

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA**



**EFFECTO DE LA EXPOSICIÓN AL MP_{2.5} PROVENIENTE
DE RELAVES MINEROS EN LA FUNCIÓN PULMONAR
EN ESCOLARES DE CHAÑARAL, III REGION, CHILE.**

KARLA YOHANNESSEN VÁSQUEZ

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN SALUD PÚBLICA

PROFESOR GUÍA: DANTE CÁCERES LILLO

Santiago, Noviembre 2014

Contenidos

Lista de tablas	4
Lista de figuras	5
1. Introducción.....	6
2. Marco teórico.....	7
2.1. Material Particulado (MP).....	7
• Fuentes y composición del MP _{2.5}	8
• Efectos de la exposición al MP en la salud.....	10
• Efectos de la exposición al MP en la función respiratoria en los niños (as).	13
2.2. Contaminación Ambiental producida por la minería.....	19
• Contexto histórico del relave de Chañaral.....	20
• Composición del MP en Chañaral y exposición a metales pesados.....	22
2.3. Relevancia de la investigación.	25
3. Pregunta de investigación.....	27
4. Objetivos	27
4.1. Objetivo General.....	27
4.2. Objetivos específicos	27
5. Hipótesis de investigación	27
6. Metodología.....	28
6.1. Tipo de estudio.	28
6.2. Universo y muestra.	28
• Criterios de inclusión y exclusión.....	30
6.3. Variables y su operacionalización.	30
• Variable de exposición.	30
• Variable respuesta.	31

• Otras variables.	33
6.4. Limitaciones.	34
6.5. Análisis de los datos.	35
6.6. Aspectos éticos.	37
7. Resultados.....	37
8. Referencias.....	63
9. Anexos.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Valores límites para la concentración diaria y anual de MP propuestos por la OMS y en la normativa chilena vigente.

Tabla 2. Estudios de composición del MP_{2.5} según su fuente.

Tabla 3. Estudios tipo panel de exposición a MP y efectos agudos en los valores espirométricos.

Tabla 4. Equipos utilizados y metodología de medición.

Tabla 5. Equipos utilizados en la medición de variables meteorológicas.

Tabla 6. Características antropométricas y sociodemográficas de los escolares estudiados. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Tabla 7. Valores espirométricos durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Tabla 8. Material particulado y variables meteorológicas durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Tabla 9. Asociación [coeficientes crudos y ajustados de aumento por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y MP₁₀ en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del aparato respiratorio y la fracción de partículas de diferentes tamaños depositadas a distintos niveles..

Figura 2. A la izquierda una fotografía Oblicua Trimetrogón tomada en el año 1948. A la derecha una imagen satelital SPOT del año 2006. En la figura de la izquierda se puede observar la posición aproximada de la costa original (línea roja).

Figura 3. Mapa de Chile y la Bahía de Chañaral, Región Atacama.

Figura 4. Mapa de la ciudad de Chañaral, líneas divisorias de los estratos y ubicación de la estación de monitoreo de MP y variables meteorológicas, Chile 2012-2013.

Figura 5. Gráficos de tendencias en el tiempo descriptivos de los promedios de 24 horas de MP_{10} , $MP_{2.5}$ y velocidad del viento durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Figura 6. Asociación [coeficientes crudos y ajustados de aumento por cada $\mu g/m^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y $MP_{2.5}$ en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Figura 7. Asociación [coeficientes crudos y ajustados de aumento por cada $\mu g/m^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y MP_{10} en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

1. Introducción

Existe extensa evidencia que el material particulado (MP) tiene efectos adversos en la salud, especialmente el de tamaño inferior a $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2.5}$), ya que puede llegar a partes más distales del tracto respiratorio. Por otra parte, sus componentes varían según la fuente; escasos estudios han investigado los efectos del $\text{MP}_{2.5}$ que proviene del polvo del suelo.

La minería es una fuente importante de contaminación del medio ambiente por metales pesados debido a actividades tales como la extracción de minerales, el transporte de mineral, fundición y refinación, y la eliminación de relaves y aguas residuales.

En Chile una de las principales actividades productivas es la minería, gran parte de los procesos productivos se lleva a cabo en el norte del país. La ciudad de Chañaral ubicada en la Región de Atacama esta directamente impactada por material particulado con alto contenido metálico, proveniente de relaves mineros depositados durante 50 años en su zona costera. La calidad de vida y salud de la comunidad se ha visto afectada, especialmente aquellos grupos etarios vulnerables.

La exposición ambiental a metales es un problema en todo el mundo, en especial por los efectos en la salud de las personas. La carga global de la exposición a éstos agentes químicos potencialmente peligrosos es desconocida y la información sobre los riesgos para la salud de los niños expuestos es escasa.

Este estudio busca identificar si existe asociación entre la exposición ambiental a $\text{MP}_{2.5}$ en escolares que viven adyacentes a un megadepósito de relaves mineros y su posible efecto sobre la función pulmonar y por ende el desarrollo de los niños expuestos. Este estudio permitirá disponer de evidencia científica que permita precisar de mejor manera esta relación en entornos ambientales cuya situación de contaminación por desechos mineros es similar a la existente en Chañaral.

2. Marco teórico

El siguiente marco teórico se dividió en 2 áreas temáticas principales, en primer lugar se tratará el material particulado, su definición, su fuente y composición según estudios recientes, los efectos en la salud general y respiratoria en población vulnerable, y las diferentes formas en que se han estudiado estos efectos. La segunda parte abordará el tema de la contaminación ambiental debido a la minería en el norte del país, específicamente se describirá la situación de la ciudad de Chañaral y los estudios que se han realizado en las temáticas de material particulado y exposición en aquella ciudad.

2.1. Material Particulado (MP).

El MP es uno de los 6 contaminantes criterio y el más importante en términos de efectos adversos sobre la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency-EPA) ha elaborado la definición más utilizada para este concepto.

Material particulado: es una muestra compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotitas líquidas. La contaminación por partículas se constituye de diferentes componentes incluyendo ácidos (como nitratos y sulfatos), productos químicos orgánicos, metales y partículas del suelo o polvo (1).

El tamaño de las partículas está directamente relacionado con su potencial para causar problemas de salud (2). Las partículas que tienen un diámetro de 10 μm o menos son las que pueden entrar en el aparato respiratorio a través de la nariz y/o la faringe, éstas una vez inhaladas pueden afectar el sistema cardiovascular y respiratorio causando efectos para la salud (1).

Según su tamaño, la EPA las ha clasificado en partículas gruesas inhalables, que son las que tienen un diámetro aerodinámico desde 2.5 hasta 10 μm ,

partículas con un diámetro aerodinámico hasta 10 μm (MP_{10}), y partículas finas, que son las que tienen un diámetro inferior a 2.5 μm ($\text{MP}_{2.5}$) (1).

Cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus habitantes; la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado la guía de calidad del aire, actualizada en el año 2005, en la que se proponen valores límites para la concentración diaria y anual de MP (3). En Chile también se han establecido normas para el MP, sin embargo los valores límites aun están por encima de los propuestos por la OMS (4, 5). La tabla 1 detalla los valores límites propuestos por la OMS y la normativa vigente en Chile.

Tabla 1. Valores límites para la concentración diaria y anual de MP propuestos por la OMS y en la normativa chilena vigente.

	Concentración de 24 horas*		Concentración anual**	
	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{MP}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{MP}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
OMS	50	25	20	10
Normativa Chilena	150	50	150***	20****

*promedio diario de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora.

**promedio de los valores de concentración mensual en la estación monitora en un año calendario.

***percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MP_{10}) o si antes de que concluya un período anual se registran más de 7 días con mediciones sobre 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

****percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o cuando el promedio trianual de las concentraciones anuales sea mayor a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- **Fuentes y composición del $\text{MP}_{2.5}$**

El material particulado puede tener su origen de manera natural y antropogénica lo que influirá en su composición y tamaño (6). Las partículas pueden ser emitidas directamente desde una fuente, por ejemplo las obras de construcción, carreteras sin pavimentar o chimeneas, llamadas partículas primarias. Las partículas secundarias son las que se forman mediante

reacciones complejas con los compuestos químicos del ambiente y constituyen la mayor parte del MP (1).

Algunas fuentes del MP_{2.5} y sus componentes descritas por diferentes autores se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Estudios de composición del MP_{2.5} según su fuente.

Autor	País	Fuente	Componentes
Kavouras al. (7)	Chile	Polvo del suelo	Al, Si, Ca, K
		Mar	Cl
		Emisiones del motor de vehículos	Pb, Br
		Combustión y refinería de aceite	Ni, V
		Quema de leña	K
		Fundiciones de cobre	Cu, As, Zn
Cuccia et al. (8)	Italia	Tráfico vehicular	CO, CE, Fe, NH ₄
		Polvo de suelo	Si, Al, CO, CE, Fe
		Sales de mar	Na, SO ₄
		Combustión de aceite	SO ₄ , NH ₄ , CO, CE
Peltier et al. (9, 10)	Estados Unidos (Nueva York)	Emisiones de vehículos y resuspensión de polvo	Si, Al, Ti, Fe, Ba, Br, CO
		Quema de carbón y leña	Ni, V, As, Se, S, Cl, Na, K, Pb, Cu, Zn, Mn
Gent et al. (11)	Estados Unidos	Emisión del motor de vehículos	CE, Zn, Pb, Cu, Se,
		Resuspensión del polvo del suelo	Si, Fe, Al, Ca, Ba, Ti
		Sulfuro	S, P
		Quema de leña	K
		Aceite	Ni, V
		Sales de mar	Cl, Na
Seguel al. (12)	Chile (Región metropolitana)	Procesos industriales, emisión del motor de vehículos	CO, CE
Salvador et al. (6)	España	Polvo de corteza terrestre	Ti, Al, Fe, Mn, P, Ca
		Aerosoles marinos	Na, Mg, Cl
		Emisiones del tráfico	NO, K, Pb, Zn, C, NO ₃
		Combustión de aceite	V, Ni, Cu
		Emisión de combustibles fósiles	SO ₄ , NH ₄
		Fumigación y combustión de carbón	Se, As, SO ₂ , Cu, Pb, Ti, Fe
Jorquera et al. (13)	Chile (Región metropolitana)	Motor de vehículos	Pb, Ba, Mn, Cr, Zn
		Aerosol marino	Cl, S
		Fundición de cobre	As, S
		Polvo de suelo	Si, K, Ti
Jorquera et al.	Chile (zona)	Quema de leña	K
		Reservas minerales y plantas salinas	K, Ni, Zn, Pb, SO ₄ , CE

al. (14)	norte)	Combustión y aerosol marino	Cl, NO ₃ , CO
		Fundición de Cobre	As, Cu, Pb, Zn
		Polvo de suelo	Al, Si, K, Ca, Ti, Fe, Sr
		Planta de cemento	Ca, Al, Si, Fe, SO ₄ , CO

Se puede observar que los componentes del MP_{2.5} pueden variar según su fuente de emisión, de forma independiente al país donde se estudie.

La fuente mas estudiada ha sido el que tiene relación con las emisiones del tráfico vehicular, de la combustión de leña y carbón y de los procesos industriales.

El estudio de Jorquera et al. que se llevó a cabo en el norte del país, determinó que la fuente antropogénica es la que más contribuye al MP presente en la zona estudiada (14).

- **Efectos de la exposición al MP en la salud.**

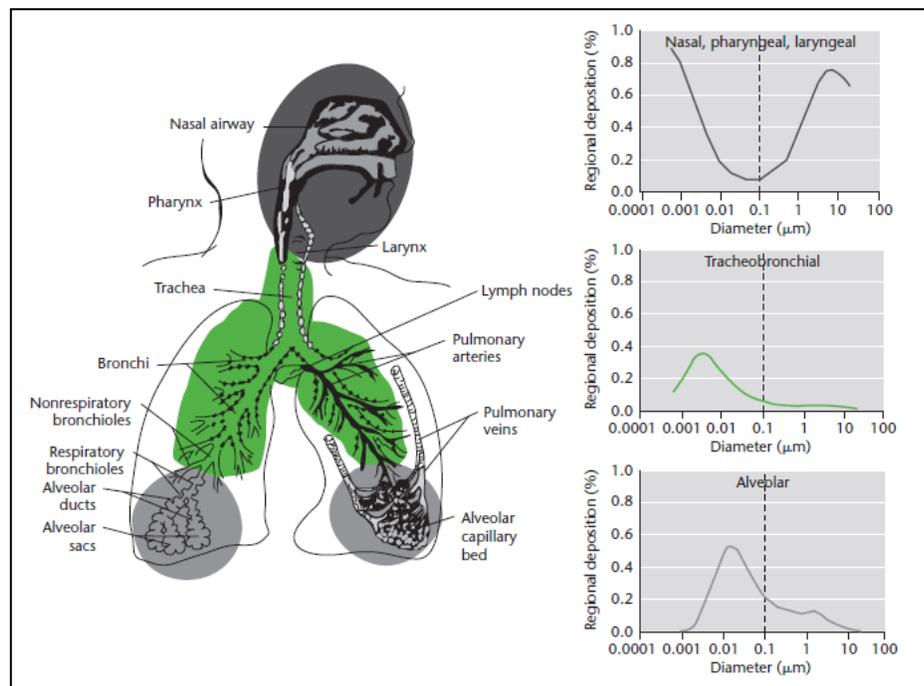
La exposición a MP ha sido relacionada con una variedad de efectos en la salud, a corto y largo plazo, incluyendo problemas a la salud respiratoria y cardiovascular (15, 16). Estos efectos adversos dependen, por un lado, de la concentración ambiental, composición y características de la exposición (magnitud, frecuencia, intensidad y duración) y, por otro, de la susceptibilidad de las personas expuestas (17).

La contaminación por partículas, especialmente el MP_{2.5}, contiene sólidos microscópicos que pueden penetrar profundamente en los pulmones y causar problemas de salud. Las investigaciones realizadas no han identificado valores umbrales por debajo de los cuales no se produzcan efectos adversos (3).

Varios estudios científicos han vinculado la exposición a MP con muerte prematura en personas con enfermedades respiratorias o cardiacas,

frecuencia cardiaca irregular, ataques cardiacos no fatales, agravamiento del asma, disminución de la función pulmonar y aumento de síntomas respiratorios (2). Las personas sanas pueden experimentar síntomas temporales frente a la exposición a niveles elevados de MP (1, 16).

El diámetro aerodinámico de la partícula determinará el nivel de profundidad que puede alcanzar en el aparato respiratorio, como se puede observar en la Figura 1; las de menor tamaño penetrarán a las zonas más distales, incluso podrían llegar a los alvéolos y pasar al torrente sanguíneo por procesos de difusión, generando bio-acumulación y trastornos o enfermedades vinculadas no solo a esta vía de entrada (18).



Fuente: Environmental health: from global to local Frumkin H. 2010

Figura 1. Estructura del aparato respiratorio y la fracción de partículas de diferentes tamaños depositadas a distintos niveles. Las partículas mas grandes se detienen en la nariz, mientras que las más pequeñas alcanzan los alvéolos.

El mecanismo fisiopatológico por el cual las partículas ejercen sus efectos en la salud no ha sido bien establecida (2, 16). Las razones podrían incluir: (a) la variabilidad en las características de la población, dado que distintas poblaciones expuestas a la contaminación en diferentes lugares pueden mostrar una serie de respuestas distintas y (b) la variabilidad en la mezcla compleja de partículas finas con un nivel y composición diferente en el tiempo y el espacio (2).

Existen grupos poblacionales que son más vulnerables a los efectos en salud, como los niños, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares (2, 15).

En comparación con los adultos, los niños han mostrado ser más vulnerables a los efectos de la exposición a la contaminación del aire debido a su etapa de crecimiento físico, sistema inmune inmaduro, y el desarrollo de la función pulmonar con aumento de la permeabilidad y reactividad del epitelio respiratorio (2, 19).

Se han descrito diferencias importantes con respecto a la mayor vulnerabilidad de los niños a los efectos de la contaminación del aire:

- Los niños(as) tienen desproporcionadamente mayor exposición a las sustancias tóxicas del medio ambiente (18).
- Los niños inhalan un mayor volumen de aire por peso corporal que un adulto (2, 19).
- Las vías metabólicas de los niños, principalmente en los primeros meses después del nacimiento, están inmaduras. Generalmente, los niños son menos capaces que los adultos de hacer frente a los compuestos tóxicos (2, 19).
- Los niños experimentan un rápido crecimiento y desarrollo. Estos procesos crean ventanas de vulnerabilidad en las que el desarrollo puede ser

interrumpido o alterado de forma permanente por las toxinas ambientales (2, 19).

- Dado que los niños tienen más años futuros de vida que los adultos, tienen más tiempo para desarrollar enfermedades crónicas que pueden ser desencadenadas por la exposición temprana con largos períodos de latencia (18).

- Otra razón de la mayor susceptibilidad de los niños a la contaminación del aire son las diferencias cuantitativas y cualitativas en los sistemas inmune, endocrino, nervioso y respiratorio durante las etapas de rápido crecimiento y desarrollo (2).

- **Efectos de la exposición al MP en la función respiratoria en los niños (as).**

Los estudios que han investigado, en niños, la relación entre la exposición a MP y los efectos agudos en la salud respiratoria, específicamente en la función pulmonar y síntomas respiratorios, han sido de diseños prospectivos tipo panel (19-22) ya que éstos permiten seguir a grupos de individuos durante un período de tiempo (generalmente meses) con el fin de estudiar efectos agudos debido a variaciones en la exposición durante el tiempo de seguimiento (16, 19, 21, 23).

Una revisión sistemática de estudios de tipo panel que estudiaron la exposición a contaminación del aire y función pulmonar, realizada por Li et al. en el año 2012, concluyó que existen efectos adversos significativos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de los niños, en especial en los asmáticos (19).

La función pulmonar es una de las herramientas de evaluación más importante, disponible para los investigadores, de los efectos en salud por la contaminación atmosférica (24). Es un marcador sensible de los efectos de la

contaminación del aire sobre la salud de las vías respiratorias inferiores, en especial cuando los niveles de exposición son altos (2). Numerosos estudios han documentado la asociación entre la contaminación por MP y la función pulmonar, inclusive cuando la exposición es a dosis bajas (2, 16, 19, 25). Sin embargo hay estudios que no han encontrado esta asociación (2).

La exposición a la contaminación del aire permite que las partículas y sus componentes ingresen al aparato respiratorio y se produzca una respuesta inflamatoria que incluye un aumento en los macrófagos alveolares, infiltración de neutrófilos y producción de citokinas inflamatorias; todo esto podría asociarse con la subsecuente respuesta inflamatoria persistente, aumento en la reactividad de la vía aérea, disminución de la capacidad ventilatoria y alteración de la función inmune. No obstante, la respuesta respiratoria a los diferentes contaminantes es un proceso multifactorial, que involucra factores propios del individuo como los genes y la dieta, así como la interacción gen-ambiente (26).

La espirometría es una prueba fundamental en la evaluación de la función pulmonar y ha sido utilizada de manera frecuente en la práctica clínica así como en estudios poblacionales. Una espirometría entrega información de la interacción entre los volúmenes, fuerzas y resistencias analizadas a partir de un flujo aéreo, cuyas características se pueden describir cualitativa y cuantitativamente en sujetos sanos o con alguna condición respiratoria (27).

Los valores más utilizados, obtenidos a través de una espirometría, son la Capacidad Vital Forzada (CVF), el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF_1), el Flujo Espiratorio Máximo (PEF) y el Flujo Espiratorio Forzado entre el 25% y 75% de la CVF (FEF_{25-75}), dado que presentan una buena reproducibilidad, facilidad de medición y grado de correlación con la etapa de la enfermedad, condición funcional, morbilidad y mortalidad (28). Éstos valores espirométricos corresponden a volúmenes y flujos que entregan información acerca de la función pulmonar y se pueden describir de la siguiente manera (27, 28):

Capacidad Vital Forzada (CVF): es el volumen de aire exhalado a una máxima velocidad espiratoria, expresado en litros, después de una inspiración máxima.

Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF₁): es el volumen espirado (litros) en el primer segundo de la CFV, corresponde al 70-80% de ésta. Su medición es de significación fisiológica compleja debido a que registra los flujos espiratorios máximos a medida que el volumen pulmonar va disminuyendo, por lo tanto, los factores que generan el flujo (presión de retracción elástica) como los que se oponen a él (calibre de las vías aéreas) van cambiando. Se debe tener presente que la primera parte de este volumen es esfuerzo dependiente, por lo que la sensibilidad del VEF₁ es limitada para captar la obstrucción de bronquios finos, que tienen poco peso en la resistencia global de la vía aérea.

Flujo Espiratorio Máximo (PEF): es el máximo flujo espiratorio, expresado en litros/minuto, el cual depende del esfuerzo efectuado y de la resistencia de las vías aéreas mayores (gruesas).

Flujo Espiratorio Forzado entre el 25% y 75% de la CVF (FEF₂₅₋₇₅): también llamado Flujo Espiratorio Medio Máximo (FEMM), son los flujos espiratorios máximos medidos entre el 25 y 75% de la CVF, descartando el primer 25% que es esfuerzo dependiente y el último 25% que depende del tiempo que el sujeto mantenga el esfuerzo espiratorio. Por lo tanto, este índice funcional es más sensible a la resistencia de las vías aéreas finas.

Algunos estudios de tipo panel que han investigado los efectos agudos del MP en la función pulmonar en niños, medida a través de espirometrías se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Estudios tipo panel de exposición a MP y efectos agudos en los valores espirométricos.

Autor	Contaminantes	Sujetos/Tiempo de seguimiento	Tamaño del efecto
Aekplakorn et al.(25) (Tailandia)	MP ₁₀ , SO ₂ Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo. Cambios por cada 10 µg/m ³	196 niños asmáticos y no asmáticos 6-14 años 3 áreas 54 días de seguimiento Ajuste por tiempo y temperatura	Efecto de contaminantes en el día de medición. <u>Asmáticos:</u> MP ₁₀ modelo de 1 contaminante: CVF B-6.8 (-10.10,-3.5); VEF1 B-6.4 (-9.47, -3.32); PEF B-20.20 (-29.30, -11.10) MP ₁₀ modelo de 2 contaminantes: CVF B-6.3 (-9.78,-2.81); VEF1 B-6.0 (-9.25, -2.75); PEF B-18.90 (-28.46, -9.34) Efecto acumulativo de contaminantes. <u>Asmáticos:</u> MP ₁₀ modelo de 2 contaminantes: lag 2 VEF1 B-3.92 (-6.66,-1.18); promedio 3 días CVF B-6.8 (-9.98, -3.62) VEF1 B -4.83 (-7.73, -1.93) PEF B-15.75 (-24.81, -0.69) <u>No asmáticos :</u> No se encontró asociación significativa entre el material particulado y función pulmonar en niños no asmáticos.
Trenga et al.(24) EEUU, Seattle	MP _{2.5} Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo, personal, interior y exterior. Cambios por cada 10 µg/m ³	17 niños asmáticos 6 a 13 años 3 años de seguimiento Sesiones de medición (26): de 5 a 10 días consecutivos Se evaluó la asociación: - General en todos los niños (G), y por grupo: - Sin medicación antiinflamatoria (SMA) - Con medicación antiinflamatoria (CMA) Ajuste por sexo, edad, IMC, temperatura, humedad relativa,	<u>Personal MP_{2.5}:</u> Lag 1 - PEF-SMA B -10.48 (-18.68, -2.28); <u>Indoor MP_{2.5}:</u> Lag 0 - VEF1-G B -45.90 (-89.92, -1.88), VEF1-SMA B -75.92 (-145.16,-6.67), - PEF-G B -8.68 (-16.64, -0.72) PEF-SMA B -13.34 (-25.9, -0.79) - FEMM-SMA B -12.65 (-20.74, -4.56) Lag1 -VEF1-G B -64.78 (-111.27, -18.28) -PEF-G B -9.22 (-17.51, -0.93) PEF-SMA B -17.13 (-29.86, -4.41) - FEMM-SMA B -13.84 (-21.82, -5.85); FEMM-CMA B-9.33 (-15.89, -2.78) <u>Outdoor MP_{2.5}:</u> Lag0 - FEMM-SMA B -8.23 (-14.77, -1.69) <u>Sitio central MP_{2.5}:</u> Sin asociación significativa

NO₂ y CO₂.

Moshammer et al.(16) (Austria)	NO ₂ , MP ₁ , MP _{2.5} , MP ₁₀ Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo. % de cambio por cada 10 µg/m ³ -% de cambio por IQR	163 niños sanos 7 a 10 años 1 año de seguimiento 10 a 12 espirometrías por niño Se consideró la media de 8 horas previas al soplido (00:00 a 08:00)	<u>Modelo 1 contaminante:</u> MP ₁ : VEF1 -0.38, -0.41 (p 0.006); PEF -0.63, -0.68 (p 0.015) MP _{2.5} : VEF1 -0.23, -0.59 (p 0.019); PEF -0.41, -1.06 (p 0.027) MP ₁₀ : VEF1 -0.11, -0.27 (p 0.049); PEF -0.22, -0.54 (p 0.038) <u>Modelo de múltiples contaminantes</u> MP _{2.5} , sin asociación significativa
Min et al.(23) Korea	MP ₁₀ Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo.	181 sujetos sanos 9 a 19 años Diciembre 2003 a enero 2004 Se consideraron rezagos de 12 horas para un máximo de 72 horas anteriores	<u>Modelo de 1 contaminante:</u> Lag 37-48 horas CVF -7.6 (-2.58, -12.66); VEF1 -6.5 (-2.39, -10.78) Lag 49-60 horas CVF -6.7 (-1.52, -12.03); VEF1 -6.1 (-1.71, -10.43) <u>Modelo de 2 contaminantes (con SO₂):</u> Lag 37-48 horas CVF -9.1 (-2.84, -15.44) VEF1 -7.4 (-2.15, -12.64) <u>Modelo de 2 contaminantes (con NO₂):</u> Lag 37-48 horas CVF -7.6 (-2.58, -12.62); VEF1 -6.5 (-2.39, -10.76) Lag 49-60 horas CVF -7.1 (-1.71, -12.43); VEF1 -5.9 (-1.40, -10.32)
Chang et al.(29) Taiwan	MP ₁₀ , SO ₂ , CO, NO ₂ , O ₃ Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo. Cambios por cada unidad de aumento en la concentración (promedio y máximo)	2.919 estudiantes de secundaria 5 distritos Se consideraron promedios y máximos del día del examen (lag 0), y de 8 hrs del día anterior a 6 horas del día del examen (lag 1) y de 2 días antes del examen (lag 2). Ajuste por edad, sexo, altura, peso,	<u>MP₁₀ (µg/m³)</u> Promedio diario- lag0: CVF B -0.63 (-1.24, -0.13) VEF1 B-0.76 (-1.35, -0.17); lag1: CVF B -1.01 (-1.68, -0.34); VEF1 B-1.13 (-1.78, -0.49) Máximo diario- lag0: VEF1 B-0.48 (-0.90,-0.05); lag1 CVF B -0.67 (-1.12, -0.23) VEF1 B-0.79 (-1.22, -0.36)

temperatura y precipitaciones.			
Dales et al. (30)	MP _{2.5} , NO ₂ , O ₃ , SO ₂	182 niños asmáticos 9 a 14 años	Cambios en el VEF1 como % del valor predicho asociado a un aumento en la concentración promedio diaria entre las 20 hrs día anterior y 20 hrs en el día del test:
Canadá	Monitoreo de la calidad del aire en sitio fijo.	Periodo de estudio: 28 días consecutivos entre octubre y diciembre de 2005 Ajuste por media de temperatura diaria, humedad relativa, día de la semana, actividad fuera de casa	MP _{2.5} 0-12 horas VEF1 B -0.39 (-0.79, -0.01); 0-24 horas VEF1 B -0,54 (-1.02, -0.06) Cambio diurno en el VEF1 asociado a un aumento intercuartílico en la concentración promedio diaria entre 8 hrs y 20 hrs del día del test: MP _{2.5} 0-12 horas: VEF1 B -0.73 (-1.37, -0.10)

La mayor parte de los estudios que han evaluado los efectos agudos de la exposición al MP, principalmente ha examinado el MP₁₀, y generalmente la composición de las partículas se describe según el lugar donde se han realizado los estudios, por ejemplo, los estudios de Min et al. y Chang et al. detallan el lugar como primordialmente expuesto a MP proveniente del tráfico vehicular.

Las variables de ajuste reportadas en estos estudios han sido, principalmente, la edad, el sexo, la estatura y el Índice de Masa Corporal, dentro de las características de los sujetos. Las variables ambientales que fueron controladas en éstos fueron: temperatura, humedad relativa, precipitaciones y estacionalidad, entre otras.

En la revisión de Li et al. se sugiere el estudio de los efectos retardados de la contaminación atmosférica, además de examinar el efecto conjunto entre la exposición a contaminantes del aire y la temperatura ambiente en la función pulmonar y síntomas respiratorios en los niños (19).

2.2. Contaminación Ambiental producida por la minería.

El cobre es uno de principales minerales explotados en nuestro país. En el año 2007 su producción alcanzó los 5,59 millones de toneladas métricas de fino (tmf), un 3,8% más de lo que fue producido en el año 2006, esto atribuido al desarrollo tecnológico en los procesos productivos (31). Este mineral, fue uno de los primeros metales en ser trabajados por los seres humanos en su forma natural de alta pureza. Actualmente, los yacimientos de cobre mineralizados dependen de los procesos geológicos ocurridos en ese lugar, donde se pueden encontrar los minerales de cobre como minerales sulfurados y/o minerales oxidados. Estos yacimientos son explotados con el objetivo de extraer la porción mineralizada de cobre y otros elementos desde la parte rocosa de la mina, para luego enviarlos a una instalación donde se somete al proceso de obtención del cobre.

Existen 2 procesos para la obtención del cobre según el tipo de mineral en que se encuentre, la fundición y la lixiviación. El proceso productivo de los minerales sulfurados incluye la molienda, flotación, fundición y refinación (32). La mayor parte de los relaves son residuos de las plantas de flotación, donde la piedra molida con reactivos pasa por un proceso físico-químico del cual se obtiene el concentrado de cobre que pasará a la fundición (32, 33).

Relave se define como una suspensión fina de sólidos en líquido, constituidos principalmente por el mismo material presente en el yacimiento al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa que se genera y desecha en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina (34-36).

En el año 2010, se realizó un registro de los tranques de relaves existentes en Chile, existiendo 449 depósitos activos y pasivos, siendo la región de Atacama la que posee la mayor cantidad de depósitos activos en el país (36).

- **Contexto histórico del relave de Chañaral.**

La comuna de Chañaral tiene una superficie de 5772 km², su población es de 13543 habitantes según el censo de 2002 y la principal actividad comercial es la minería seguida de la pesca.

A comienzos del siglo pasado, pequeños empresarios locales comenzaron la explotación de mineral en Potrerillos, sector ubicado en la Región de Atacama a 150 kilómetros al este del "puerto de Chañaral". En el año 1910 este mineral fue adquirido por Andes Copper Company, quién implementó y modernizó esta mina con grandes infraestructuras y tecnología avanzada; dio trabajo a miles de obreros y empleados asentándolos junto a sus familias en campamentos que mantenía la empresa (32). Esto consolidó y expandió la producción del cobre en este lugar, lo que trajo consigo, dos décadas después, el comienzo del vertido de relaves en el curso natural del Río Salado (32, 33).

El agua del río salado que provenía de Potrerillos, después de su uso en distintas fases del proceso minero, seguía su curso por la actual comuna de Diego de Almagro, por El Salado y desembocaba en la bahía de Chañaral (32).

Entre 1938 y 1975 más de 320 millones de toneladas de residuos sólidos y cerca de 850 millones de toneladas de aguas servidas del proceso industrial de la minería fueron arrojados al Océano Pacífico, formándose en la bahía de Chañaral una playa artificial de desechos del proceso industrial de elaboración del cobre mezclado con arena (37), produciéndose un retroceso del borde costero (38). Esto se puede observar en la Figura 2.

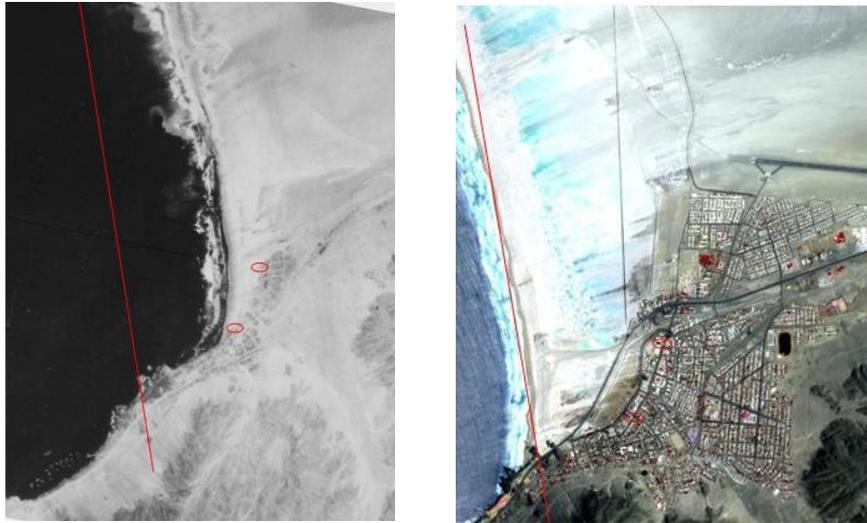


Figura 2. A la izquierda una fotografía Oblicua Trimetrogón tomada en el año 1948. A la derecha una imagen satelital SPOT del año 2006. En la figura de la izquierda se puede observar la posición aproximada de la costa original (línea roja).

A pesar de que en 1971 se aprobó la nacionalización de la gran minería del cobre, el proceso productivo se mantuvo estable hasta 1975, año en que se desvió la desembocadura del río Salado a 12 kilómetros al norte de Chañaral: Caleta Palitos (32, 33), sin embargo el depósito de relaves no tuvo cambios (32).

En 1983, el Programa del Medioambiente de las Naciones Unidas (UNEP) calificó el caso de Chañaral como el más serio del área del Pacífico (33, 39).

Amparados en la Constitución de 1980 los ciudadanos junto a organizaciones comunitarias y sociales de Chañaral y del país, presentaron un recurso de protección a la Corte Suprema la cual en 1988 ordenó a la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) suspender, en el plazo máximo de un año, el vertido de relaves al Océano Pacífico (32, 33, 37, 40, 41).

Diversos autores describen el impacto ambiental producto de esta contaminación a través del tiempo, no solo como cambios físicos en la costa

sino que el evidente desastre ecológico (32, 33), esta situación es conocida a nivel mundial (37, 39-42).

Uno de los efectos ecológicos más importantes de estos desechos no tratados de la minería incluyen la reducción de la biodiversidad y destrucción de las cadenas tróficas comparado con sectores sin depósitos de relaves (33, 39, 43, 44).

Geográficamente, Chañaral presenta condiciones áridas de desierto y escasa pluviosidad que condiciona una escasa vegetación. La circulación local de los vientos es en sentido oeste-este, por las mañanas y hasta las 6 de la tarde el viento sopla desde el océano hacia la cordillera. La sequedad general del ambiente desértico combinado con la circulación de los vientos potencian la suspensión y traslado del polvo generado por los relaves mineros hacia los valles (45).

- **Composición del MP en Chañaral y exposición a metales pesados.**

Numerosos estudios han determinado la composición del polvo de relave y los sedimentos presentes en la playa artificial de Chañaral, los que han encontrado un alto contenido de polimetales.

Los sedimentos son el destino final de las trazas de metales, como resultado de la adsorción, desorción, precipitación, procesos de difusión, reacciones químicas, actividad biológica y la combinación de estos fenómenos. Los sedimentos son un importante sumidero de metales pesados, pero cuando se produce alguna alteración física o cambios en el pH o en el potencial redox, pueden convertirse en una fuente de metales que se liberan hacia el agua. Este fenómeno puede producirse incluso mucho después del cese de la descarga directa y su extensión depende de la asociación del metal con las diferentes fracciones minereológicas del sedimento (43).

La exposición humana a metales pesados como el As, Cd, Pb, y Hg resulta principalmente por la inhalación de partículas de metal en el aire, la ingestión de alimentos contaminados, agua potable o la ingestión desde la mano a la boca desde el suelo (46, 47).

Al considerar las vías de transporte en el contexto de su riesgo potencial para la salud humana y el medio ambiente, el transporte por las partículas del aire y atmósfera es la más importante debido a la velocidad, distancia y extensión aérea en el que los contaminantes pueden ser transportados (47, 48). A pesar de esto, la mayoría de los estudios que evalúa el transporte de contaminantes a través del ambiente, en especial los de operaciones mineras, se han centrado casi exclusivamente en el transporte por suelo y agua; y muy pocos estudios han abordado explícitamente el transporte de metales y metaloides en polvo y aerosol de operaciones mineras (48).

Los estudios de poblaciones humanas realizados en la ciudad de Chañaral se han centrado en evaluar los niveles de MP_{10} , por medio de estudios de monitoreo de MP_{10} y variables meteorológicas asociadas, y la exposición a metales a través de biomarcadores en orina.

Desde 1995 en adelante se han determinado intermitentemente los niveles de MP_{10} por el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM), la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO-Chile) y el Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (IDICTEC), reportando que en diversas ocasiones se ha sobrepasado la norma nacional de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (49-51). Sin embargo estas mediciones han sido realizadas por períodos cortos y no informan claramente la distribución estacional y anual de este tipo de contaminación.

Según Astudillo (51) el monitoreo realizado por CODELCO, específicamente la División el Salvador, demostraría que esta zona se encuentra en "estado de latencia", es decir, aquella en que la medición de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva

norma de calidad ambiental (52), y se concluye que existiría un daño físico causado por el MP a los pobladores de Chañaral. Al analizar la composición del MP₁₀, se determinó la presencia de Cu, Zn, Mo, Ni, Hg, Pb, Cd y As.

El estudio de Ramírez (43), realizado en el año 2002, comparó las concentraciones totales de metales encontrados en diferentes playas de Chañaral con las concentraciones reportadas para lugares no contaminados, y encontró que el Cu, Mn, Zn y Cd estaban aumentados. También determinó que el Cu presente en la zona afectada está asociado con residuos mineros y confirmó la asociación preferencial de metales con la fracción fina (43).

Estudios realizados por la Universidad de Atacama han revelado un alto contenido de Cu, Zn y As, y niveles bajos de Pb, Hg y Cd; además determinaron que el Cu se encuentra en una concentración tres veces mayor en la población del sector norte de la ciudad (Estación Pan de Azúcar) en comparación con las mediciones obtenidas en el centro de la ciudad (Estación Liceo) (53).

Por otro lado, diferentes autores han reportado que durante las épocas de mayor viento se han registrado concentraciones ambientales de MP proveniente del relave, en áreas poblacionales de la ciudad de Chañaral, que en algunas ocasiones sobrepasa la norma nacional (33, 54).

En el año 2006 se realizó un estudio para determinar la exposición ambiental a metales tóxicos a través de biomarcadores medidos en orina de personas adultas, en cual se encontró que los niveles medios de As total, As inorgánico y Ni fueron mayores a los reportados en la población no expuesta pero similar a los de otras poblaciones del norte de Chile. Los niveles de Cu, Hg y Pb excedieron lo descrito en la población general no expuesta y también fueron mayores a los reportados en estudios internacionales en población expuesta ambientalmente. La autora refiere que es posible que estos niveles se mantengan en la actualidad dado que la situación ambiental no ha cambiado sustantivamente (55).

Hasta la fecha, no se han realizado estudios de efectos en salud por la exposición a MP con contenido metálico producto de la contaminación antropogénica del tipo relave minero.

2.3. Relevancia de la investigación.

Esta investigación busca ampliar el conocimiento acerca de los efectos agudos sobre la función pulmonar en niños expuestos a $MP_{2.5}$, no obstante el MP presente en la ciudad de Chañaral tiene una composición diferente al que se estudia con mayor frecuencia, dado que la fuente de origen son los desechos mineros.

Si bien, la minería es una de las fuentes de riquezas más importantes de nuestro país, no es ajena a la producción de desechos; y las externalidades positivas que puede producir para el desarrollo del país pueden ser dañinas para realidades más locales al no considerar un manejo adecuado y disposición de los pasivos ambientales. La negligencia ambiental que se vivió en Chile hasta la promulgación de la Ley 19.300 en el año 1994, dejó sus consecuencias en varias ciudades a lo largo del país.

En el caso de la ciudad de Chañaral, la composición del MP proveniente del relave y la determinación de exposición de las personas a través de biomarcadores, ha sido estudiada y descrita por varios investigadores, sin embargo, no se han realizado estudios de efectos en salud. La información de los riesgos para la salud de la exposición a MP con contenido metálico es escasa a nivel mundial y es un área que se requiere estudiar.

Dentro de la Estrategia Nacional de Salud para el cumplimiento de los Objetivos sanitarios de la década 2011-2020, el objetivo N° 6: Proteger la salud de la población a través del mejoramiento de las condiciones ambientales y de seguridad e inocuidad de los alimentos; una de las estrategias desarrolladas es la implementación de planes descontaminación

en algunas zonas geográficas saturadas, definidas como aquellas en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas (52). En este ámbito este estudio podría contribuir al mejor conocimiento de la temática ambiental de zonas contaminadas con desechos de la minería.

3. Pregunta de investigación

¿Existe asociación entre la exposición a niveles ambientales de $MP_{2.5}$ proveniente de relaves mineros y la variación en la función pulmonar en escolares de Chañaral?

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Determinar si existe asociación entre la exposición a niveles ambientales de $MP_{2.5}$ proveniente de relaves mineros y los cambios en la función pulmonar de escolares de 6 a 15 años de la ciudad de Chañaral durante los años 2012 y 2013.

4.2. Objetivos específicos

- 1.- Caracterizar los niveles de $MP_{2.5}$ y las variables meteorológicas durante el periodo de estudio.
- 2.- Evaluar y describir las características sociodemográficas y función pulmonar de los escolares participantes.
- 3.- Identificar si existe asociación entre la variación de los niveles de $MP_{2.5}$ y la función pulmonar de los niños(as).

5. Hipótesis de investigación

Un aumento en el nivel ambiental de $MP_{2.5}$ se asocia a una disminución en la función pulmonar en escolares de la ciudad de Chañaral.

6. Metodología

Este estudio se enmarca dentro del proyecto FONIS SA11|2224 "Evaluación de los efectos agudos por exposición continua al material particulado proveniente de relaves mineros sobre la salud respiratoria de escolares en la ciudad de Chañaral".

6.1. Tipo de estudio.

Estudio de diseño longitudinal tipo panel. Este diseño se caracteriza por realizar mediciones repetidas en los sujetos estudiados lo que permite identificar cambios en el desenlace de interés según la variación de la exposición a través del tiempo. Este diseño constituye una herramienta útil para estudiar efectos a corto plazo y en el tiempo de una variable de exposición como la contaminación del aire.

6.2. Población y muestra.

La población en estudio fueron escolares entre 6 y 15 años de la comuna de Chañaral. Para construir el marco muestral se solicitó a todos los colegios, municipales, subvencionados y particulares, un listado de los niños del grupo etario a estudiar con sus respectivas direcciones de residencia. Con dicha información el marco muestral quedó constituido por N=1896 niños, 1621 de 6 establecimientos municipales y 255 de 1 colegio particular subvencionado.

Se utilizó una estrategia de diseño muestral complejo y mixto que privilegia representatividad y selección aleatoria de las unidades de muestreo (viviendas) y unidades de análisis (escolares), esta estrategia permitió:

- Representatividad espacial de las unidades de muestreo (viviendas) y unidades de análisis (escolares)

- Trabajar con un tamaño muestral suficiente para estudios analíticos que permitan la comparabilidad de la unidad de análisis (cada escolar durante el período de estudio) respecto a los efectos en salud esperados y considerar aspectos tales como: potencia estadística, nivel de significación y tamaño del efecto.

En la investigación mayor en la cual está inserto este estudio, se estimó un tamaño de muestra para realizar contraste de hipótesis. Considerando esto, el tamaño de muestra se estimó bajo los siguientes supuestos asociados a modelos longitudinales: tamaño de efecto igual a -0.04 L/min por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} (disminución esperada del PEF en niños expuestos (56)), nivel de significación del 5%, poder estadístico de 80%. Con esto se estimó un tamaño de muestra de 115 escolares (nQuery Advisor 4.0). Se asumió un 20% de sobredimensionamiento en caso de pérdidas, lo que da un tamaño de muestra final de $n=150$ escolares.

La selección de las unidades de muestreo y análisis se realizó a través de un muestreo de tipo bietápico estratificado (selección de vivienda en la primera etapa y selección del niño en la segunda etapa) utilizando afijación óptima de Neyman. Las unidades de muestreo al interior de los estratos geográficos fueron seleccionadas mediante muestreo aleatorio sistemático, cuyo objetivo fue generar un distanciamiento espacial de éstas que privilegia su representatividad.

Los estratos geográficos utilizados se construyeron a partir de la variable distancia; definida como la "distancia perpendicular de la vivienda a la línea de borde de la playa", la cual se categorizó en tres estratos que incluyen los distintos gradientes de proximidad al lugar de acopio; finalmente, éstos quedaron definidos según las distancias y se definieron como: E1 (0-600 mts), E2 (>600-1200 mts) y E3 (>1200-1800 mts).

- **Criterios de inclusión y exclusión.**

Fueron incluidos niños que habían vivido durante el último año en la ciudad bajo estudio. Se excluyeron los sujetos con enfermedades sistémicas en estadio agudo, que estuvieran usando medicamentos que afecten el funcionamiento del Sistema Nervioso Central y con alguna condición médica que interfiera en los exámenes de función respiratoria (por ejemplo: cirugía torácica reciente, dolor torácico o abdominal sin causa precisada). La espirometría y flujometría son maniobras dependientes del esfuerzo y requieren colaboración por parte del sujeto, por lo tanto fueron excluidos aquellos sujetos que no podrían colaborar o no comprender las indicaciones.

6.3. Variables y su operacionalización.

- **Variable de exposición.**

Los niveles de MP se midieron a través de una estación de monitoreo ubicada en la Dirección de Vialidad de la ciudad de Chañaral (Latitud 26° 20'17.54"S Longitud 70° 36'57.58"O), debido a que éste lugar cumplía con los requisitos para que la estación de monitoreo de calidad del aire fuera calificada con representatividad poblacional.

La estación de monitoreo y las mediciones fue efectuado por una empresa certificada (CESMEC S.A), lo cual incluyó:

- Una estación de calidad del aire que registró las concentraciones de MP₁₀ y MP_{2.5} durante 24 horas con periodicidad continua.
- Una estación meteorológica que registró los datos de velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y precipitaciones.

El montaje, calibración y operación de los equipos en la estación de monitoreo fue efectuado por personal especializado de la empresa. Los equipos utilizados en la medición de MP se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Equipos utilizados y metodología de medición.

Variable	Marca-Modelo	Metodología
MP ₁₀	THERMO FH62C14	El equipo opera bajo el principio de Atenuación Beta, metodología aprobada según el Artículo 7° del Decreto N° 59, que establece la norma primaria de MP10 en el país El cabezal del equipo se instaló a una altura de más de dos metros desde el suelo, cumpliendo con la normativa EPA y con lo señalado en el Artículo 8° del Decreto N° 59 del 16 de Marzo de 1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.
MP _{2,5}	THERMO 5014i	El equipo opera bajo el principio de Atenuación Beta, metodología aprobada según el Artículo 6° del D.S. N° 12, que establece la norma primaria de MP2,5 en el país.

Registro de la información: el funcionamiento continuo de cada monitor, y los sensores en la estación meteorológica permitió generar datos continuos que son almacenados en un sistema de adquisición de datos Datalogger® y, posteriormente, obtener planillas Excel con los datos por cada minuto de medición. El MP₁₀ y MP_{2,5} son variables de naturaleza cuantitativa continua y se registraron en µg/m³. El período de medición fue de 182 días, desde el 10 de noviembre de 2012 hasta el 12 de mayo de 2013.

- **Variable respuesta.**

La función pulmonar se midió a través de espirometrías realizadas a los niños durante la jornada escolar (diurna) en sus respectivos establecimientos

educacionales aproximadamente cada 2 semanas, entre el 12 de noviembre de 2012 hasta el 10 de mayo de 2013.

Las espirometrías se llevaron a cabo utilizando un espirómetro portátil, marca EasyOne Spirometer®, y fueron realizadas por personal capacitado según normas de procedimiento de la Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias del año 2006 (28), las cuales se basan en las normativas internacionales de la American Thoracic Society/European Respiratory Society (ATS/ERS) (57).

El procedimiento se realizó en una sala facilitada por cada escuela y consistió en que el niño al cual se le tomaba la espirometría debía estar en posición de pie, con la espalda derecha y mirando al frente; se le ocluyó la nariz con una pinza nasal al mismo tiempo en que el niño colocaba la boquilla del espirómetro en su boca y apretaba los labios para que no hubiera fuga de aire. Luego, se comenzó con la maniobra que consistió en realizar una inspiración máxima seguida de una espiración a máxima fuerza y velocidad, exhalando continuamente durante al menos 3 o 6 segundos según la edad del niño. Se realizaron un mínimo de 3 maniobras, si éstas cumplían los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad, y un máximo de 8 cuando algunas curvas se evaluaron como inadecuadas.

Las espirometrías seleccionadas para el análisis, por cada test de función pulmonar, fueron las que cumplían con los criterios de aceptabilidad, es decir, obtener 3 maniobras aceptables en que los trazados no presentaran artefactos (evidencias de fuga de aire alrededor de la boquilla), con un buen comienzo en la espiración y un tiempo espiratorio mayor a 6 segundos en mayores de 10 años y 3 segundos en niños menores; y los criterios de reproducibilidad en que no debe haber una diferencia mayor que 150 ml entre los 2 mejores VEF1 y 2 mejores CVF (28).

Se consideró el efecto en los siguientes valores espirométricos: **Volumen espiratorio forzado en el primer segundo** (VEF1) y **Capacidad vital forzada** (CVF) medido en litros; **Flujo espiratorio máximo** (PEF) y **Flujo espiratorio forzado** en la mitad central de CVF (FEF₂₅₋₇₅) medido en mililitros/segundo.

Previo al comienzo de las espirometrías que forman parte del análisis de este estudio se realizó una primera visita a los colegios de los niños con el objetivo de medir y registrar el peso (kg) y la talla (mt) de los niños, con instrumentos y procedimientos estandarizados, y para demostrar e instruir a los escolares sobre la maniobra del examen de función pulmonar.

- **Otras variables.**

Las variables socio-demográficas para caracterizar los sujetos y otras variables que podrían afectar los resultados de éste estudio se identificaron a través de un cuestionario de datos socio-demográficos, salud y de exposición ambiental dentro y fuera del hogar (Anexo 1), el cual fue respondido por los padres/cuidadores principales después de firmar el consentimiento informado/asentimiento (Anexo 2 Y 3). El ingreso de los datos se realizó utilizando el software EpiData 3.1.

El cuestionario aplicado fue utilizado en otro estudio (58) y adaptado a la cultura chilena; algunas preguntas de salud, específicamente las que indagaron sobre la presencia de asma y atopia, fueron basadas en el cuestionario del estudio International Study of Asthma and Allergies in Childhood- ISAAC (59), las cuales han sido validadas en población chilena (60).

Se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC), según la fórmula $IMC = \text{Peso (kg)} / \text{Talla}^2 \text{ (m)}$, utilizada ampliamente a nivel mundial y en nuestro país (61, 62).

La medición de las variables meteorológicas fue realizada por CESMEC S.A. (empresa encargada de las mediciones de MP) a través de una estación meteorológica que registró los datos de: velocidad del viento (m/s), dirección del viento (°), temperatura ambiente (°C), humedad relativa (%), radiación solar (W/m²), presión barométrica (mmHg) y precipitaciones (mm), durante el mismo periodo que se realizó la medición del MP. El monitoreo continuo de estas variables se efectuó de acuerdo a la metodología indicada por la EPA en el Volume IV: Methodological Measurements del Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Los equipos utilizados se detallan en la tabla 5.

Tabla 5 . Equipos utilizados en la medición de variables meteorológicas.

Variable	Marca-Modelo
Viento	Anemómetro RM Young 5103
Temperatura/ Humedad	Vaisala CS500
Presión atmosférica	Barómetro Met-One 90D
Precipitaciones	Pluviómetro JareK 4000

La información de esta variables fue almacenada en Datalogger® y posteriormente se obtuvieron planillas Excel con los datos por cada minuto de medición.

6.4. Limitaciones.

Los sesgos que se podrían presentar en este estudio son en primer lugar el de selección dado que por el diseño de estudio, de tipo panel, el

reclutamiento y la retención de los sujetos puede dar problemas con la integridad y el tamaño de la muestra. Esto se intentó minimizar haciendo contacto telefónico de las madres/cuidadores principales de los niños participantes para recordarles la importancia de su participación en el estudio, y por otro lado se realizaron visitas por parte del equipo de investigación a los domicilios de los participantes.

Otro sesgo presente es el de información ya que se utilizarán mediciones de MP de una estación de monitoreo para asignar a cada niño su exposición a MP en lugar de utilizar mediciones personales de cada participante, lo cual se intentó aminorar dándole la característica de representatividad poblacional a la estación de monitoreo, lo que fue considerado en el análisis. El sesgo de memoria pudo estar presente en las respuestas del cuestionario y a su vez el de no respuesta, en este sentido antes de la aplicación del cuestionario a los padres de los escolares, se realizó una aplicación piloto del cuestionario para detectar y corregir falencias en el lenguaje, determinar el tiempo de duración y construir la planilla de ingreso de datos.

6.5. Análisis de los datos.

Se realizó un análisis exploratorio de los datos (AED) con la finalidad de detectar la presencia de datos mal codificados, duplicados y datos ausentes, así como también para estudiar la distribución de las variables y su descripción. Este AED se realizó en las siguientes bases de datos:

- a) Niños (características),
- b) Variables espirométricas,
- c) Concentraciones de MP, y
- d) Variables meteorológicas ,

Esto se llevó a cabo a través de medidas de tendencia central, posición, dispersión y forma de acuerdo a la distribución de la variables continuas.

Dicha distribución se estudió a través de histogramas, gráficos de cajas y gráficos de densidad observada. La descripción de las variables cualitativas se realizó a través de porcentajes. Se realizaron gráficos de dispersión y correlaciones para estudiar la relación entre variables continuas.

En el caso de las variables espirométricas, se realizó la descripción de los valores según 4 categorías generadas a partir de los cuartiles de la variable edad, esto debido a que los valores espirométricos están asociados a la edad del sujeto. Los valores espirométricos se compararon entre las categorías de las variables cualitativas a través de test t student o ANOVA, según el número de categorías.

Se construyeron rezagos para la variable exposición, para esto se estudiaron los promedios horarios de los niveles de MP durante el período de estudio. Luego, se estudió el efecto de la exposición al momento de la maniobra espirométrica (lag 0), y los valores promedios, percentil 75 y máximos de 4, 12 y 24 horas previas al examen (lag4 prom, lag12 prom, lag24 prom, lag4 P75, lag12 P75, lag24 P75, lag4 max, lag12 max, lag24 max).

Para estudiar la asociación entre los niveles de $MP_{2.5}$ y los valores de función pulmonar se utilizó modelos de Ecuaciones de Estimación Generalizadas (GEE) que consideran la estructura de correlación de las medidas repetidas (63); dado que la variable respuesta se aproximó a una distribución Gaussiana y porque se desea conocer cuál es el efecto promedio en la población (19, 63), asumiendo una estructura de correlación intercambiable, función de enlace de identidad y familia Gaussiana (63).

Se presentan coeficientes de regresión brutos y ajustados. El estudio de las variables a incluir en el ajuste del modelo se realizó a través de grafos causales, plausibilidad biológica, variables reportadas por la literatura, criterio estadístico y, además, se consideró lo obtenido en el análisis descriptivo y

exploratorio de los datos. Los coeficientes de regresión representan el cambio promedio en los valores de función pulmonar por cada $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento en el MP.

El análisis de los datos se llevó a cabo a través del programa estadístico STATA 11.1

6.6. Aspectos éticos.

El proyecto FONIS SA11|2224 en el cual se enmarca este estudio fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y fue financiado por CONICYT a través del Fondo Nacional de Investigación en salud-FONIS.

Los resultados de las mediciones de función pulmonar serán entregados a los padres de cada niño. Ellos serán debidamente informados y orientados si se presentaran resultados compatibles con una condición de cuidado y control médico.

7. Resultados

Los resultados de este estudio se presentan en formato de artículo científico de corriente principal y en idioma español, el cual será traducido al inglés posterior a las correcciones finales realizadas por los revisores de ésta tesis.

EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO Y FUNCIÓN PULMONAR EN ESCOLARES QUE RESIDEN EN LA PROXIMIDAD DE UNA PLAYA CONTAMINADA CON RELAVES MINEROS: UN ESTUDIO DE PANEL.

Autores:

Yohannessen Vásquez, Karla¹; Alvarado Orellana Sergio¹; Mesías Monsalve Stephanie,¹; Klarian Vergara José², Silva Zamora Claudio; Cáceres Lillo, Dante¹.

Afiliación:

1. Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública, Facultad de medicina, Universidad de Chile
2. Departamento de Prevención de Riesgos y medioambiente, Universidad Tecnológica Metropolitana.

Autor correspondiente:

Cáceres Lillo, D.: Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública, Universidad de Chile, Av. Independencia 939, Independencia, Santiago, Chile. Teléfono: +56 2 9786539, E-mail: dcaceres@med.uchile.cl

Título corto:

Material particulado proveniente de relaves mineros y función pulmonar en escolares.

Agradecimientos:

Agradecemos a los escolares que formaron parte del estudio y sus padres, autoridades del departamento de educación, medioambiente y consejo comunal de la Municipalidad de Chañaral, personal que llevó a cabo el trabajo de campo y al Fondo Nacional de Investigación y desarrollo en Salud (FONIS).

Declaración de interés:

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

RESUMEN

Introducción: La exposición de poblaciones humanas que habitan en las cercanías de relaves mineros ha sido asociada con diversos efectos en la salud. En la ciudad de Chañaral, al norte de Chile, los vientos imperantes levantan Material Particulado (MP) que, especialmente durante la época de primavera-verano, impacta a la población.

Objetivo: Determinar la asociación entre la exposición a MP ambiental y la función pulmonar en escolares de la ciudad de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Métodos: Estudio longitudinal tipo panel en escolares de 6 a 15 años (n=110). Se midieron los niveles de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en forma continua desde noviembre 2012 a mayo 2013 (182 días). La función pulmonar se evaluó a través del Volumen Espiratorio Forzado en el 1° segundo (FEV_1), Capacidad Vital Forzada (CVF), Flujo Espiratorio Máximo (PEF) y Flujo espiratorio forzado en la mitad central de CVF (FEF_{25-75}), medidos a través de espirometrías realizadas cada 2 semanas. Además, se midieron variables meteorológicas, antropométricas y se aplicó un cuestionario sociodemográfico. Para estimar la asociación se utilizaron modelos GEE, considerando rezagos de valores promedios, percentil 75 y máximos de 4, 12 y 24 horas (lag4, lag12 y lag24) de MP.

Resultados: Se analizaron 506 espirometrías. En el modelo crudo se encontraron asociaciones negativas significativas entre los niveles promedios y máximos de $\text{MP}_{2.5}$ para la disminución de los valores del VEF_1 , CVF y PEF; y los niveles máximos de MP_{10} con VEF_1 y PEF. Al ajustar el modelo se mantienen las asociaciones encontradas entre el $\text{MP}_{2.5}$ y la CVF.

Conclusiones: La función respiratoria de los escolares estudiados se ve afectada por aumentos en los niveles de MP, especialmente por las

partículas finas. Se requiere que se apliquen medidas para controlar o disminuir la exposición en esta población.

Palabras claves: relaves mineros, material particulado, función pulmonar

INTRODUCCIÓN

Existe extensa evidencia que la exposición a material particulado (MP) tiene efectos adversos sobre la salud, especialmente en poblaciones vulnerables (2, 15-18, 56), lo que depende entre otras cosas de la composición y tamaño de las partículas (1, 2, 6-8, 12-14). La exposición a MP proveniente del tráfico vehicular, la combustión de leña y carbón ha sido ampliamente asociada a la disminución en la función pulmonar y aumento en los síntomas respiratorios (11, 16, 19, 21, 23, 24, 29, 30), sin embargo, escasos estudios han reportado los efectos de MP que proviene del polvo de suelos contaminados con relaves mineros.

En el norte de Chile, desde hace muchas décadas, la principal actividad económica es la minería la cual tiene efectos económicos y sociales positivos para el país. No obstante, una de las externalidades negativas de ésta actividad es la generación de pasivos ambientales, como son los relaves mineros cuyo efecto más dañino es la contaminación del medioambiente (31, 44, 48).

La comuna de Chañaral ubicada en la III Región de Atacama, es directamente impactada por MP proveniente de una inadecuada disposición de relaves en su zona costera durante más de 50 años (14, 32, 33, 37, 42, 43, 53, 54). Diversos estudios en la zona han reportado un alto contenido de metales pesados en estos residuos, muchos de los cuales son tóxicos para la salud.

Los niños han mostrado ser más vulnerables que los adultos a los efectos de la exposición a la contaminación del aire debido a su etapa de crecimiento

físico, sistema inmune inmaduro, y un desarrollo del aparato respiratorio con aumento de la permeabilidad y reactividad del epitelio respiratorio (2, 19).

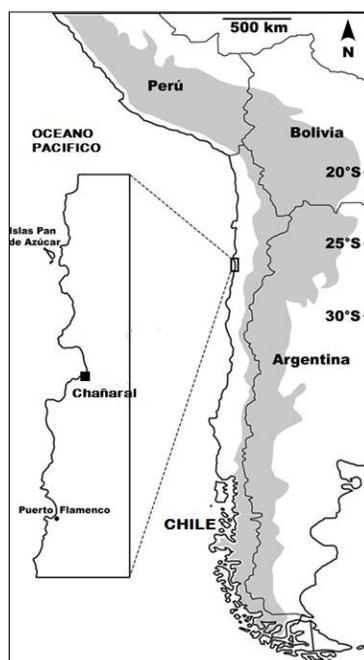
El objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación entre la exposición ambiental a MP, de diámetro hasta 10 μm (MP_{10}) y hasta 2.5 μm ($\text{MP}_{2.5}$), y la función pulmonar en un panel de escolares que residen en una zona altamente contaminada con relaves mineros.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Diseño y lugar de estudio

Se realizó un estudio longitudinal tipo panel en una muestra representativa espacialmente de escolares de 6 a 15 años que residen en la Comuna de Chañaral, Región de Atacama, Chile (Figura 3), en el periodo de noviembre 2012 a mayo 2013. La comuna de Chañaral tiene una superficie de 5772 km^2 , su población es de 13543 habitantes según el censo de 2002 y la principal actividad comercial es la minería seguida de la pesca. Geográficamente, Chañaral presenta condiciones áridas de desierto y escasa pluviosidad que condiciona una escasa vegetación. La circulación local de los vientos es principalmente en sentido oeste-este. La sequedad general del ambiente desértico combinado con la circulación de los vientos potencian la suspensión y traslado del polvo generado por los relaves mineros hacia los valles (45).

Figura 3. Mapa de Chile y la Bahía de Chañaral, Región Atacama.



Diseño muestral y sujetos.

El marco muestral de este estudio fueron todos los escolares de 6 a 15 años pertenecientes a todas las escuelas básicas de la Ciudad de Chañaral (N= 1896), el cual se construyó a partir de información entregada por los establecimientos educacionales. El tamaño muestral estimado fue de 115 escolares, calculado para un tamaño de efecto de -0.04 L/min de disminución por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP de aumento, nivel de significación del 5% y poder estadístico de 80%. Se asumió un 20% de sobredimensionamiento por posibles pérdidas en el seguimiento, por lo tanto el tamaño final estimado fue de $n=150$.

Para asegurar representatividad espacial, se aplicó un diseño muestral bietápico estratificado utilizando afijación óptima de Neyman, el que consideró 3 estratos según la distancia perpendicular de la vivienda del niño

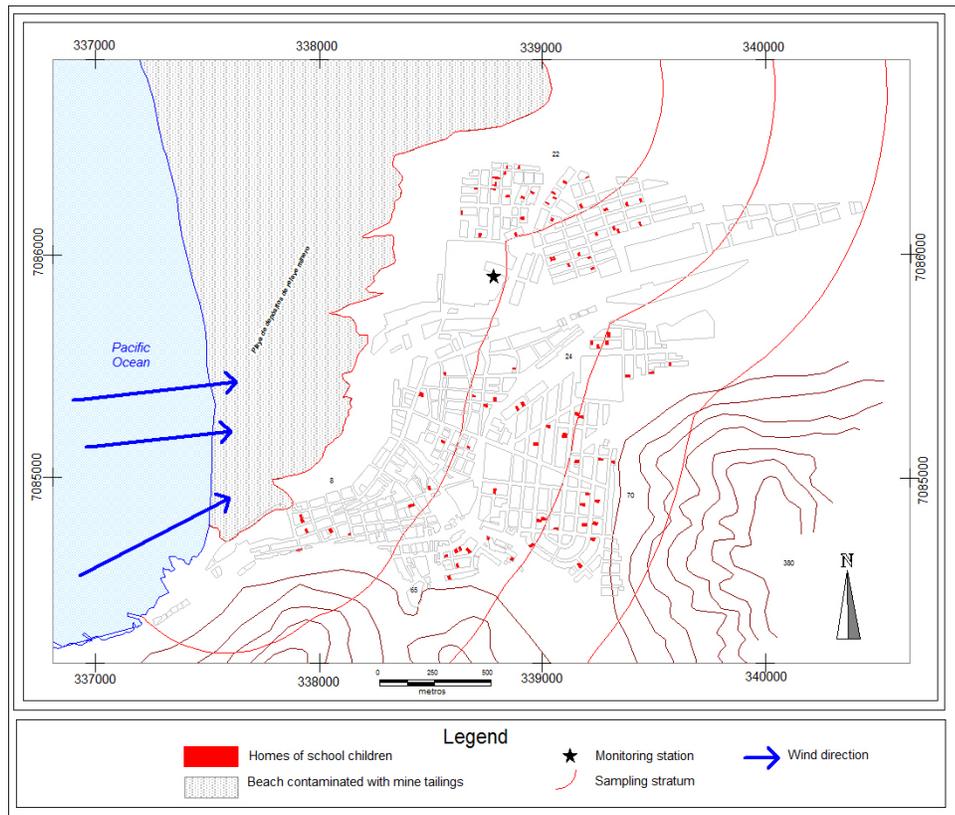
a la playa. La selección de las viviendas se realizó mediante muestreo aleatorio sistemático, lo que permitió generar un distanciamiento espacial tanto de las unidades de muestreo como de análisis (escolares).

Recolección de los datos.

Datos sociodemográficos y salud. Al momento del reclutamiento, después de firmar el consentimiento y asentimiento, se aplicó un cuestionario de variables sociodemográficas e historial de salud y potenciales exposiciones ambientales dentro del hogar (58).

Mediciones de material particulado y variables meteorológicas. Los niveles de MP se midieron durante 182 días, a través de una estación de monitoreo con representatividad poblacional ubicada en la ciudad de Chañaral (Latitud 26° 20'17.54"S Longitud 70° 36'57.58"O) a cargo de una empresa certificada (CESMEC S.A). Se utilizaron los equipos THERMO® FH62C14 para la medición de MP₁₀ y THERMO® 5014i para el MP_{2.5}. Además se contó con una estación meteorológica que registró los datos de velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica y precipitaciones. La figura 4 muestra los estratos según la distancia de las viviendas hasta la playa, la distribución de los hogares de los escolares participantes y el sitio donde se ubicó la estación de monitoreo.

Figura 4. Mapa de la ciudad de Chañaral, líneas divisorias de los estratos, distribución de los hogares de los escolares participantes y la ubicación de la estación de monitoreo de MP y variables meteorológicas, Chile 2012-2013.



Función pulmonar. Se midió a través de espirometrías realizadas a los niños durante la jornada escolar (diurna) en sus respectivos establecimientos educacionales aproximadamente cada 2 semanas, entre el 12 de noviembre de 2012 hasta el 10 de mayo de 2013. Se utilizó un espirómetro portátil, marca EasyOne Spirometer®, y fueron realizadas por personal capacitado según las normativas internacionales Δ de la American Thoracic Society/European Respiratory Society (ATS/ERS) (57), traducidas y adaptadas por la Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias en el año 2006 (28). Se realizaron maniobras de capacidad vital forzada y se seleccionaron para el análisis aquellas curvas que cumplían con los criterios

de aceptabilidad y reproducibilidad de la ATS/ERS (28). Se realizaron un mínimo de 3 maniobras, si éstas cumplían los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad, y un máximo de 8 cuando algunas curvas se evaluaron como inadecuadas. Se consideró el efecto en los siguientes valores espirométricos: **Volumen espiratorio forzado en el primer segundo** (VEF_1) y **Capacidad vital forzada** (CVF); **Flujo espiratorio máximo** (PEF) y **Flujo espiratorio forzado** en la mitad central de CVF (FEF_{25-75}).

Mediciones antropométricas. Dos semanas antes del comienzo de las mediciones del estudio se realizó un período de entrenamiento del test de función pulmonar en los escolares; las mediciones del peso y la estatura se llevaron a cabo en este período con instrumentos y personal estandarizado. Además, se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC), según la fórmula $IMC = \text{Peso}(\text{kg}) / \text{Talla}^2(\text{m}^2)$, utilizada ampliamente a nivel mundial y en nuestro país (61, 62).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis exploratorio y descriptivo de las bases de datos. Se estudió la relación entre las variables mediante correlaciones, gráficos de dispersión y de cajas. Los valores espirométricos se compararon entre los grupos de variables categóricas a través de test t student y/o ANOVA. Se estudiaron los promedios horarios de los niveles de MP durante el periodo de medición y construyeron rezagos para estudiar el efecto de la exposición en el momento del test de función pulmonar (lag0) y los valores promedios, percentil 75 y máximos de 4, 12 y 24 horas previas al examen (lag4 prom, lag12 prom, lag24 prom, lag4 P75, lag12 P75, lag24 P75, lag4 máx, lag12 máx, lag24 máx). La asociación entre los niveles de MP y los valores de función pulmonar se estudió, a través de un modelo multinivel que considera el anidamiento de las medidas repetidas en los escolares, utilizando Ecuaciones de Estimación Generalizadas (GEE) debido a que se desea conocer el efecto promedio en la población, asumiendo una estructura de correlación intercambiable, función de enlace de identidad y familia Gaussiana (63). Se presentan coeficientes de regresión brutos y

ajustados. El análisis se llevó a cabo a través del programa estadístico STATA 11.1

Aspectos éticos

Este estudio fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y financiado por CONICYT a través del Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo en Salud (FONIS).

RESULTADOS

Se invitó a participar en el estudio a 158 niños (y sus padres), se realizaron reuniones de apoderados para dar a conocer las características y actividades del estudio y realizar el reclutamiento de los participantes. Se logró reclutar 119 niños/apoderados de los cuales 9 (7.5%) desistieron de participar en el estudio, 6 niños se retiraron antes de aplicar el cuestionario de datos socio-demográficos, salud y de exposición ambiental a sus padres y 3 lo hicieron antes de comenzar las mediciones de función pulmonar, por lo tanto, 110 escolares comenzaron el seguimiento.

Las variables antropométricas y sociodemográficas de los 110 escolares participantes se detallan en la Tabla 6. La mayoría de los escolares fueron de sexo masculino (58.18%) y la media de la edad al momento del reclutamiento fue de 11.2 años (DE: 2.7). Las medidas de resumen de las variables antropométricas se distribuyeron de manera similar entre ambos sexos, sin diferencias significativas. Los años de educación, tanto de la madre como del padre de los niños fue principalmente de 9 a 12 años (58.18% y 48.18%, respectivamente), seguida de la categoría de 8 o menos años de educación. La prevalencia de tabaquismo al momento de la aplicación del cuestionario fue similar en el padre y la madre de los escolares. La prevalencia de asma diagnosticada por médico fue de 9.1% y en el caso de la rinitis fue de 10.9%. La mayoría de los niños perteneció a escuelas municipales. Cabe destacar

que la categoría de "No sabe/no contesta" estuvo presente entre el 11.8% y el 20.9%, en las respuestas del cuestionario aplicado.

Tabla 6. Características antropométricas y sociodemográficas de los escolares estudiados. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

Variables Antropométricas	Media	DE
Edad, años	11.2	2.7
Estatura, cm	144.2	15.5
Peso, kg	44.4	13.2
IMC	20.9	3.5
Características sociodemográficas	n	%
Sexo masculino	64	58.18
Educación madre		
8 años o menos	20	18.18
9 a 12 años	64	58.18
13 años o mas	13	11.82
No sabe/no contesta	13	11.82
Educación padre		
8 años o menos	23	20.91
9 a 12 años	53	48.18
13 años o mas	17	15.45
No contesta	17	15.45
Hábito tabáquico madre		
No fumador	36	32.73
Fumador actual	36	32.73
Ex-fumador	25	22.72
No sabe/no contesta	13	11.82
Hábito tabáquico padre		
No fumador	29	26.37
Fumador actual	40	36.36
Ex-fumador	18	16.36
No sabe/no contesta	23	20.91
Diagnóstico médico de Asma		
Si	10	9.09
No	79	71.82
No sabe/no contesta	21	19.09
Diagnóstico médico de Rinitis		
Si	12	10.91
No	79	71.82
No sabe/ no contesta	12	17.27
Tipo de Colegio		
Particular-Subvencionado	10	9.09
Municipal	100	90.91

DE: Desviación estándar, IMC: Índice de Masa Corporal

Los valores espirométricos de los escolares se describen en la Tabla 7. Se categorizó la variable edad en cuartiles para una mayor comprensión y detalle de éstos valores. Se consideraron 511 espirometrías que cumplieron los criterios de ATS/ERS. Se puede observar que a medida que se incrementan las categorías de edad los valores espirométricos aumentan en forma progresiva; al comparar los grupos de edad se encontraron diferencias significativas para todos los valores espirométricos, al igual que al comparar según sexo. No se encontraron diferencias al comparar estos valores según diagnóstico médico de asma y rinitis, nivel educación y status tabáquico de los padres.

Tabla 7. Valores espirométricos durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

	n*	VEF1 (ml)	CVF (ml)	PEF (ml/seg)	FEF25-75 (ml/seg)
		\bar{X} (DE)	\bar{X} (DE)	\bar{X} (DE)	\bar{X} (DE)
≤9 años	136	1706.5 (408.01)	2081.8 (472.5)	3719.5 (1093.3)	1802.8 (624.2)
>9 a 11 años	113	2018.7 (402.5)	2385.3 (420.0)	4561.3 (915.3)	2344.2 (768.9)
>11 a 13 años	111	2378.8 (364.7)	2898.04 (432.5)	5097.1 (1156.1)	2487.6 (722.6)
>13 años	151	3385.4 (706.6)	3983.7 (916.0)	7012.2 (1511.9)	3692.3 (934.1)
Total	511	2417.7 (838.4)	2888.2 (984.7)	5177.9 (1763.5)	2629.6 (1068.3)

*número de espirometrías, DE: Desviación estándar, VEF1 (ml): Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (mililitros), CVF (ml): Capacidad vital forzada (mililitros), PEF (ml/seg): Flujo espiratorio máximo (mililitros/segundos), FEF25-75 (ml/seg): Flujo espiratorio forzado 25-75 (mililitros/segundos).

La Tabla 8 muestra las medidas de resumen de los niveles por minuto y el promedio de 24 horas del MP y variables meteorológicas durante el período de estudio. Los niveles de MP₁₀ registrado en minutos tuvieron un rango de 1.36 a 1305 µg/m³, mientras que el MP_{2.5} presentó un menor rango de valores de 0.01-172.5 µg/m³. Las variables meteorológicas presentaron rangos de variación más estrechos. La mediana de la concentración

promedio de 24 horas de MP₁₀ fue de 36.6 µg/m³ y en el MP_{2.5} fue de 12.5 µg/m³, en ambos casos los valores presentaron una asimetría hacia los valores inferiores. No se registraron temperaturas extremas durante el período de estudio; la humedad relativa y presión barométrica no presentaron gran variabilidad y no se relacionaron con las variaciones de MP.

Tabla 8. Material particulado y variables meteorológicas durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

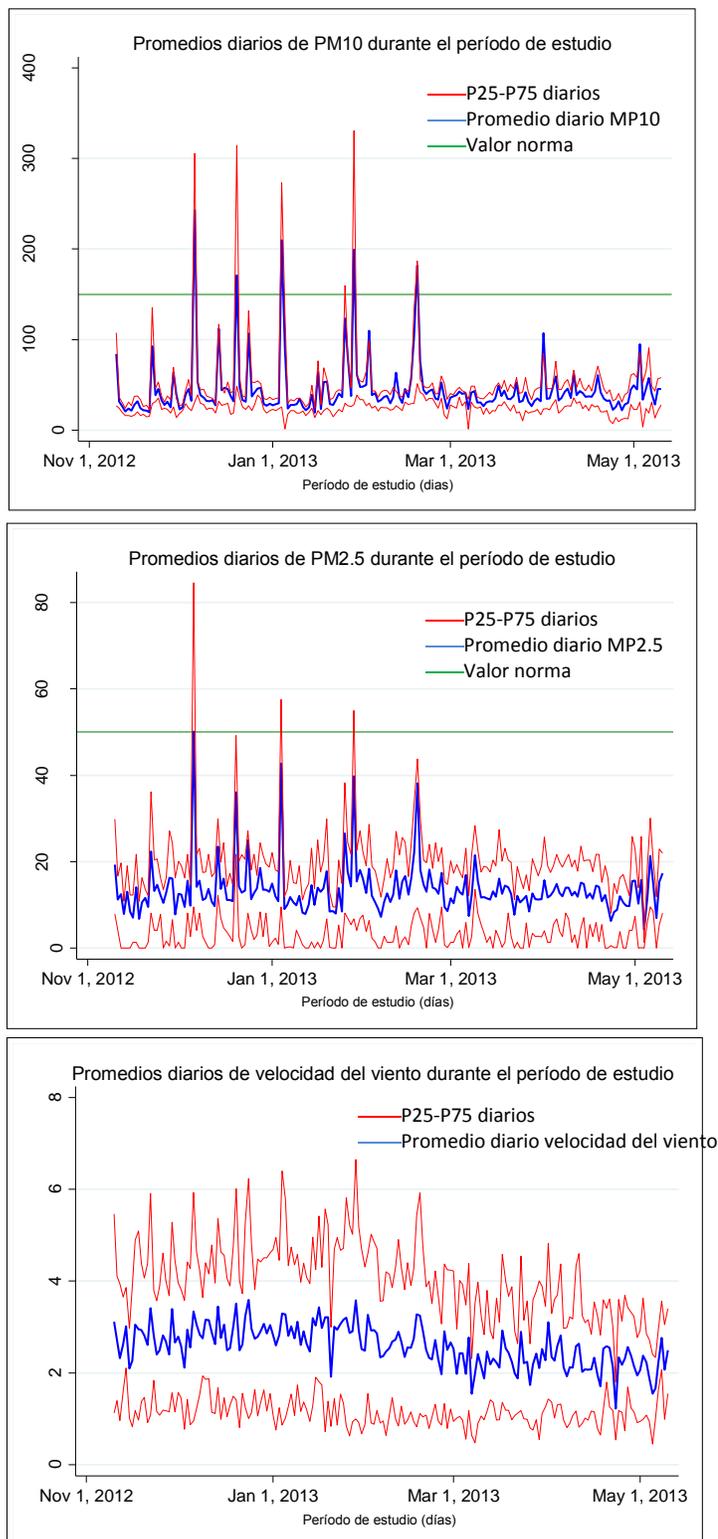
	N	\bar{X} (DE)	P25	P50	P75	Min-max
MEDICIONES DEL PERÍODO DE ESTUDIO*						
MP ₁₀ (µg/m ³)	260832	45.47 (68.08)	23.09	32.6	46.11	1.36-1305
MP _{2.5} (µg/m ³)	207519	17.15 (15.24)	7.88	13.58	23.08	0.01-172.5
Temperatura ambiental (°c)	260832	18.39 (2.71)	16.51	18.07	20.14	10.44-27.35
Humedad relativa (%)	260832	70.13 (8.93)	63.85	71.27	77.26	34.33-89.9
Velocidad del Viento (m/s)	260832	2.59 (1.80)	1.10	2.19	3.93	0-10.26
Presión barométrica (mm Hg)	260832	757.23 (1.53)	756.2	757.2	758.2	751.8-762.5
PROMEDIO DE 24 HORAS**						
MP ₁₀ (µg/m ³)	182	45.42 (32.17)	30.9	36.6	45.6	19.5-242.7
MP _{2.5} (µg/m ³)	182	13.63 (5.86)	10.7	12.5	14.8	4.3-50.1

*minutos; **días. DE: Desviación estándar, P25: percentil 25, P50: percentil 50, P75: percentil 75, Min-max: mínimo-máximo, MP: Material particulado, µg/m³: microgramos/metros cúbicos, °c: grados celsius, m/s: metros/segundo, mm Hg: milímetros de Mercurio

La figura 5 muestra en forma gráfica los promedios de las concentraciones de 24 horas (diarios) de MP₁₀, MP_{2.5} y velocidad del viento en gráficos de tendencia en el tiempo de naturaleza descriptiva que incluyó los percentiles 25 y 75 (P₂₅, P₇₅) de las mediciones diarias de éstas variables para todo el período de estudio y, además, el límite de la concentración promedio de 24

horas de la normativa nacional de MP. Se puede observar que la variabilidad de la velocidad del viento es mayor durante los 3 primeros meses de estudio, esto coincide con los mayores niveles de MP registrados. El promedio de 24 horas de MP₁₀ superó la normativa chilena de 150 µg/m³ en 5 ocasiones y mientras que el MP_{2.5} superó la normativa de 50 µg/m³ solo en una ocasión. Se estudio la distribución de la variación diaria del MP a través del Rango Intercuartílico (RIC), y se pudo constatar que el MP₁₀ presentó mayor variabilidad diaria durante el periodo de estudio que el MP_{2.5}.

Figura 5. Gráficos de tendencias en el tiempo descriptivos de los promedios de 24 horas de MP_{10} , $MP_{2.5}$ y velocidad del viento durante el período de estudio. Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.



La composición química del MP de Chañaral durante el período de estudio es parte de otra investigación, por lo que no se abordarán los procedimientos y análisis llevados a cabo para su determinación, no obstante se realizará un breve comentario acerca de esto. La concentración promedio de metales y metaloides determinados en el MP de Chañaral en orden decreciente fueron: Cu>Rb>Sr>Ti>K>Br>V>Pb>Ba>Mn>Zn>Fe>As>Ca>Al; comparativamente estos niveles promedio superan los reportados en otros estudios realizados en ciudades de la zona central y norte de Chile.

Las Figuras 6 y 7 muestran de manera ilustrativa, específicamente el estimador puntual con su intervalo de confianza del 95%, los resultados de la asociación entre MP y los valores de función pulmonar (los valores se encuentran detallados en el anexo 4). No se incluyeron en el análisis 5 sujetos que abandonaron el estudio durante las primeras semanas de seguimiento y que lograron tener disponible solo una espirometría analizable, debido a que se deseaba estudiar la variabilidad de la función pulmonar con respecto a las variaciones del MP, por lo tanto en el análisis de la asociación se incluyeron 506 espirometrías.

Se encontraron asociaciones negativas y significativas entre los niveles de MP_{2.5} y los parámetros de función pulmonar evaluados. Los coeficientes de regresión representan el cambio promedio en los valores de función pulmonar por cada 1 µg/m³ de aumento en el MP.

En el modelo crudo, con respecto a las medidas de volumen, la concentración máxima de 12 horas de MP_{2.5} se asoció en forma negativa con la disminución del VEF₁ (β -0.75 ml IC95% -1.4, -0.03); los niveles de MP_{2.5} promedio de 4 y 12 horas también se asociaron en forma negativa con la disminución de la CVF (β -2.42 ml IC95% -4.7, -0.1 y β -5.07 ml IC95% -8.9, -1.1, respectivamente), así como también los niveles máximos de 4, 12 y 24

horas (β -1.74 ml IC95% -2.7, -0.8, β -1.90 ml IC95% -2.8, -1.01 y β -2.01 ml IC95% -2.9, -1.03, respectivamente). En el análisis crudo el único flujo que mostró asociación negativa significativa fue el PEF con el nivel máximo de MP_{2.5} de 24 horas previas al examen (β -2.93 ml/seg IC95% -5.7, -0.1)

En el caso del MP₁₀, en el modelo crudo se encontró una asociación negativa entre la concentración máxima de 24 horas y el VEF₁ (β -0.29 ml IC95% -0.5, -0.02) así como también con el PEF (β -1.26 ml IC95% -2.4, -0.1); además, se encontró una asociación positiva entre la concentración promedio de 12 horas y la CVF (β 2.23 ml IC95% 0.2, 4.2).

Al ajustar por edad, sexo, peso, temperatura ambiental y velocidad del viento se mantuvo la asociación entre el MP_{2.5} y la CVF, sólo con los niveles máximos de 12 y 24 horas.

Figura 6. Asociación [coeficientes crudos (a) y ajustados (b) de aumento por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y $\text{MP}_{2.5}$ en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

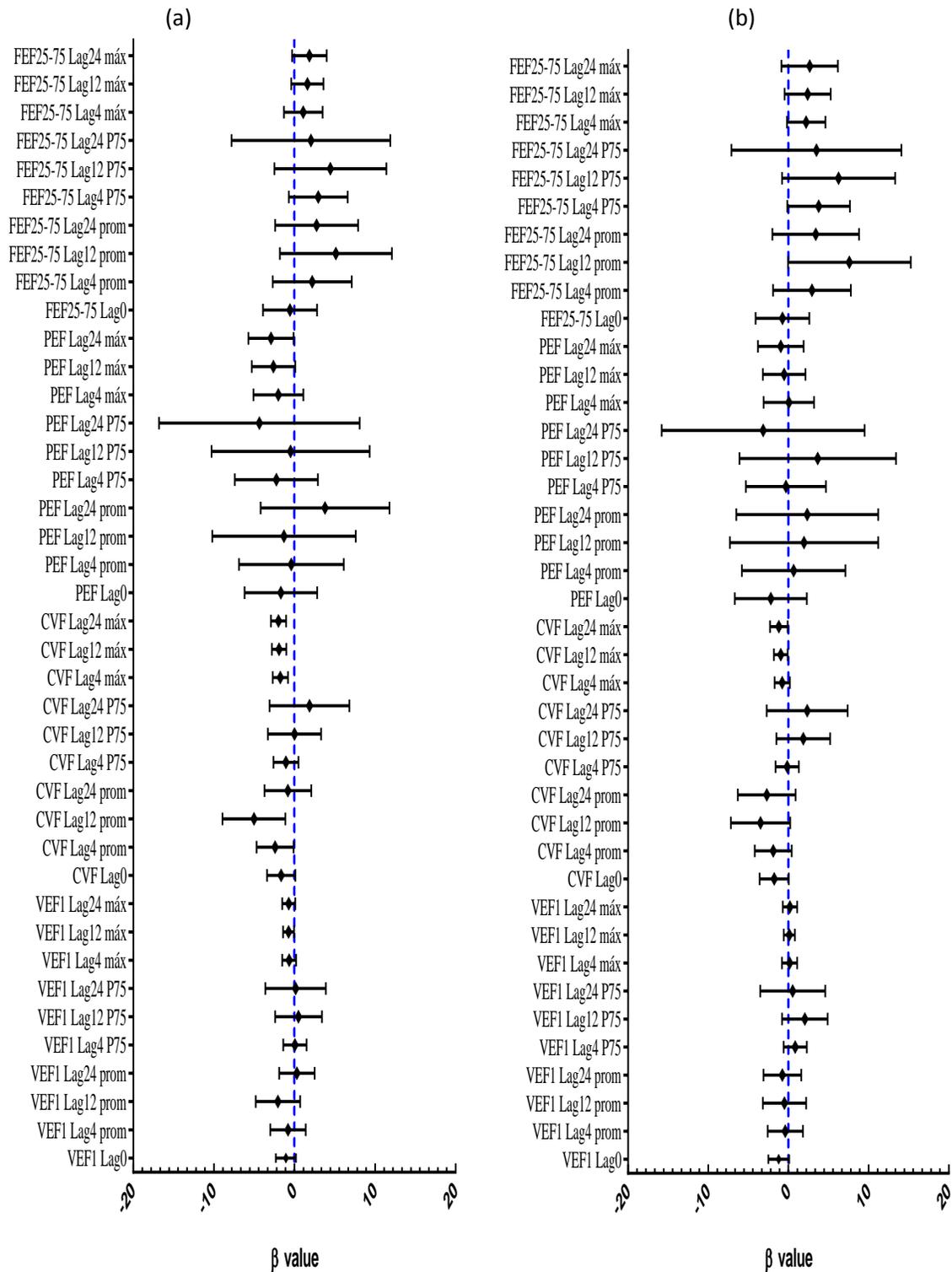
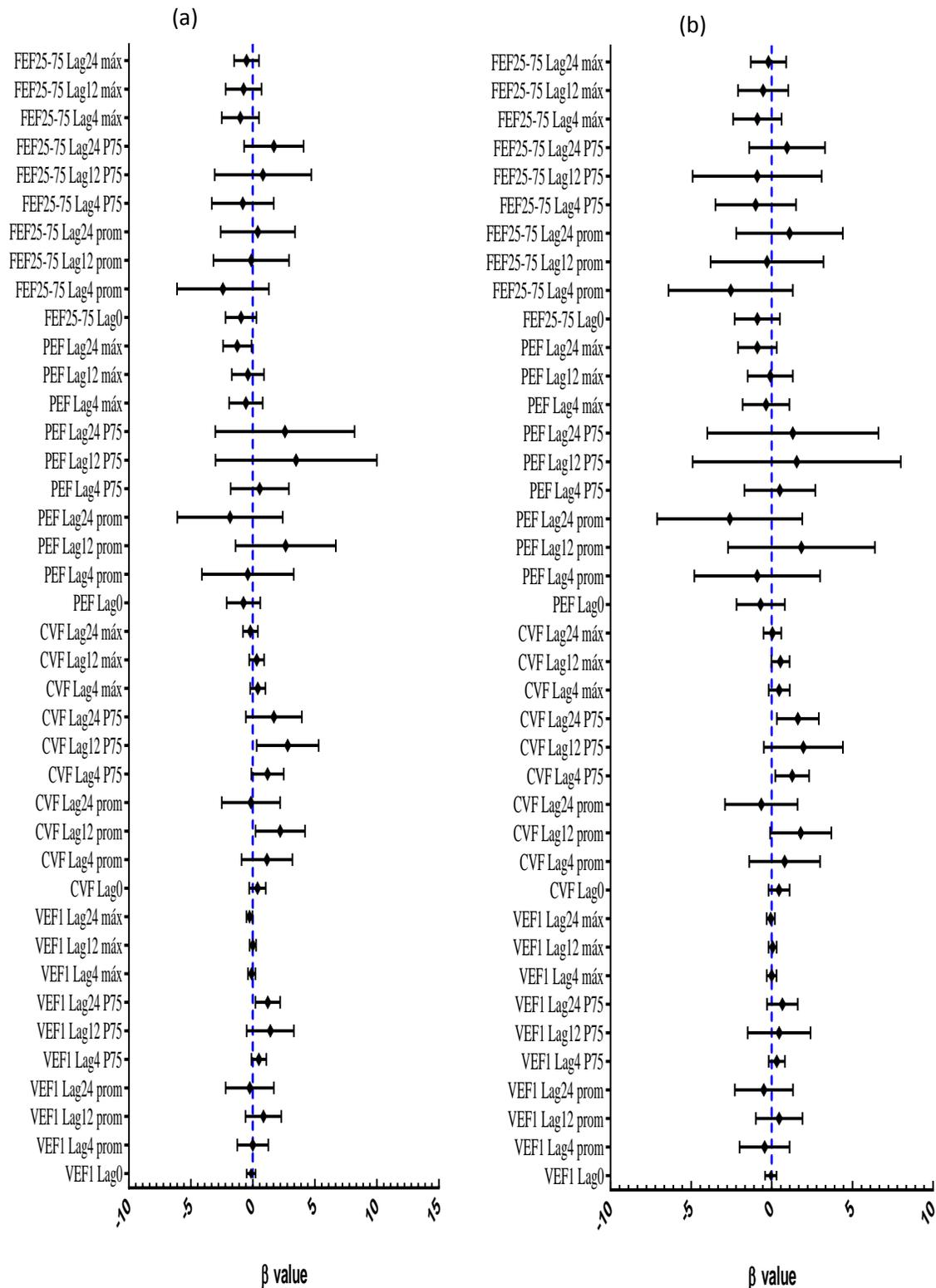


Figura 7. Asociación [coeficientes crudos (a) y ajustados (b) de aumento por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y MP_{10} en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.



DISCUSIÓN

Con el objetivo de estudiar el efecto acumulado de la exposición ambiental a MP sobre los valores espirometricos se estudió la concentración en el momento del examen, y la concentración promedio, percentil 75 y máximos de 4, 12 y 24 horas previas al examen. En el presente estudio se encontró asociación negativa entre la exposición ambiental a MP y el cambio en los valores espirométricos de la población escolar urbana, que vive adyacente a un megadepósito de relaves mineros, esta disminución fue especialmente marcada en la CVF a expensas del material particulado fino ($MP_{2.5}$).

Con respecto a las concentraciones de MP encontrados por otros estudios de tipo panel similares, los valores reportados mayormente fueron la mediana de las concentraciones promedio de 24 horas durante los períodos estudiados. Con respecto al $MP_{2.5}$, la mediana de las concentraciones promedio de 24 horas de éste estudio ($12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) superó moderadamente la reportada por Trenga et al. (24) de $11.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ quien estudió un área residencial de Seattle, E.E.U.U. y marcadamente a la reportada en el estudio de Dales et al. de $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un área afectada por alto tráfico de camiones de Windsor, Canadá (30); no obstante, el estudio realizado por Moshhammer et al. en una zona expuesta a industrias y tráfico de Linz, Austria (16), mostró valores de $15.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superando los encontrados en el presente estudio.

Por otro lado, la mediana de las concentraciones promedio de 24 horas de MP_{10} ($36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) superó las encontradas en una zona que limita a una planta de energía a carbón en Tailandia (25) y un área expuesta a emisiones de tráfico e industrias en Korea (23), pero fueron inferiores a las reportadas por Chang et al. desde una zona afectada principalmente por tráfico vehicular en Taiwán (29).

En este estudio, la distribución de las concentraciones (por minuto) de MP en forma diaria se presentó asimétrica con un sesgo hacia los valores inferiores, por lo que el cálculo del promedio de 24 horas podría estar entregando una

medida de resumen desviada hacia valores inferiores de concentración; a partir de éste valor se construyeron las medidas para la comparación con otros estudios, no obstante se desconoce la distribución de las concentraciones en éstos, por lo que la comparación podría no ser precisa.

Dada la controversia que existe acerca de que las mediciones de sitio central no representan las exposiciones individuales o de comunidad residencial, Trenga et al. estudió las diferencias entre las concentraciones medidas en sitio central y las mediciones personales de exterior encontrando una fuerte correlación entre éstas ($r=0.77$), éste hallazgo es de gran importancia dado que gran parte de las investigaciones de efectos en salud de la contaminación del aire utilizan mediciones de sitio central, incluyendo el presente estudio.

La concentración promedio de metales y metaloides determinados en el MP de Chañaral, en general, fueron mayores a las reportadas por otros estudios realizados en diferentes ciudades y zonas mineras del norte de Chile, y coinciden con los biomarcadores encontrados en ésta población en el estudio de Cortés realizado en el año 2006 (55).

Si bien, algunos metales pueden ser necesarios para algunas funciones metabólicas en el organismo, éstos pueden llegar a ser potentes tóxicos tanto para los seres humanos como para el ecosistema si la exposición a éstos es constante y elevada, como lo es la situación de la ciudad de Chañaral. Cada metal y elemento químico contaminante tiene un mecanismo y lugar de acumulación definido, cuyos daños además serán diversos y dependerán de los niveles y tiempo de exposición. La exposición de los escolares de Chañaral a un aire contaminado con contenido metálico que ingresa al organismo por vía inhalatoria, puede ser perjudicial dado que el aparato respiratorio en crecimiento es más vulnerable a efectos adversos permanentes.

Con respecto a la función pulmonar, los grupos etarios analizados por los estudios de panel mencionados anteriormente, aunque corresponden a niños en edad escolar, son heterogéneos lo cual no permite la comparación directa de los valores de función pulmonar per sé, por otro lado, éstos reportan una medida de resumen para el grupo completo con una alta dispersión.

Los resultados de la asociación entre MP y función pulmonar son concordantes con la literatura, sin embargo los tipos de reportes son variados, algunos autores reportan cambios en los valores de función pulmonar por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de cambio en el MP o cambios en el IQR de MP; otros autores han centrado sus análisis de los valores espirométricos en las variaciones del porcentaje del valor predicho. Por otro lado, la construcción de rezagos también ha variado entre los diferentes estudios, lo que dificulta la comparación de los hallazgos encontrados.

El $\text{MP}_{2.5}$ se asoció en forma negativa con el FEF_{25-75} en el estudio de Trenga et al. realizado en niños asmáticos, y con el VEF_1 y PEF en el estudio de Moshammer et al. realizado en niños sanos de Linz, Austria. Dales et al. estudió sólo los valores del VEF_1 en niños asmáticos, los cuales se asociaron en forma negativa con el rezago de 12 horas de concentración de $\text{MP}_{2.5}$. En nuestro estudio se encontraron asociaciones crudas negativas entre el VEF_1 y la concentración máxima de 12 horas y, entre el PEF y el nivel máximo de $\text{MP}_{2.5}$ de 24 horas previas al examen, lo que concuerda con los hallazgos de Moshammer et al. quien estudió a niños sanos. También, se encontró una marcada asociación entre los niveles de $\text{MP}_{2.5}$ promedio y máximos de 4 y 12 horas y el máximo de 24 horas con la CVF.

En los estudios centrados en el MP_{10} , Aekplakorn et al. encontró asociaciones negativas con la CVF, VEF_1 y PEF en niños asmáticos versus ninguna asociación en no asmáticos; no obstante los estudios de Chang et al., Min et al. y Moshammer et al. realizados en niños sanos encontraron asociaciones negativas entre los niveles de MP_{10} y la CVF y VEF_1 . En este

caso, los resultados de éste estudio muestran asociación negativa solo en el análisis crudo, entre el MP_{10} y el VEF_1 y PEF.

El crecimiento pulmonar, la función inmune y la respuesta respiratoria a los diferentes contaminantes del aire respirado es un complejo proceso multifactorial (26), lo cual podría explicar la gran variabilidad encontrada en algunos valores de función pulmonar estudiados.

La mayor parte de las asociaciones encontradas fueron con la CVF, la cual es la máxima cantidad de aire espirado durante una espiración forzada y es un indicador concreto de capacidad pulmonar. La disminución de la CVF indica la existencia de limitación ventilatoria restrictiva y una de las causas descritas en la literatura de este tipo de limitación es la inhalación de polvos orgánicos o inorgánicos. No obstante, los hallazgos de este estudio son en relación a variaciones más agudas en la CVF y no a una disminución progresiva en el tiempo, para este propósito el seguimiento de éstos escolares debiera extenderse por varios años más.

La prevalencia de asma bronquial diagnosticada por médico fue aproximadamente de un 10%, lo cual se encuentra dentro de las cifras reportadas a nivel nacional de asma infantil (7.3%-16.5%) (64). Esta prevalencia corresponde a la reportada por las madres en el cuestionario aplicado, sin embargo no se puede descartar que ésta cifra esté subestimada debido a que la posibilidad de diagnóstico de asma en esta población escolar se vea disminuida por un bajo acceso a exámenes de función pulmonar y médicos especialistas.

La muestra de escolares estudiada fue mayormente sana, y las asociaciones encontradas no difieren al estratificar según diagnóstico de asma o rinitis, es decir, la exposición a los aumentos del MP, especialmente el $MP_{2.5}$, afecta en el corto plazo la función respiratoria provocando una disminución de ésta independiente del diagnóstico de asma o rinitis.

Si bien los cambios en la función pulmonar producto de exposiciones crónicas comienzan a evidenciarse a edades más avanzadas, el hecho de haber encontrado asociaciones entre la exposición a corto plazo a MP y la función pulmonar nos indica que los escolares de la ciudad de Chañaral están siendo afectados actualmente por la exposición, no obstante su acumulación podría llegar a tener efectos crónicos en la adultez. Dado que el MP estudiado presenta contenido metálico, la exposición acumulada a éste no sólo podría tener efectos respiratorios a largo plazo, sino que también otros efectos silenciosos y acumulativos que tienen relación con la bioacumulación de metales pesados en el organismo.

La principal fortaleza de este estudio está dada principalmente por el diseño longitudinal de tipo panel, lo cual permite conocer los cambios grupales como individuales y en este caso se estudiaron estos cambios en el mismo momento o en el tiempo posterior a la exposición a MP, por lo que las asociaciones encontradas debieran considerarse relevantes en cuanto inferencia causal. No obstante, la desventaja principal es la pérdida de participantes durante el período de seguimiento, que en éste estudio fue de un 7% al comienzo del estudio y un 10% a los 2 meses, considerando la muestra de 119 escolares reclutados inicialmente.

Una importante debilidad está dada por la cantidad de respuestas en la categoría "No sabe/no contesta" en el cuestionario de salud que puede introducir un sesgo de información al estudiar las variables de interés a través de las categorías de respuestas. Para controlar esto se realizó un exhaustivo análisis descriptivo de éstas variables a través de todas las categorías de respuesta de las covariables estudiadas.

El aire limpio es un requisito básico para la salud y bienestar de las personas, su contaminación representa una amenaza importante para la salud, especialmente si consideramos que la prevalencia de exposición a la contaminación ambiental es alta y hasta ahora no se han identificado umbrales por debajo de los cuales no se produzcan efectos adversos.

En este sentido es importante mencionar la importancia de abordar y estudiar temáticas de exposición ambiental y los efectos en la salud de las poblaciones; la generación de evidencia ayudará a posicionar problemáticas reales y actuales como prioridad para las autoridades medioambientales del país, a su vez la ciencia aplicada a la salud ambiental puede entregar elementos de juicio para definir políticas nacionales de gestión de riesgo y ambientales.

Se releva la necesidad de continuar realizando estudios en comunidades expuestas a contaminación del aire proveniente de diferentes fuentes, indagando otros efectos agudos y/o crónicos de la exposición a contaminación por desechos mineros.

CONCLUSIÓN

El presente estudio es la primera aproximación al estudio de los efectos en la salud respiratoria por la exposición a MP proveniente de relaves mineros en los habitantes de Chañaral. La función respiratoria de los escolares residentes en la ciudad de Chañaral se ve afectada por aumentos en los niveles de MP, en especial el MP_{2.5}; y la variación de la CVF podría dar luces de que estos niños actualmente podrían presentar efectos de la exposición a largo plazo. Se requiere la aplicación de medidas para controlar o disminuir la exposición en esta población y se espera que la evidencia generada contribuya a que esto suceda.

8. Referencias

1. EPA. Environmental Protection Agency. Particulate Matter. United States [updated 18-03-2013]; Available from: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/>.
2. Lee Y, Dong G. Air Pollution and Health Effects in Children. Air pollution-Monitoring Modelling and health. 2012;337-56.
3. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización 2005.
4. Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2.5. Diario oficial de la República de Chile, 9 de mayo de 2011.
5. Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente. Establece norma primaria para material particulado respirable MP10, en especial los valores que definen situaciones de emergencia y deroga decreto N°59 , de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Diario oficial de la República de Chile, 16 de diciembre de 2013. .
6. Salvador P, Artiñano B, Querol X, Alastuey A, Costoya M. Characterisation of local and external contributions of atmospheric particulate matter at a background. Atmospheric Environment. 2007;41:1-17.
7. Kavouras I, Koutrakis P, Cereceda-Balic F, Oyola P. Source Apportionment of PM10 and PM2.5 in Five Chilean Cities Using Factor Analysis. J Air & Waste Manage Assoc. 2001;51:451-64.
8. Cuccia E, Massabò D, Ariola V, Bove M, Fermob P, Piazzalunga A, et al. Size-resolved comprehensive characterization of airborne particulate matter. Atmospheric Environment. 2013;67:14e26.
9. Peltier R, Lippmann M. Spatial and seasonal distribution of aerosol chemical components in New York City: (1) Incineration, coal combustion, and biomass burning. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. 2011; 21:473-83.

10. Peltier R, Cromar K, Ma Y, Fan Z, Lippmann M. Spatial and seasonal distribution of aerosol chemical components in New York City: (2) Road dust and other tracers of traffic-generated air pollution. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2011;21:484-94.
11. Gent J, Koutrakis P, Belanger K, Triche E, Holford T, Bracken M, et al. Symptoms and Medication Use in Children with Asthma and Traffic-Related Sources of Fine Particle Pollution. *Environmental Health Perspectives*. 2009;117 | (7):1168-74.
12. Seguel R, Morales G, Leiva M. Estimations of primary and secondary organic carbon formation in PM_{2.5} aerosols of Santiago City, Chile. *Atmospheric Environment*. 2009;xxx:1-7.
13. Jorquera H, Barraza F. Source apportionment of ambient PM_{2.5} in Santiago, Chile: 1999 and 2004 results. *Science of the Total Environment*. 2012;435-436:418-29.
14. Jorquera H, Barraza F. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in a desert region in northern Chile. *Science of the Total Environment*. 2013;444:327-35.
15. Sousa S, Ferraz C, Ferraz MA, Vaz L, Marquez A, Martins F. Indoor air pollution on nurseries and primary schools: impact on childhood asthma-study protocol. *BMC Public Health*. 2012;12:435.
16. Moshammer H, Hutter H-P, Hauck H, Neuberger M. Low levels of air pollution induce changes of lung function in a panel of schoolchildren. *Eur Respir J*. 2006;27:1138-43.
17. Gobierno de Chile. Metas 2011-2020. Estrategia Nacional de Salud para el cumplimiento de los Objetivos Sanitarios de la Década 2011-2020. 2010.
18. Frumkin H. Environmental health: from global to local. United States of America Jossey-Bass, A Wiley Imprint 2010.
19. Li S, Williams G, Jalaudin B, Baker P. Panel Studies of Air Pollution on Children's Lung Function and Respiratory Symptoms: A Literature Review. *Journal of Asthma*. 2012;49(9):895-910.
20. Janes H, Sheppard L, Shephard K. Statistical analysis of air pollution panel studies: an illustration. *Ann Epidemiol*. 2008;18(10):792-802.

21. Ward D, Ayres J. Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review. *Occup Environ Med.* 2004;61(4):e13.
22. Anderson R, Atkinson R, Peacock J, Marston L, Konstantinou K. Meta-análisis of time-series studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3). Report of a WHO task group. 2004.
23. Min J-Y, Min K-B, Cho S-I, Paek D. Lag Effect of Particulate Air Pollution on Lung Function in Children. *Pediatric Pulmonology* 2008;43:476-80.
24. Trenga C, Sullivan J, Schildcrout J, Shepherd K, Shapiro G, Liu L, et al. Effect of Particulate Air Pollution on Lung Function in Adult and Pediatric Subjects in a Seattle Panel Study. *Chest.* 2006;129(6):1614-22.
25. Aekplakorn W, Loomis D, Vichit-Vadakan N, Shy C, Wongtim S, Vitayanon P. Acute effect of sulphur dioxide from a power plant on pulmonary function of children, Thailand. *International Journal of Epidemiology.* 2003;32:854-61.
26. Gilliland F, McConnell R, Peters J, Gong H. A theoretical basis for investigating ambient air pollution and children's respiratory health. *Environmental Health Perspectives.* 1999;107(3):403-7.
27. Cruz-Mena E, Moreno-Bolton R. Aparato Respiratorio. Fisiología y clínica. Chile: Mediterraneo; 2005.
28. Gutiérrez C-M, Beroiza T, Borzone G, Caviedes I, Céspedes G, Gutiérrez N-M, et al. Espirometría: Manual de procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006. *Rev Chil Enf Respir.* 2007(23):31-42.
29. Chang Y, Wua C, Lee L, Lin R, Yu Y, Chen Y. The short-term effects of air pollution on adolescent lung function in Taiwan. *Chemosphere.* 2012;87:26-30.
30. Dales R, Chen L, Frescura AM, Liu L, Villeneuve PJ. Acute effects of outdoor air pollution on forced expiratory volume in 1 s: a panel study of schoolchildren with asthma. *Eur Respir J* 2009;34:316-23.
31. INE. Instituto Nacional de Estadísticas. Minería: la actividad exportadora más importante de Chile. Chile 2008.

32. Vergara A. "Cuando el río suena, piedras trae": Relaves de cobre en la bahía de Chañaral, 1938-1990. Cuadernos de historia 35, Departamento de Ciencias Históricas, Universidad de Chile. Diciembre 2011:135-51.
33. Cortés M. Agrupación Ecológica Chadenatur. La Muerte Gris de Chañaral. Chañaral, Chile: FUNDACIÓN HEINRICH BOLL; 2010.
34. Ministerio de Minería. Decreto Supremo 248. Aprueba reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, (2007).
35. SERNAGEOMIN. Servicio Nacional de Geología y Minería. Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves. Chile DSM/07/31 de Diciembre 2007
36. Honorable Cámara de Diputados. Informe de la comisión investigadora sobre la situación en que se encuentran los depósitos de relaves mineros existentes en el país, (2011).
37. PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. El acceso a la justicia ambiental en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Venezuela durante la década de 1990. Isabel Martínez. 2002.
38. Programa Chile Sustentable. Impactos ambientales en Chile: Desafíos para la sustentabilidad. 2004.
39. Dold B. Element Flows Associated with Marine Shore Mine Tailings Deposits. Environ Sci Technol. 2006; 40:752-8.
40. PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. El acceso a la justicia ambiental en América Latina. México. 2000.
41. PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Informe sobre el desarrollo del derecho Ambiental Latinoamericano. Raúl Brañes. 2001.
42. Yupari A. Informe elaborado para CEPAL, del Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales. Pasivos ambientales mineros en Sudamérica. 2003.

43. Ramirez M, Massolo S, Frache R, Correa J. Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. *Marine Pollution Bulletin*. 2005;50:62-72.
44. Lee M, Correa J. Effects of copper mine tailings disposal on littoral meiofaunal assemblages in the Atacama region of northern Chile. *Marine Environmental Research*. 2005;59 1-18.
45. Pontificia Universidad Católica de Chile, Serex territorio y Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. Declaración de impacto ambiental. Plan regional de desarrollo urbano y territorial Región de Atacama. 2010.
46. Lee J, Chon H, Kim K. Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the abandoned metal mine site. *Environmental Geochemistry and Health*. 2005;27:185-91.
47. Horton L, Mortensen M, Lossifova Y, Marlena M. Wald aPB. What Do We Know of Childhood Exposures to Metals (Arsenic, Cadmium, Lead, and Mercury) in Emerging Market Countries? *International Journal of Pediatrics*. 2013;2013(ID 872596):1-13.
48. Csavina J, Field J, Taylor M, Gao S, Landázuri A, Betterton E, et al. A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*. 2012;433:58-73.
49. CIMM. CIMM Tecnología y Servicios S.A. Identificación de acciones generadoras de potenciales impactos. Bahía de Chañaral. 1996.
50. IDICTEC. Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Monitoreo de Material Particulado PM10 en la Ciudad de Chañaral. Universidad de Atacama. 2001.
51. Astudillo F. Análisis y propuesta de acción de la problemática ambiental en la Bahía de Chañaral. Departamento de Metalurgia. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería. 2008.
52. Gobierno de Chile. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Ley 19.300, Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente. 1994.

53. IDICTEC. Monitoreo de Material Particulado PM10 en la Ciudad de Chañaral. Copiapó: Universidad de Atacama. Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. 2001.
54. Universidad de Chile. Informe país: Estado del medioambiente en Chile 2002. 2002.
55. Cortés S. Percepción y Medición del Riesgo a metales en una población expuesta a residuos mineros, 2009. Santiago, Chile: Universidad de Chile; 2009.
56. Sánchez J, Romieu I, Ruiz S, Pino P, Gutiérrez M. Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncaví, Chile. Rev Panam Salud Publica. 1999;6(6):384-1.
57. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, et al. General considerations for lung function testing. Eur Respir J. 2005;26:153-61.
58. Linares B, Guizar J, Amador N, Garcia A, Miranda V, Perez J, et al. Impact of air pollution on pulmonary function and respiratory symptoms in children. Longitudinal repeated-measures study. BMC Pulmonary Medicine. 2010;10(62).
59. Camargos P, Castro R, Feldman J. Prevalencia de síntomas relacionados con el asma en escolares de Campos Gerais (MG), Brasil. Rev Panam Salud Publica. 1999;6(1):8-15.
60. Caussade S, Valdivia G, Navarro H, Pérez B, Aquevedo A, Sánchez I. Prevalencia de síntomas de rinitis alérgica y su relación con factores de riesgo en escolares de Santiago, Chile. Rev Méd Chile. 2006;134:456-64.
61. Gobierno de Chile, Ministerio de Salud. Norma técnica de evaluación nutricional del niño de 6 a 18 años. 2003.
62. Gobierno de Chile, Ministerio de Salud. Orientaciones técnicas para el control de salud integral de adolescentes "Control Joven Sano" 2014. Noviembre 2013.
63. Hardin J, Hilbe J. Generalized Estimating Equations. Editorial Chapman&Hall/CRC. 2003.

64. Velastegui C, Pérez-Canto P, Zárate V, Arenas D, Salinas P, Moreno G, et al. Impacto del asma en escolares de dos centros de salud primaria. Rev Med Chile. 2010;138:205-12.

9. Anexos

ANEXO 1

CUESTIONARIO DE DATOS SOCIO-DEMOGRÁFICOS, SALUD Y DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL

*EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS AGUDOS POR EXPOSICIÓN CONTINUA AL MATERIAL PARTICULADO
PROVENIENTE DE RELAVES MINEROS SOBRE LA SALUD RESPIRATORIA DE ESCOLARES EN LA COMUNA
DE CHAÑARAL*

CUESTIONARIO DE SALUD RESPIRATORIA Y EXPOSICIÓN AMBIENTAL EN NIÑOS

ID: _____	ID	<input type="text"/>
A. DATOS GENERALES		
1.Fecha de la entrevista _____	1	<input type="text"/>
Día Mes Año		
2.Nombre del niño _____	2	
3.Fecha de nacimiento _____	3	<input type="text"/>
Día Mes Año		
4.Edad _____	4	<input type="text"/>
años meses		<input type="text"/>
5. Sexo: 1. masc () 2. fem ()	5	<input type="checkbox"/>
Domicilio actual:		
6.Calle _____	}6	
7.Comuna _____	7	
8.Teléfono casa _____	8	<input type="text"/>
9.Teléfono trabajo _____	9	<input type="text"/>
10.celular _____	10	<input type="text"/>
11.¿Ha vivido en esta casa desde que nació el niño/a? 1. Si 2. No	11	<input type="checkbox"/>
11a.Dirección de su domicilio anterior:		
Ciudad _____ Comuna _____ Desde _____ Hasta _____		

12.Nombre del colegio _____	12 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
13.Dirección: Calle _____	13
Comuna _____	
14.En que curso está el niño en el colegio _____	14 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
15.A qué distancia se encuentra la escuela de la casa (cuadras) _____	15 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
16.Cuanto tiempo tarda en llegar a la escuela (en minutos) _____	16 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
B. ANTECEDENTES	
17. Hasta qué curso de la escuela llegó la Madre del niño/a? _____ (Cursos aprobados)	17 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
18. Hasta qué curso de la escuela llegó el Padre del niño/a? _____	18 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
19. ¿Qué edad tenía la Mamá (años cumplidos) cuando el niño/a nació? _____	19 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
20. ¿Cuántos kilos peso el niño/a al nacer?	20
Respuesta en gramos _____ ej: 2800	<input type="checkbox"/>
21. Nació el niño/a antes de tiempo o prematuramente <i>Un embarazo de término es de 38 a 42 semanas</i>	21 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) Sí, con menos de 4 semanas de anticipación	
(88) No sabe (3) Sí, de 4 a 8 semanas de anticipación	
(4) Sí, con más de 8 semanas de anticipación	
22. Cuando nació el niño/a ¿hubo necesidad de hospitalizarlo en la unidad de cuidados intensivos del hospital?	22 <input type="checkbox"/>
(1) SI (2) NO	
23. Cuando nació el niño/a ¿necesitó de oxígeno en el hospital?	23
(2)No lo necesitó (1) Sí, por menos de 2 semanas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(88) No sabe (3) Sí, por 2 a 4 semanas	
(4) Sí por más de un mes	

24. ¿Algún doctor, enfermera o similar revisó a su hijo/a por una enfermedad severa del pecho **ANTES** de que cumpliera los 2 años de edad?

24

(2) NO

(1) Sí, una vez

(88) No sabe

(3) Sí, más de una vez



Pase a la pregunta 26

25. Durante esos periodos de enfermedad respiratoria, ¿el niño/a tuvo sibilancias (le **silbaba** el pecho)?

25

(1) SI

(2) NO

26. ¿Llevó al niño/a con algún doctor, enfermera o similar por una enfermedad del pecho **DESPUES** de que cumplió los 2 años de edad?

26

(2) NO

(1) Sí, una vez

(88) No sabe

(3) Sí, más de una vez



Pase a sección C

27. Durante esos periodos de enfermedad respiratoria, el niño/a tuvo sibilancias (le **silbaba** el pecho)?

27

(1) SI

(2) NO

(88) No sabe

C. ALIMENTACION

28. ¿Al niño/a se le alimentó con el pecho materno?

28

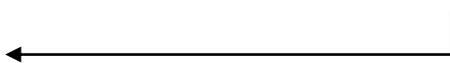
(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE



Pase a la pregunta 30



29. ¿A qué edad se le suspendió la alimentación con el pecho materno?

- (1) Antes del mes de edad (2) Entre los 2 y 5 meses de edad
(3) Entre los 6 y 9 meses de edad (4) Entre los 10 a 11 meses de edad
(5) Entre el año y año y medio (6) Después de cumplir año y medio

29

30. ¿A qué edad le dio al niño/a leche en polvo?

- (1) Nunca (2) Menor de un mes (3) 1-3 meses
(4) 4-6 meses (5) 7-9 meses (6) 10-11 meses
(7) 12 o más meses

30

31. ¿A qué edad le empezó a dar leche de vaca?

- (1) Nunca (2) Menor de un mes (3) 1-3 meses
(4) 4-6 meses (5) 7-9 meses (6) 10-11 meses
(7) 12 o más meses

31

32. ¿A qué edad le dio los primeros alimentos sólidos?

- (1) No recuerda (2) Antes del mes (3) 1-3 meses
(4) 4-6 meses (5) 7-9 meses (6) 10-11 meses
(7) 12-18 meses

32

33. ¿A qué edad le dio de comer huevo?

A los _____ meses

33

D. VITAMINAS

34. Antes de iniciar el estudio ¿el niño/a tomó algún tipo de vitamina?

34

(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE



Pase a la sección E



35. ¿Cada cuanto tiempo tomó su hijo(a) la vitamina?

35

(1) Una vez al día

(2) Menos de una vez al día pero más de una vez a la semana

(3) Una vez a la semana

(4) No recuerdo

36. ¿Cuántos años hace que el niño/a tomó vitaminas?

36

(1) 0-1 año

(2) 2 a 4 años

(3) 5 a 9 años

(4) 10 a más años

37. ¿Cuál es el nombre de la vitamina que con más frecuencia le compró al niño/a?

37

Anote la marca de la vitamina. (Nombre comercial)

NOMBRE COMERCIAL DE LA VITAMINA

E. TABAQUISMO DE LA MADRE

38. ¿La mamá del niño/a fuma o ha fumado alguna vez en su vida?

38

(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE



Pase a la pregunta 47



<p>39. ¿A qué edad comenzó a fumar? _____Años (88) No recuerdo</p>	<p>39 <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p>40. ¿Actualmente fuma? (2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓</p>	<p>40 <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p><u>Pase a la pregunta 42</u> ←</p>	
<p>41. ¿Cuántos cigarrillos en promedio se fuma por día? (1) 1-5 (4) 16-19 (7) más de 39 (2) 6-10 (5) 20-29 (3) 11-15 (6) 30-39</p>	<p>41 <input type="text"/></p>
<p>42. ¿Hace cuanto tiempo dejó de fumar? <i>Respuesta en años.</i> Años que ya no fuma _____</p>	<p>42 <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p>43. ¿Qué edad tenía su hijo/a cuando dejó de fumar? Años _____</p>	<p>43 <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p>44. Durante el embarazo de este niño/a, ¿Ud. fumó? (2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓</p>	<p>44 <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p><u>Pase a la pregunta 47</u> ←</p>	
<p>45. ¿Cuántos cigarrillos en promedio se fumaba por día? (1) 1-5 (2) 6-10 (3) 11-15 (4) 16-19 (5) 20-29 (6) 30-39 (7) más de 39</p>	<p>45 <input type="text"/></p>

46. ¿En qué momento del embarazo fumó Ud.? (1) Los primeros 3 meses (2) del 3er. mes al 6o. mes (3) después del 6o. mes hasta el parto (4) todo el embarazo	46	<input type="checkbox"/>
47 Durante los dos primeros años de vida de este niño/a ¿Alguien fumó en la casa diariamente? (2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓ <u>Pase a la sección F</u>	47	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
48. ¿Dígame quién fumaba de manera regular en la casa? (1) Padre del niño (3) madre del niño (2) otra persona viviendo en la casa (4) alguien que visita la casa	48	<input type="checkbox"/>
49. ¿Cuántos cigarrillos se fumaban en la casa del niño/a por día? <i>Sume los cigarrillos de todos los fumadores.</i> (1) 1-9 (2) 10-29 (3) 30-59 (4) > 60	49	<input type="checkbox"/>
F. TABAQUISMO DEL PADRE	50	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
50. ¿El papá del niño/a fuma o ha fumado alguna vez durante toda su vida? (2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓ <u>Pase a la sección G</u>	50	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
51. ¿Actualmente fuma? (2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓ <u>Pase a la pregunta 53</u>	51	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<p>52. ¿Cuántos cigarrillos en promedio se fuma por día?</p> <p>(1) 1-5 (4) 16-19 (7) más de 39</p> <p>(2) 6-10 (5) 20-29</p> <p>(3) 11-15 (6) 30-39</p>	<p>52 <input type="checkbox"/></p>
<p>53. ¿Hace cuanto tiempo dejó de fumar? <i>Respuesta en años.</i></p> <p>Años que ya no fuma _____</p>	<p>53 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>54. Durante el embarazo de este niño/a, ¿el papá fumaba cerca de la madre?</p> <p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">←</p> <p><u>Pase a la sección G</u></p>	<p>54 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>55. ¿En qué momento del embarazo fumó?</p> <p>(1) Los primeros 3 meses (2) del 3º mes al 6º mes</p> <p>(3) después del 6º mes hasta el parto (4) todo el embarazo</p>	<p>55 <input type="checkbox"/></p>
<p>56. ¿Cuántos cigarrillos en promedio se fumaba por día?</p> <p>(1) 1-5 (4) 16-19 (7) más de 39</p> <p>(2) 6-10 (5) 20-29</p> <p>(3) 11-15 (6) 30-39</p>	<p>56 <input type="checkbox"/></p>
<p>G. OTROS FUMADORES</p>	
<p>57. ¿Hay otras personas que fumen de manera regular en la casa?</p> <p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p><u>Pase a la sección H</u></p>	<p>57 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

58. ¿Qué parentesco tiene con el niño/a?

- (1) Otra persona viviendo en la casa
- (2) Alguien que visita la casa
- (3) Otro

58

59. ¿Qué edad tenía su hijo/a cuando alguien fumó por última vez en su casa?

Años _____

59

60. En promedio ¿cuántos cigarrillos se fuman por día en la casa, en presencia del niño/a?

- (1) Menos de 3
- (2) 3-10
- (3) 11-20
- (4) Más de 20
- (5) No sabe

60

H. DATOS DE LA VIVIENDA

61. ¿Hace cuántos años que el niño vive en esta casa? _____
Años

61

62. ¿Cuál de las frases describe mejor la vivienda en que vive el niño/a?

- (1) Departamento
- (2) Casa aislada
- (3) Casa pareada
- (4) Casa dentro de otra vivienda (sitio)
- (5) Otra _____

62

63. ¿De qué material es la vivienda?

- (1) Sólida (ladrillo y albañilería reforzada)
- (2) Madera
- (3) Mixta solida (madera y ladrillo)
- (4) Mixta ligera (madera e internit)
- (5) Otra _____

63

64. ¿Cuántos dormitorios hay en la vivienda del niño/a? (lugares habilitados para dormir):

- (1) No hay dormitorio
- (2) 1 (5) 4
- (3) 2 (6) 5
- (4) 3 (7) 6 o más

64

65. El niño ¿duerme en un dormitorio solo?

- (2) NO (1) SI (88) NO SABE

65

Pase a la pregunta 67

66. Si no es así, ¿cuántas personas duermen en el mismo dormitorio? _____

66

67. ¿Hay alguna alfombra o cubrepiso en el piso del dormitorio del niño/a?

67

- (2) NO (1) SI (88) NO SABE

68. ¿Qué clase de almohada tiene la cama del niño/a?

68

- (1) Plumas (2) Algodón (3) Hule espuma (4) No sabe
- (5) Otro Material Especifique _____

75. En los últimos 12 meses tuvo hongos en las paredes o pisos de su casa?	75	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) SI (88) NO SABE		
76. ¿En los últimos 12 meses tuvo baratas o cucarachas en su casa?	76	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) SI (88) NO SABE		
77. ¿Qué clase de combustible usa para cocinar?	77	<input type="checkbox"/>
(1) Gas (2) Leña (3) Otro (88) No sabe		
78. ¿Tiene extractor o campana encima de la cocina?	78	<input type="checkbox"/>
(1) Si		
(2). No → <u>Pase a la pregunta 80</u>		
79. Al cocinar ¿usa el extractor o campana?	79	<input type="checkbox"/>
(1) Siempre (2) A veces (3) Nunca		
80. Durante los meses del invierno, ¿se usa algunas veces la estufa o el horno para ayudar a calentar el hogar o para quitar el frío?	80	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) SI (88) NO SABE ↓		
<u>Pase a la sección I</u>		
81. ¿Qué clase de combustible se usa más para calentar el hogar del niño(a)?	81	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(1) Gas (2) Leña/carbón		
(3) Electricidad (4) Parafina		
(5) Otro Especifique: _____		

I. INFORMACION DE SALUD

82. En los últimos 12 meses ¿su niño/a ha tenido **tos seca** en forma repetida (que tosa por la mañana, por la tarde o por la noche) por más de tres semanas?

82

(2) NO (1) SI (88) NO SABE

↓ ←

Pase a la pregunta 88

83. ¿A qué hora **tose** más?

83

(1) Mañana (2) Tarde (3) Noche

84. En los últimos 12 meses, ¿cuántas veces en promedio se ha despertado su niño/a durante la noche a causa de un **ataque de tos**?

84

(1) Nunca
(2) Menos de una noche por semana
(3) 1 o más noches por semana

85. En los últimos 12 meses ¿alguna vez sus niño/a ha tenido un **ataque de tos** que le impidiera hablar?

85

(2) NO (1) SI (88) NO SABE

86. En los últimos 12 meses su niño/a ha tenido **tos** después de haber jugado mucho o haber hecho ejercicio?

86

(2) NO (1) SI (88) NO SABE

87. Marque usted los meses en que su niño/a tuvo **ataque de tos**, en los últimos 12 meses (puede señalar más de uno si es necesario)

87

(1) Enero (5) Mayo (9) Septiembre
(2) Febrero (6) Junio (10) Octubre
(3) Marzo (7) Julio (11) Noviembre
(4) Abril (8) Agosto (12) Diciembre

88. ¿Alguna vez a su niño/a le ha **silbado** el pecho?

(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE



Pase a la pregunta 98

88

89. ¿Qué edad tenía su niño/a cuando inició el silbido?

(1) 0-1 años

(4) 6-7 años

(2) 2-3 años

(5) 8-9 años

(3) 4-5 años

(6) 10 o más años

89

90. En los últimos 12 meses ¿a su niño/a le ha **silbado** el pecho sin que esté resfriado o con gripe? ¿Cuántas veces?

(1) 1

(4) ninguna

(2) 2-3

(3) más de 3

90

91. En los últimos 12 meses su niño/a ha tenido periodo de **silbido en el pecho** debido a:

Marque las necesarias

(1) Clima frío

(5) Humedad

(9) Infección

(2) Polvo al barrer

(6) Humo de leña

(10) Ejercicio

(3) Plantas

(7) Animales

(11) Otro

(4) Alimentos

(8) Calor

91

92. Marque los meses en que su niño/a tuvo **silbidos del pecho** en los últimos 12 meses (Puede señalar más de uno si es necesario)

(1) Enero

(5) Mayo

(9) Septiembre

(2) Febrero

(6) Junio

(10) Octubre

(3) Marzo

(7) Julio

(11) Noviembre

(4) Abril

(8) Agosto

(12) Diciembre

92

93. ¿Alguna vez su hijo ha necesitado medicinas para **silbidos** en el pecho?

(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE

93

<p>94. En los últimos 12 meses ¿ha necesitado medicinas para silbido de pecho?</p>	<p>94</p>
<p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p>	<p>95</p>
<p>95. Cual (es): _____ _____</p>	
<p>96. En los últimos 12 meses ¿Cuánto han interferido estos problemas de silbidos con las actividades diarias de su hijo?</p>	<p>96 <input type="checkbox"/></p>
<p>(1) Nada (2) Moderadamente (3) Bastante</p>	
<p>97. Durante los últimos 12 meses ¿cuántas veces ha faltado a la escuela por problemas de silbido de pecho:</p>	<p>97 <input type="checkbox"/></p>
<p>(1) nunca (2) 1-3 (3) 3-5 (4) más de 5</p>	
<p>98. ¿Algún doctor le ha diagnosticado asma al niño/a?</p>	<p>98 <input type="checkbox"/></p>
<p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p>	
<p style="text-align: center;">↓</p>	
<p><u>Pase a la pregunta 108</u> ←</p>	
<p>99. ¿Cuántos años tenía el niño/a cuando fue diagnosticado con asma por primera vez?</p>	<p>99 <input type="checkbox"/></p>
<p>(1) Menos de un año (4) 6-7 (2) 2-3 (5) 8-9 (3) 4-5 (6) 10 o más</p>	
<p>100. ¿Ha tenido alguna vez problemas para dormir a causa del asma?</p>	<p>100 <input type="checkbox"/></p>
<p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p>	
<p>101. ¿Ha tomado <u>alguna vez</u> algunas de las siguientes medicamentos para el asma?</p>	<p>101</p>
<p>(Marque todos los que apliquen)</p>	<p>a <input type="checkbox"/></p>
<p>(a) Antibióticos (cápsulas, pastillas, jarabes o inyección)</p>	<p>b <input type="checkbox"/></p>
<p>(b) Inhaladores _____</p>	<p>c <input type="checkbox"/></p>
<p>(c) Esteroides o corticoides (pastillas o inyección)</p>	<p>d <input type="checkbox"/></p>
<p>(d) Otro medicamento Especifique: _____</p>	<p><input type="checkbox"/></p>
<p>(88) No sabe</p> <p>102. Durante los <u>últimos 12 meses</u>, ¿ha tomado su hijo/a algunas de las</p>	

<p>siguientes medicinas para el asma? (Marque todos los que apliquen)</p> <p>(a) Antibióticos (cápsulas, pastillas, jarabes o inyección)</p> <p>(b) Inhaladores _____</p> <p>(c) Esteroides o corticoides (pastillas o inyección)</p> <p>(d) Otro medicamento Especifique: _____</p> <p>(88) No sabe</p>	<p>102</p> <p>a <input type="checkbox"/></p> <p>b <input type="checkbox"/></p> <p>c <input type="checkbox"/></p> <p>d <input type="checkbox"/></p>
<p>103. ¿Cuántas crisis de asma ha tenido su hijo/a en los últimos 12 meses?</p> <p>(1) Ninguna</p> <p>(2) Una vez</p> <p>(3) Más de una vez</p> <p>(88) No recuerda</p>	<p>103 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>104. ¿Cuánto tiempo ha sido el máximo que su hijo/a <u>ha permanecido</u> enfermo con asma en los últimos 12 meses (duración de los cuadros respiratorios)?</p> <p>(1) Menos de una semana</p> <p>(2) 1-3 semanas</p> <p>(3) 3 semanas o más</p> <p>(88) No sabe</p>	<p>104 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>105. ¿Durante cual(es) mes(es) de los últimos 12 su hijo/a tuvo crisis de asma?</p> <p>(1) Enero (2) Febrero (3) Marzo</p> <p>(4) Abril (5) Mayo (6) Junio</p> <p>(7) Julio (8) Agosto (9) Septiembre</p> <p>(10) Octubre (11) Noviembre (12) Diciembre</p>	<p>105 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>106. ¿Ha requerido de hospitalización el niño/a debido a una crisis de asma en los últimos 12 meses?</p> <p>(1) Si (2) No (88) No sabe</p>	<p>106 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>107. ¿El niño/a ha sido nebulizado alguna vez en su vida?</p> <p>(1) Si (2) No (88) No sabe</p>	<p>107 <input type="checkbox"/></p>

108. ¿Algún integrante de la familia, ha sido **diagnosticado por un médico** con las siguientes enfermedades? *Marque con una cruz.*

CUADRO CLÍNICO	MADRE			PADRE			ALGÚN HERMANO		
	SI	NO	No sabe	SI	NO	No sabe	SI	NO	No sabe
ASMA									
RINITIS ALERGICA									
DERMATITIS ATOPICA									

108

109. ¿ Sin estar resfriado,: Alguna vez su hijo/a ha tenido:

- | | | |
|------------------------|--------|--------|
| 1. Estornudo | Si (1) | No (2) |
| 2. Nariz tapada | Si (1) | No (2) |
| 3. Secreción nasal | Si (1) | No (2) |
| 4. Picazón en la nariz | Si (1) | No (2) |

109

1

2

3

4

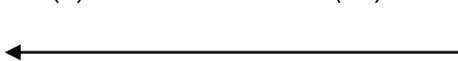
110. ¿En los últimos 12 meses su hijo/a ha tenido problemas de **estornudo**, **secreción nasal** o se le **tape la nariz** SIN tener gripe o catarro?

110

(2) NO
↓

(1) SI

(88) NO SABE



Pase a la pregunta 115

111. ¿Cuántas veces en este año?

111

- (1) 1 a 3
- (2) 4 a 6
- (3) 7 o más

112. En los últimos 12 meses este **problema de nariz** ¿se ha acompañado de ojos rojos con picazón y lagrimeo?

112

(2) NO

(1) SI

(88) NO SABE

<p>113. ¿En cuales de los últimos 12 meses se le presentó este problema de la nariz? (marque cuantos sea necesario)</p> <p>(1) Enero (5) Mayo (9) Septiembre (2) Febrero (6) Junio (10) Octubre (3) Marzo (7) Julio (11) Noviembre (4) Abril 8) Agosto (12) Diciembre</p>	<p>113 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>114. En los últimos 12 meses ¿cuánto ha interferido este problema de nariz con sus actividades cotidianas?</p> <p>(1) Nada (2) Moderadamente (3) Bastante</p>	<p>114 <input type="checkbox"/></p>
<p>115. ¿Alguna vez un <u>médico</u> le ha dicho que su hijo tiene rinitis o conjuntivitis alérgica?</p> <p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p>	<p>115 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>116. ¿Alguna vez a su hijo(a) le han salido manchas resecas en la piel con picazón, que le aparezcan y desaparezcan por temporadas de al menos seis meses?</p> <p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p> <p style="text-align: center;">↓ ←</p>	<p>116 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p><u>Pase a la pregunta 122</u></p>	
<p>117. ¿Ha tenido su hijo estas manchas resecas en la piel con comezón alguna vez en los últimos 12 meses?</p> <p>(2) NO (1) SI (88) NO SABE</p>	<p>117 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>118. ¿Alguna vez estas manchas resecas en la piel le salieron en cualquiera de las siguientes partes?:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pliegue de los codos 2. detrás de las rodillas 3. empeine del pie 4. nalgas 5. alrededor del cuello, orejas y ojos 6. otra: _____ 	<p>118 <input type="checkbox"/></p>

119. ¿A qué edad le salieron por primera vez estas manchas reseca s en la piel?	119 <input type="checkbox"/>
(1) antes de los dos años (2) entre los 2-4 años (3) después de los 5 años	
120. ¿Se le quitaron completamente estas manchas reseca s en la piel en algún tiempo durante los últimos 12 meses?	120 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) SI (88) NO SABE	
121. En los últimos 12 meses, ¿qué tan frecuentemente, en promedio, estas manchas reseca	121 <input type="checkbox"/>
(1) nunca en los últimos 12 meses (2) menos de una noche por semana (3) una o más noches por semana	
122. ¿Alguna vez un MEDICO le ha diagnosticado a su hijo(a): alergia en la piel o dermatitis atópica ?	122 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(2) NO (1) SI (88) NO SABE	
123. Qué jornada tiene su hijo/a en el colegio?	123 <input type="checkbox"/>
(1) Mañana (2) Tarde (3) Completa	
124. El niño realiza actividades físicas en la escuela (horario clases)?	124 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(1) Si (2) No (88) No sabe	
125. Cual ¿_____	125
126. Con qué frecuencia (<i>horas a la semana</i>)	126 <input type="checkbox"/>
(1) nada (2) menos de media hora a la semana (3) de media hora a 2 horas a la semana (4) de 2 a 4 horas a la semana (5) de 4 a 6 horas a la semana (88) No sabe	
127. ¿El niño realiza algún deporte fuera de la escuela? (extra-clases)	127 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
(1) Si (2) No (88) No sabe	
128. ¿Cuál?_____	128
129. Horarios_____	129

<p>130. Indica la cantidad de horas que en promedio permaneces en cada uno de estos lugares en un día típico.</p> <p>Casa: _____ Colegio: _____ Transportes: _____ Aire libre: _____ TOTAL: _____</p>	<p>130</p> <p>casa <input type="checkbox"/></p> <p>colegio <input type="checkbox"/></p> <p>transportes <input type="checkbox"/></p> <p>aire libre <input type="checkbox"/></p>
<p>J. EXPOSICION AMBIENTAL.</p>	
<p>131. ¿Es usted la principal encargada de realizar habitualmente las tareas de la casa?</p> <p>(1) Sí → <u>Pase a la pregunta 133</u> (2) No</p>	<p>131 <input type="checkbox"/></p>
<p>132. ¿Alguien le ayuda en las tareas domésticas?</p> <p>(1) Sí, mucho (2) Sí, regular (3) Sí, poco (4) No</p>	<p>132 <input type="checkbox"/></p>
<p>133. ¿Con qué frecuencia se realiza la limpieza en su casa? (limpieza incluye barrer y trapear el suelo, quitar el polvo de muebles y adornos)</p> <p>(1) Diario (2) Más de una vez a la semana (3) Una vez a la semana (4) Menos de una vez a la semana</p>	<p>133 <input type="checkbox"/></p>
<p>134. ¿Con qué frecuencia pasan automóviles por las calles donde se encuentra su casa?</p> <p>(1) Continuamente (2) Regularmente (3) Pocas veces</p>	<p>134 <input type="checkbox"/></p>
<p>135. ¿En qué tipo de calle se encuentra su casa?</p> <p>(1) Avenida (2) Calle principal (3) Calle secundaria (4) Pasaje: Pavimentado (5) Pasaje: ripio (6) Pasaje: tierra</p>	<p>135 <input type="checkbox"/></p>

<p>136. ¿Su casa tiene al menos una ventana que dé a la calle?</p> <p>(1) Si (2) No</p>	<p>136 <input type="checkbox"/></p>
<p>137. ¿Esta ventana permanece abierta?</p> <p>(1) Si Tiempo _____ (en una semana habitual) (2) No</p>	<p>137 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
<p>138. ¿La calle donde vive está pavimentada?</p> <p>(1) Si (2) No</p>	<p>138 <input type="checkbox"/></p>
<p>139. ¿Ha realizado construcciones en su casa en los últimos seis meses?</p> <p>(1) Si (2) No</p>	<p>139 <input type="checkbox"/></p>
<p>140. ¿Cuánto tiempo al día tiene la ventana abierta para ventilar la casa?</p> <p>(1) Nada (2) < 30 minutos (3) 30 minutos a 2 horas (4) > 2 horas</p>	<p>140 <input type="checkbox"/></p>
<p>141. ¿En los últimos 12 meses han tenido problemas con las siguientes plagas en su casa?</p> <p>a) Insectos voladores (moscas, mosquitos) b) Arañas c) Cucarachas d) Hormigas e) Ratones-ratas</p> <p>Si todas las preguntas fueron No, pase a la pregunta 143</p>	<p>141</p> <p>a <input type="checkbox"/> b <input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> e</p>
<p>142. ¿Usted o algún miembro de la familia, o un profesional en la aplicación de plaguicidas o insecticidas fumigó su casa?</p> <p>(1) Sí, yo (mamá/cuidador o papá) lo hizo (3) Sí, un familiar roció el plaguicida (2) No (88) No sabe</p>	<p>142</p>

<p>143. ¿Qué tipo de insecticida se aplica en su casa y con qué frecuencia? (puede señalar más de uno)</p> <p>(1) Fumigación por un profesional u otra persona</p> <p>(2) Spray insecticida</p> <p>(3) Dispositivo químico de enchufe (pastilla, líquido, etc)</p> <p>(4) Loción repelente corporal</p> <p>(5) Otro (especifique) _____</p>	<p>143</p> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>																								
<p>144. Cerca de tu casa ¿Existe alguna empresa o establecimientos de este tipo?</p>	<p>144</p>																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Establecimiento</th> <th style="width: 20%;">Si/No</th> <th style="width: 40%;">Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Empresa de plaguicidas</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Empresa de cerámicas</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Empresa de vidrios</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fundición de metales</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Local de pollos asados</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Amasandería</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otra</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Establecimiento	Si/No	Nombre	Empresa de plaguicidas			Empresa de cerámicas			Empresa de vidrios			Fundición de metales			Local de pollos asados			Amasandería			Otra			
Establecimiento	Si/No	Nombre																							
Empresa de plaguicidas																									
Empresa de cerámicas																									
Empresa de vidrios																									
Fundición de metales																									
Local de pollos asados																									
Amasandería																									
Otra																									
<p>145. ¿Hace cuantos años que vives cerca de esta empresa?</p> <p>_____</p>	<p>145</p> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>																								
<p>146. ¿Qué actividad hace esta empresa exactamente?</p> <p>(1) Trabaja con plaguicidas</p> <p>(2) Trabaja con maderas</p> <p>(3) Trabaja con vidrios o cerámicas</p> <p>(4) Hay almacenamiento de desechos minerales</p> <p>(5) Combustión a carbón</p> <p>(6) Funde oro, cobre o plomo</p> <p>(7) No lo sabe exactamente</p> <p>(8) Otro: _____</p>	<p>146</p> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>																								

<p>147. ¿A qué distancia de tu casa está esta empresa?</p> <p>(1) Menos de una cuadra (2) Entre 1 a 4 cuadras (3) Entre 5 a 9 cuadras (4) Más de 10 cuadras</p>	<p>147</p>
<p>K. ANTECEDENTES SOCIOECONÓMICOS</p>	
<p>148. Quien es el(la) jefe(a) de tu familia? (el que aporta el dinero y vive con la familia aún cuando trabaje algunos días fuera de la ciudad)</p> <p>(1) El padre (2) La madre (3) Ambos (4) Otro</p>	<p>148</p>
<p>149. ¿Cuál es el nivel escolar del jefe de la familia?</p> <p>(0) Nunca asistió al colegio (1) Básico incompleto (2) Básico completo (3) Medio incompleto (4) Medio completo (5) Técnico o universitario</p>	<p>149</p>
<p>150. ¿Cuál es la ocupación del jefe de la familia?</p> <p>(1) Profesional o empresario (2) Trabajador independiente (3) Empleado mando medio (4) Obrero estable calificado (5) Obrero estable no calificado (6) Pololos (7) Cesante (8) Dueña de casa</p>	<p>150</p>
<p>151. ¿Qué sistema de previsión tiene su familia para atención de salud?</p> <p>(0) Ninguno (1) FONASA (2) Isapre (3) FFAA y orden (88) No sabe</p>	<p>151</p>
<p><i>Muchas Gracias por su Participación en el Estudio</i></p>	

ANEXO 2

CONSENTIMIENTO INFORMADO

 Universidad de Chile
Escuela de Salud Pública
División de Epidemiología

Dirección: Av. Independencia 939
Teléfono: 9786501
Comuna Independencia
Santiago de Chile



CONSENTIMIENTO INFORMADO 29 JUL 2011

Su hijo está siendo invitado a participar del estudio *Evaluación de los efectos agudos por exposición continua al material particulado proveniente relaves mineros sobre la salud respiratoria de escolares en la ciudad de Chañaral.* (Instrucción: el consentimiento debe ser leído en conjunto con el informante)

¿Cuál es el objetivo de este estudio?

El objetivo de este estudio es evaluar si el material particulado que proviene de los relaves mineros con contenido metálico de la Bahía de Chañaral tiene efectos sobre la salud respiratoria de los niños escolares. Para ello, vamos a evaluar la salud respiratoria a través de exámenes de función pulmonar. A la vez vamos a medir el nivel de material particulado durante el periodo de estudio y analizaremos su composición.

¿Quiénes hacen este estudio?

La Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile.

¿Cuándo se llevará a cabo este estudio?

Se llevará a cabo entre Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre de 2012

¿Quiénes participan?

Niños de entre 6 y 15 años que haya sido seleccionado para participar de este estudio. Serán 150 niños seleccionados de de las escuelas básicas de Chañaral. Participan también un adulto responsable (mamá o papá) que nos ayude a llenar cuestionarios y que ayude al niño a cumplir con su participación en el estudio.

ESCUELA DE SALUD PUBLICA-FACULTAD DE MEDICINA- UNIVERSIDAD DE CHILE

Página 1

¿Hay restricciones?

Los niños deben ser no fumadores



29 JUL. 2011

¿En qué consiste nuestra participación?

<p>1. Tendrán que responder preguntas (el niño con los padres):</p> <ul style="list-style-type: none">• Sobre aspectos del niño (edad) y la familia (miembros, edades), condición social (por ejemplo: en qué trabaja el papá, cuanto gana), el contacto con contaminantes en la casa o fuera de ella y sobre lo que piensan del lugar en el que vive.• Sobre el estado de salud respiratoria del niño y la familia.• Estas preguntas se realizarán en una encuesta que dura alrededor de 15 minutos y será aplicada por personal del estudio.	
<p>2. Le vamos a medir la función del pulmón a su hijo con un instrumento especial en el cual tendrá que soplar. Lo hará un experto unas 6 veces durante este invierno (cada 2 semanas más o menos). Este examen se realizará en su hogar y dura entre 2 a 3 minutos.</p>	
<p>3. Le vamos a medir la función del pulmón a su hijo con un instrumento muy simple que se llama FLUJOMETRO y que consiste en tubo graduado donde debe soplar con todas sus fuerzas en forma diaria durante el periodo de estudio. La primera semana será entrenado por personal capacitado y luego lo hará personalmente dos veces al día en su casa durante un periodo de 12 semanas.</p>	
<p>4. El niño tendrá que llenar unos diarios de síntomas cada día. En ese diario escribirá, por ejemplo, si tuvo tos, si se sintió mal del pecho o si tuvo que tomar remedios (le vamos a mostrar un diario de ejemplo ahora). El llenar el diario debiera tomar alrededor de 1 minuto</p>	
<p>5. Que nos permita verificar datos de la salud del niño en el consultorio si fuera necesario (idealmente con el RUT del niño).</p>	



29 JUL. 2011

¿Qué se gana con participar?

Sabrán mejor cómo están funcionando los pulmones del niño comparado con los otros niños del estudio. Vamos a ver si funcionan mejor o peor cuando hay contaminación y si el niño se siente mejor o peor del pecho cuando hay contaminación. La comunidad entera se beneficiará al saber cómo la contaminación (y qué tipo de contaminación) puede afectar a los niños. Los resultados de las mediciones de cada familia se entregarán en una carta privada. No hay pago por participar.

¿Existen riesgos para la salud de mi familia por participar?

No se hará ninguna prueba que pueda poner en riesgo la salud de la familia.

¿Si aceptamos participar ahora, nos podemos salir después?

Sí. Es voluntario y además pueden salirse cuando quieran.

¿La gente puede saber lo que le respondí?

No. Todo lo que se conteste es privado. Si aceptan, sus datos personales se cambiarán por un número, así solo los que están a cargo del estudio podrán saber quiénes son. El nombre suyo o el de su familia nunca aparecerán escritos. Tampoco el de la comunidad a la que pertenecen.

¿A quién puedo llamar en caso que tenga dudas?

Para cualquier pregunta pueden llamar al Dr. Dante Cáceres Lillo de la Escuela de Salud Pública quién está a cargo del estudio. Pueden contactarlo al fono (2) 9786545 o en su email: dcaceres@med.uchile.cl. Su dirección es Av. Independencia 939. También puede consultar al Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile al número 9786923.



(Instrucción: página 4 se retira, se guarda la copia y se devuelve el consentimiento original firmado a la madre/padre y/o guardián)

Por último le pedimos que conteste estas últimas preguntas haciendo una marca (X) sobre el SÍ o NO: (Instrucción: las siguientes preguntas deben ser leídas)

1. ¿Le leyeron todo lo que decía este papel?	SI	NO
2. ¿Le respondieron todas sus preguntas?	SI	NO
3. ¿Siente que tiene claro el estudio?	SI	NO
4. ¿Está de acuerdo con participar de este estudio?	SI	NO

Si usted y el niño quieren participar y están de acuerdo con todo, por favor firme y ponga el nombre suyo y el del niño (el niño firmará una forma de ASENTIMIENTO:

Su nombre		
Nombre niño		
Dirección:		
Teléfono	Fijo:	Celular:

Firma adulto

ID Niño	
ID Casa	
Fecha	___ / ___ / _____
Aplicador:	

ANEXO 3

ASENTIMIENTO

29 JUL. 2011
PUNA
EN BENEFICIO DE LOS NIÑOS

He sido invitado a ser parte de un estudio que evalúa la relación entre la exposición a polvo proveniente de los relaves mineros depositados en la playa y los signos y síntomas respiratorios a cargo del profesor Dr. Dante Cáceres, en la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile.

En el que se me pedirá realizar los siguientes exámenes: ESPIROMETRIA Y FLUJOMETRIA:

- La **ESPIROMETRÍA** es un examen que consiste en soplar en una boquilla conectada a un equipo que mide la función pulmonar, sin ningún tipo de intervención ni riesgo para el niño. Este se realizará cada 2 semanas por el periodo de estudio.

Te vamos a medir la respiración con un aparatito especial en el cual tendrás que soplar. Lo hará un experto unas 6 veces durante la investigación (cada 2 semanas más o menos). Esto se hará en tu casa y es cortito (2 a 3 minutos)



- La **FLUJOMETRIA** mide la cantidad de aire máxima que votar después de una gran inspiración, consiste en soplar un dentro de un pequeño tubo que mide el flujo espiratorio máximo, sin ningún tipo de intervención ni riesgo para el niño.

Este se realizara diariamente dos veces al día durante 12 semanas: en la mañana (8:00 AM) y en la tarde (20:00 PM)



- **DIARIO DE SINTOMAS Y SIGNOS RESPIRATORIOS**

Tendrás que llenar unos diarios en que nos digas cómo te sentiste cada día: si tuviste tos, si te sentiste mal del pecho o si tuviste que tomar remedios (te vamos a mostrar un diario de ejemplo ahora). El llenar el diario es muy cortito (1 minuto). Tu mamá te puede ayudar con el diario



Algunas cosas importantes de mi participación:

29 JUL. 2011



- Conozco que tanto las actividades como los procedimientos no me harán daño.
- Si durante ésta actividad me siento incomodo o no es de mi agrado puedo retirarme en cualquier momento y esto no tendrá ninguna consecuencia para mi.
- Puedo contactarme con el investigador principal, Dr. Dante Cáceres (dcacers@med.uchile.cl) teléfono 9786546 o móvil particular, 09-77597086 en el momento que lo estime necesario para consultar acerca de mi participación este estudio.

Yo (nombre) _____ acepto participar voluntariamente en
el presente estudio.

Fecha _____ Firma: _____

ANEXO 4

Tabla 9. Asociación [coeficientes crudos y ajustados de aumento por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (IC95%)] entre valores de función pulmonar y MP_{10} en escolares de Chañaral, Región de Atacama, Chile 2012-2013.

	VEF1(ml)		CVF (ml)		PEF (ml/sec)		FEF25-75 (ml/sec)	
	Coef crudo IC95%	Coef aj* IC95%	Coef crudo IC95%	Coef aj* IC95%	Coef crudo IC95%	Coef aj* IC95%	Coef crudo IC95%	Coef aj* IC95%
MP_{2.5}								
Lag0	1.08 (-2.3, 0.2)	-1.22 (-2.5, 0.1)	-1.63 (-3.4, 0.1)	-1.77 (-3.6, 0.03)	-1.67 (-6.2,2.8)	-2.19 (-6.7, 2.3)	-0.55 (-3.9, 2.8)	-0.72 (-4.1, 2.6)
Lag4 promedio	-0.79 (-3.0, 1.4)	-0.38 (-2.6, 1.8)	-2.42 (-4.7,-0.1)	-1.88 (-4.2, 0.4)	-0.37 (-6.9, 6.1)	0.66 (-5.8, 7.1)	2.21 (-2.7, 7.1)	2.93 (-1.9, 7.8)
Lag12 promedio	-2.05 (-4.8, 0.7)	-0.47 (-3.2, 2.2)	-5.07 (-8.9,-1.1)	-3.47 (-7.2, 0.2)	-1.30 (-10.2,7.6)	1.95 (-7.3, 11.2)	5.13 (-1.8,12.1)	7.71 (-0.1,15.2)
Lag24 promedio	0.30 (-1.9, 2.5)	-0.77 (-3.1, 1.6)	-0.85 (-3.7, 2.1)	-2.71 (-6.3,0.9)	3.79 (-4.2,11.8)	2.35 (-6.5,11.2)	2.73 (-2.4,7.9)	3.41 (-2.0, 8.8)
Lag4 P75	0.07 (-1.4,1.5)	0.86 (-0.6, 2.3)	-1.07 (-2.6,0.5)	-0.14 (-1.6, 1.3)	-2.25 (-7.4,2.9)	-0.32 (-5.3,4.7)	2.96 (-0.7,6.6)	3.92 (-0.2,7.6)
Lag12 P75	0.51 (-2.4,3.4)	2.06 (-0.8, 4.9)	0.01 (-3.3,3.3)	1.87 (-1.5, 5.2)	-0.44 (-10.3,9.3)	3.67 (-6.1, 13.4)	4.47 (-2.5,11.4)	6.25 (-0.8,13.3)
Lag24 P75	0.14 (-3.6,3.9)	0.52 (-3.5, 4.6)	1.91 (-3.1,6.8)	2.33 (-2.7, 7.4)	-4.36 (-16.8,8.1)	-3.16 (-15.8, 9.5)	2.04 (-7.8,11.9)	3.49 (-7.1,14.1)
Lag4 máximo	-0.66 (-1.5, 0.2)	0.14 (-0.8, 1.1)	-1.74 (-2.7,-0.8)	-0.81 (-1.7, 0.2)	-1.98 (-5.1, 1.1)	0.06 (-3.1, 3.2)	1.09 (-1.3, 3.5)	-2.24 (-0.2, 4.6)
Lag12 máximo	-0.75 (-1.4,-0.03)	0.13 (-0.6, 0.8)	-1.90 (-2.8,-1.01)	-0.96 (-1.8,-0.1)	-2.61 (-5.3, 0.1)	-0.51 (-3.2, 2.1)	1.63 (-0.4, 3.6)	2.89 (-0.7, 5.0)
Lag24 máximo	-0.72 (-1.5, 0.1)	0.16 (-0.7, 1.1)	-2.01 (-2.9,-1.03)	-1.19 (-2.3,-0.1)	-2.93 (-5.7,-0.1)	-0.96 (-3.8, 1.9)	1.86 (-0.3,4.0)	3.47 (-1.2, 5.7)
MP₁₀								
Lag0	-0.12 (-0.5, 0.2)	-0.08 (-0.4, 0.3)	0.39 (-0.3,1.03)	0.45 (-0.2,1.1)	-0.77 (-2.1,0.6)	-0.67 (-2.2, 0.8)	-0.96 (-2.2,0.3)	-0.89 (-2.3,0.5)
Lag4 promedio	-0.12 (-1.2, 1.3)	-0.43 (-2.0, 1.1)	1.12 (-0.9, 3.2)	0.79 (-1.4, 3.0)	-0.41 (-4.1, 3.3)	-0.92 (-4.8, 3.0)	-2.43 (-6.1, 1.3)	-2.54 (-6.4,1.3)
Lag12 promedio	0.86 (-0.6, 2.3)	0.48 (-1.0, 1.9)	2.23 (0.2, 4.2)	1.79 (-0.1, 3.7)	2.64 (-1.4, 6.7)	1.82 (-2.7, 6.4)	-0.09 (-3.2, 2.9)	-0.28 (-3.8,3.2)
Lag24 promedio	-0.24 (-2.2, 1.7)	-0.47 (-2.3, 1.3)	-0.16 (-2.5,2.2)	-0.65 (-2.9, 1.6)	-1.82 (-6.1,2.4)	-2.62 (-7.1, 1.9)	0.39 (-2.6,3.4)	1.102 (-2.2,4.4)
Lag4 P75	0.45 (-0.1,1.1)	0.34 (-0.2, 0.8)	1.37 (-0.2,2.4)	1.31 (-0.2,2.3)	0.57 (-1.8,2.9)	0.51 (-1.7,2.7)	-0.84 (-3.3,1.7)	-0.99 (-3.5,1.5)
Lag12 P75	1.43 (-0.5,3.3)	0.47 (-1.5, 2.4)	2.83 (-0.3,5.3)	1.97 (-0.5,4.4)	3.48 (-3.0,10)	1.53 (-4.9,8.01)	0.85 (-3.1,4.7)	-0.92 (-4.9,3.1)
Lag24 P75	1.21 (0.2,2.2)	0.68 (-0.3, 1.6)	2.3 (-0.8,3.6)	1.66 (0.3,2.9)	2.59 (-3.02,8.2)	1.32 (-4.0,6.6)	1.7 (-0.7,4.1)	0.95 (-1.4,3.3)
Lag4 máximo	-0.09 (-0.4, 0.2)	-0.02 (-0.3, 0.3)	0.37 (-0.2,1.02)	0.48 (-0.2,1.1)	-0.58 (-1.9,0.8)	-0.37 (-1.8, 1.1)	-1.01 (-2.5,0.5)	-0.89 (-2.4,0.6)
Lag12 máximo	0.08 (-0.3, 0.2)	0.06 (-0.2, 0.3)	0.34 (-0.3, 0.9)	0.54 (-0.02,1.1)	-0.39 (-1.7,0.9)	-0.08 (-1.5,1.3)	-0.73 (-2.2,0.7)	-0.52 (-2.1,1.02)
Lag24 máximo	-0.29 (-0.5,-0.02)	-0.09 (-0.3, 0.2)	-0.19 (-0.8, 0.4)	0.02 (-0.5, 0.6)	-1.26 (-2.4,-0.1)	-0.88 (-2.1, 0.3)	-0.51 (-1.5,0.5)	-0.21 (-1.3,0.9)

*modelo GEE ajustado por edad, sexo, peso, velocidad del viento, temperatura ambiental; en negritas valores significativos.