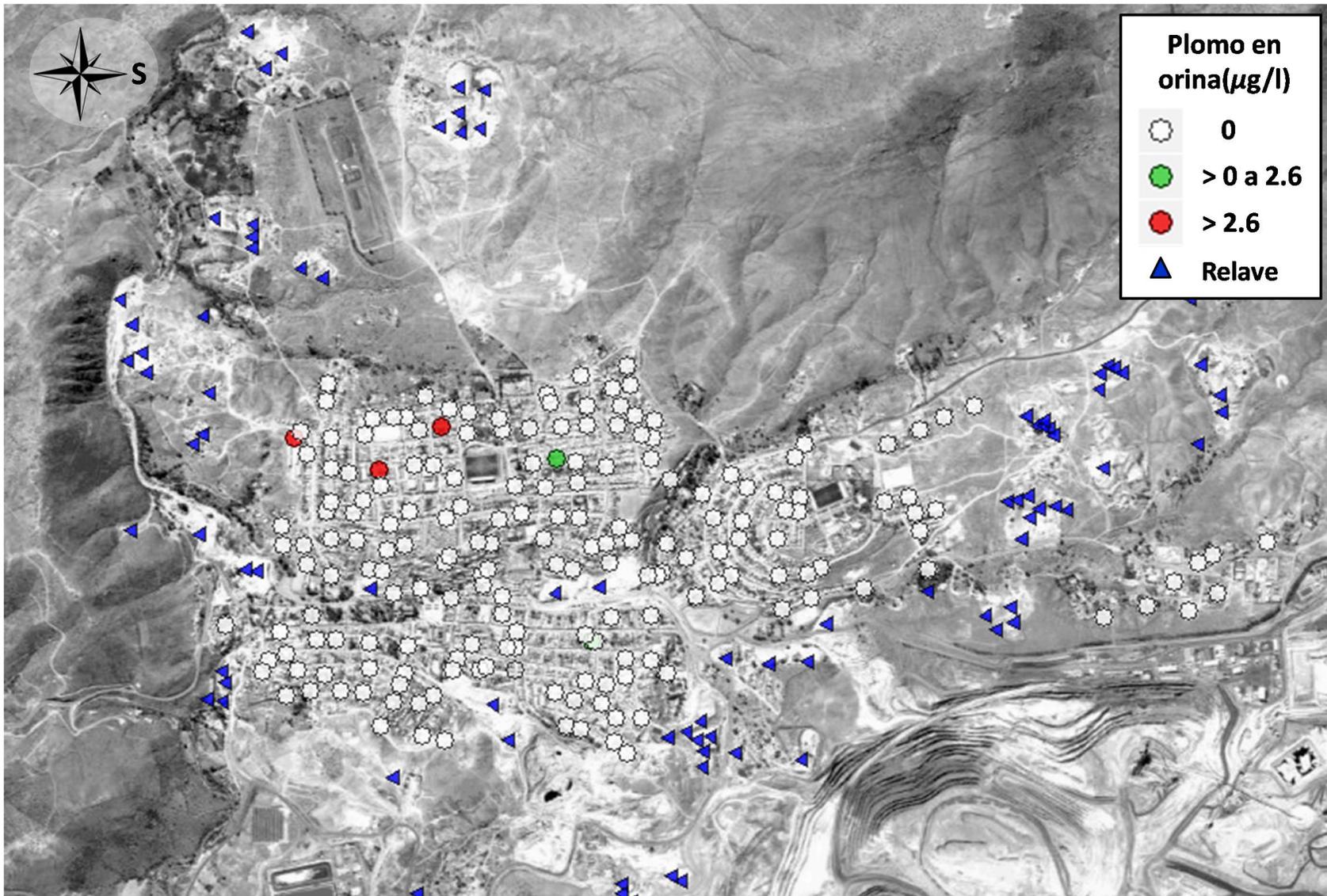


Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones de plomo en la comuna de Andacollo



## CONCLUSIONES GENERALES

- Los valores de prevalencia de exposición a As inorgánico, mercurio y Pb, en la comuna de Andacollo, son bajos en comparación a otras comunidades del norte del país (Cortés., 2016). Es decir, el porcentaje de personas que presentan una concentración de arsénico igual o superior a los valores de referencial del MINSAL (35 µg/L) es sólo de un 1%. Por lo tanto, la comuna de Andacollo no está expuesta a estos valores de arsénico iguales o superiores a 35 µg/L. Sin embargo, es necesario destacar, que en otros estudios realizados y actualmente disponibles, como son Chañaral y Arica, no consideraron como criterio de exclusión el consumo de mariscos y/o pescados, y además, incorporan niños en el estudio, lo que podría explicar las menores prevalencia encontradas en Andacollo.
- Por otro lado, acuerdo a los análisis de los resultados obtenidos, se observó que el 98, 95 % presenta concentraciones bajas de arsénico. Entre concentraciones van desde 2,28 µg/L a 67,60 µg/L, con una concentración de 10,23 µg/L, como percentil 75. Lo que podría sugerir una exposición baja a concentraciones de arsénico. Sin embargo, este aspecto es necesario evaluarlo con estudios que identifiquen potenciales fuentes de contaminación y vías de exposición a arsénico.
- Ahora bien, se descarta consumo de pescado y/o marisco, como fuente de exposición, ya que fue considerado como criterio de exclusión. Por otro lado, de acuerdo a los antecedentes públicos disponibles (SISS, Superintendencia de Servicios sanitarios), ésta tipo de exposición no correspondería a agua potable, y por lo tanto, sugiere que podría corresponder a una exposición a material particulado, y/o polvo en suspensión derivado de relaves y/o caminos. Sin embargo, éste es un aspecto que hay que es necesario estudiar y evaluar, mediante otros tipos de estudio, para comprobar su participación como potencial fuente de contaminación.

- De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que en el sector “norte-orienté” de Andacollo, se centraron las mayores concentraciones de mercurio y plomo determinadas. Se sugiere estudiar ésta relación encontrada.

## REFERENCIAS

1. Videla, Gina (2003). Andacollo: "Tierra de fe, tierra que encanta". [www.turismolancuyen.cl](http://www.turismolancuyen.cl).
2. CENMA (Centro Nacional del Medio Ambiente). 2011. Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo. Coquimbo. p. 198.
3. Atlas de Depósitos de Relaves. Sernageomin. <http://relaves.sernageomin.cl/>
4. "Resumen situación Epidemiológica comuna de Andacollo Región de Coquimbo",. Departamento de Epidemiología de la División de Planificación Sanitaria, del Ministerio de Salud de Chile. Junio 2017
5. Determinantes y Diagnóstico de Situación de Salud en Andacollo, 2014. Unidad de Epidemiología y Estadísticas de Salud. Secretaría Regional Ministerial de Salud Coquimbo. 2014.
6. *Diagnóstico de Calidad de Aire y Medidas de Descontaminación, Andacollo*". CENMA 2011.
7. Caracterización y propuesta para la remoción de pasivos ambientales mineros de la zona urbana de la comuna de Andacollo, IV Región de Coquimbo-Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Prevención de Riesgo y Medio Ambiente. Universidad de Aconcagua-2007
8. Evaluación de Riesgos a la Salud en la Comuna de Andacollo. CENMA 2012
9. Centers for Diseases Control and Prevention (CDC). 2009. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Department of Health and Human Services. Available at: <http://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/fourthreport.pdf>.
10. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2012b. CDC Response to Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention Recommendations in "Low Level Lead Exposure Harms Children: A Renewed Call of Primary Prevention". Atlanta (GA). [online] Available at URL: [http://www.cdc.gov/nceh/lead/ACCLPP/acclpp\\_main.htm](http://www.cdc.gov/nceh/lead/ACCLPP/acclpp_main.htm). 10/26/12
11. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2015. National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. <http://www.cdc.gov/exposurereport/> Updated tables, February 2015: [http://www.cdc.gov/biomonitoring/pdf/FourthReport\\_UpdatedTables\\_Feb2015.pdf](http://www.cdc.gov/biomonitoring/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Feb2015.pdf)

12. Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Arsénico en la Comuna de Arica. Santiago. MINSAL, 2014
13. Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Plomo en la Comuna de Arica. Santiago. MINSAL, 2014
14. Guía Clínica: Vigilancia Biológica de la Población Expuesta a Mercurio en la Comuna de Arica. Santiago. MINSAL, 2014
15. IARC. 1987. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Lead and lead compounds: lead and inorganic lead compounds (Group 2B) organolead compounds (Group 3). Supplement 7: (1987) (p. 230). Lyon. Francia.
16. INE (Instituto Nacional de Estadística). 2008. Programa de Proyecciones de Población al 30 de Junio. 1990-2020. Región 4 de Coquimbo: Comunas, Sexo y Edad.
17. World Health Organization a (WHO). 1991. Environmental Health Criteria 110. Inorganic Mercury. Ginebra, Suiza.
18. World Health Organization (WHO). 2008. Manual de vigilancia STEPS de la OMS. El método STEPwise de la OMS para la vigilancia de los factores de riesgo de las enfermedades crónicas. Disponible en: <http://www.paho.org/spanish/ad/dpc/nc/panam-steps-manual.pdf>
19. WHO *Working Group on Inorganic Air Pollutants*, 1994.
20. Cortés, S., Molina, L., Burgos, S., Adaros, H., and Ferreccio, C (2016). Urinary Metal Levels in a Chilean Community 31 Years after the Dumping of Mine Tailings. *Journal of Health and Pollution*: Vol. 6, No. 10, pp. 19-27.