UNIVERSIDAD ACADEMIA DE HUMANISMO CRISTIANO

CARRERA DE GEOGRAFÍA

ESCUELA DE HISTORIA

.

RELACIONES ENTRE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS ASOCIADAS AL COMPLEJO INDUSTRIAL DE VENTANAS

Alumno: Méndez Ríos, Felipe

Profesor Guía: Dr. Antonio Rivera Hutinel

Tesis para optar al grado de Licenciado en Geografía

Santiago, 2014

Agradecimientos y dedicatoria.

Gracias a las personas que hicieron posible el desarrollo de esta investigación, desde lo académico y en la amistad.

Al profesor Antonio Rivera gracias por su comprensión, apoyo y en especial por su paciencia y tiempo.

Sin duda un millón de gracias por el constante apoyo del profesor Marcelo Garrido, ha sido esencial en todo el proceso de la investigación y en los años de estudio, con su apoyo anímico en los momentos difíciles, por su confianza, sus retos y su comprensión, esta tesis no se hubiese logrado sin usted.

A todo el cuerpo académico de la carrera de Geografía, muchísimas gracias por todo el conocimiento entregado, a la profesora Macarena Barahona y Gabriela Raposo, por su incondicional apoyo.

Gran parte de ésta investigación, es gracias al apoyo de mi familia, padre, hermana, abuela y tía, con especial agradecimiento y dedicatoria a mi madre que lo es todo.

A mis amigos de toda la vida, gracias por su apoyo en todos estos años.

Índice

Agradecimiento y dedicatoria……1

Parte I. "Marco introductorio"

1. Introducción……7
2. Planteamiento del problema……9
3. Pregunta de investigación……23
4. Objetivos……24
   Objetivo general……24
   Objetivos específicos……24
5. Hipótesis……25

Parte II. "Marco teórico"

1. Medio Ambiente……26
2. Contaminación……30
2.1. Contaminación Atmosférica……30
2.2. Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos……32
2.3. Contaminantes Seleccionados……33
3. Material particulado……35
3.1. Fuentes de emisión del material particulado……36
3.2. Efectos adversos en la salud del material particulado……38
4. Dióxido de azufre SO_2……41
4.1. Fuentes de emisión del SO_2……41
4.2. Efectos adversos en la salud del SO2……42
5. Óxidos de nitrógeno NO_X……43
5.1. Fuentes de emisión del NOx……44
5.2. Efectos adversos en la salud del NOx……44

Parte III. “Marco metodológico”.

1. Análisis distribución y concentración espacial de los contaminantes……47
2. Análisis de la frecuencia de enfermedades respiratorias……..50
3. Desarrollo descriptivo de la relación entre frecuencia de enfermedades respiratorias y la distribución de contaminantes atmosféricos……53

Parte IV. “Resultados”.

1. Distribución espacial de los contaminantes……54

1.1. Distribución espacial del contaminante MP_{10}……54

1.2. Distribución espacial SO_2……56

1.3. Distribución espacial del NO_2……..58

1.4. Distribución espacial del NO_X……..60

2. Distribución y frecuencia de enfermedades respiratorias……62

2.1. Sector de Puchuncaví……...62

2.2. Sector de La Greda……63

2.3. Sector de Ventanas……...64

2.4. Análisis de la distribución espacial de la frecuencia de enfermedades respiratorias……..66

Parte V. “Discusión y Conclusiones”.

1. Discusión……...71
2. Conclusiones……76

Bibliografía……..78

Anexos……83

Índice de tablas.

Tabla N°1: Planes de prevención y descontaminación vigentes……...15
Tabla N°2: Reducción de emisiones de AES GENER S.A. y ENAMI Fundición Ventanas……19
Tabla N°3: Cronología de hitos ambientales en relación a temáticas ambientales……28
Tabla N°4: Impactos generados por MP, O_3, SO_2 y NO_2……30
Tabla N°5: Clasificación fuentes de emisión……33
Tabla N°6: Tipos de contaminantes y niveles máximos permitidos por la norma chilena……36
Tabla N°7: Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio……..39
Tabla N°8: Efectos en la salud de la población por exposición al dióxido de nitrógeno……44
Tabla N°9: Enfermedades asociadas a contaminantes.....50
Tabla N°10: Numero de encuestas realizadas……51
Tabla N°11: Grupos de enfermedades…….....52
Tabla N°12: Promedio anual del MP_{10}……72
Tabla N°13: Principales enfermedades padecidas…… 73
Tabla N°14: Formato de encuesta……..83
Tabla N°15: Porcentajes de enfermedades, sector Puchuncaví, 50-80 años…….84
Tabla N°16: Porcentajes de enfermedades, sector Puchuncaví, 10-20 años…….85
Tabla N°17: Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 50-80 años…….86
Tabla N°18: Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 10-20 años…….87
Tabla N°19: Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 50-80 años…….88
Tabla N°20: Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 10-20 años…….89

Tabla N°21: Comparación de índices de emisión de gases contaminantes, entre lo recomendado por la OMS y lo permitido por la legalidad chilena…….90

Índice de Figuras.

Figura N°1: Complejo industrial, Sector de Ventanas y la comuna de Puchuncaví……17
Figura N°2: Complejo industrial del sector de ventanas……17
Figura N°3: Efectos adversos del Material Particulado en el sistema respiratorio"……35
Figura N°4: Localización de las estaciones de monitoreo ambiental……...49
Figura N°5: Distribución espacial de MP_{10}, años 2011, 2012 y 2013……...55
Figura N°6: Distribución espacial de SO_2, años 2011, 2012 y 2013……57
Figura N°7: Distribución espacial de NO_2, años 2011, 2012 y 2013……59
Figura N°8: Distribución espacial de NO_x, años 2011, 2012 y 2013……61
Figura N°9: Grafico de porcentajes totales, sector de Puchuncaví……...62
Figura N°10: Grafico de porcentajes totales, sector de La Greda……63
Figura N°11: Grafico de porcentajes totales, sector de Ventanas……64
Figura N°12: Porcentaje de grupos de enfermedad por localidad, rango etario entre 50 y 80 años……...66
Figura N°13: Porcentaje de grupos de enfermedad por localidad, rango etario entre 10 a 20 años……...69
Figura N°14: Participación en las emisiones de MP_{10}, SO_2, NO_X y Hg……71
Figura N°15: Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2011……91
Figura N°16: Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2012……92

Figura N°17: Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2013…….93
Figura N°18: Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2011…….94
Figura N°19: Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2012…….95
Figura N°20: Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2013…….96
Figura N°21: Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2011…….97
Figura N°22: Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2012…….98
Figura N°23: Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2013…….99
Figura N°24: Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2011……...100
Figura N°25: Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2012……...101
Figura N°26: Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2013……...102

Parte I

"Marco introductorio"

1. Introducción.

En esta investigación se desea analizar la problemática ambiental de contaminación atmosférica, generada por la indiscriminada emisión de gases producto de diversas actividades industriales. Estos contaminantes se distribuyen en el espacio, potenciando las consecuencias negativas en la sociedad, afectando al turismo, al medio natural y en particular, contribuyendo a los efectos adversos en la salud de la población.

La problemática ambiental no solamente involucra el medio natural, sino que también afecta al hombre en relación con la producción y organización espacial de los asentamientos. El problema ocurre cuando el proceso de urbanización y de expansión de los asentamientos no toman en consideración el bienestar humano. *"Uno de los principales servicios que provee el medio ambiente a la sociedad es la provisión de soporte de vida, pero éste puede verse afectado por los problemas de contaminación del aire, haciendo que las personas se vuelvan más sensibles a adquirir infecciones respiratorias agudas. Éstas se pueden presentar en términos de crecimiento en las tasas de morbilidad y mortalidad de la población. Por lo tanto podemos afirmar que los problemas de contaminación del aire afectan las condiciones de desarrollo económico en una sociedad debido a que disminuyen la utilidad de los individuos. La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana, un enorme reto por resolver."* (Silva, 2011).

Para analizar esta temática, se eligió como caso de estudio la emisión de gases contaminantes que se realiza en el balneario de Ventanas, comuna de Puchuncaví, en la V región de Valparaíso, Chile. En este balneario se localiza el complejo industrial Ventanas, foco de controversia ambiental que ha convocado a numerosas manifestaciones sociales y al desarrollo de diversos estudios científicos que abordan dicha problemática (Toledo, 1994; Sánchez et al., 1999; Observadores derechos humanos, 2013).

En este estudio se analizó la distribución espacial de la concentración de algunos gases contaminantes, como también se recolectó información referente a la frecuencia de algunas enfermedades respiratorias, con el fin de establecer si existe alguna relación entre ambas que contribuiría a explicar el desarrollo de ciertas patologías asociadas a la contaminación atmosférica.

2. Planteamiento del problema.

Debido a las problemáticas de contaminación que comenzaron a ser evidentes durante la década de los 70, posterior a la revolución industrial, se comienza a debatir sobre la necesidad de incorporar al análisis del medio ambiente la relación entre sociedad y naturaleza, contribuyendo a potenciar aportes de diversas ciencias y que en definitiva termina por conceptualizar al medioambiente como un sistema abierto que abarca interrelaciones e interacciones múltiples y complejas con el medio natural, construido y social. Tal como señala la definición que proporciona el departamento jurídico de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA): "*Medio ambiente es un sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia de la vida en sus múltiples manifestaciones"* (MMA, 2010).

El desarrollo histórico del concepto de medio ambiente se remonta al año 1970. El Club de Roma fue una de las primeras instituciones que pone en el tapete el deterioro y degradación ambiental que está afectando a nuestro planeta. En el informe denominado, "Limites del crecimiento" se incorpora el análisis de las tendencias de modelos económicos, políticos y de desarrollo que se están aplicando globalmente, poniéndolas en discusión con la capacidad de respuesta que tendría el sistema natural (Meadows et al. 1972). "*El Club de Roma tuvo la gran importancia para poner el tema en discusión, desatándose corrientes de estudio, de propuestas y de conciencia sobre la misma situación denunciada"* (Gross, 2005). Esto permitió ampliar y profundizar el debate, incorporando en la

conceptualización y análisis una visión sistémica e integrada de los factores que tienen vinculación directa e indirecta con el medio ambiente.

Este antecedente permitió un cambio de paradigma que obtuvo como consecuencia que en las posteriores conferencias mundiales que tuvieron relación con la temática ambiental, se desarrolló una visión más crítica de lo que estaba sucediendo en el mundo. Desde los inicios del desarrollo de conferencias, cumbres y demandas de organizaciones no gubernamentales hasta el día de hoy, el debate de las temáticas medio ambientales se ha visto ampliado y profundizado. Se puede nombrar el surgimiento de disciplinas o corrientes que se han especializado en problemáticas ambientales. La ciencia geográfica no queda ajena a este debate, ya que el conocimiento espacial es un potencial aporte para el desarrollo de políticas ambientales dentro del marco de la legislación gubernamental encargada de la fiscalización de temas ambientales con el fin de resguardar la salud de la población.

La geografía es una ciencia integradora que es capaz de incorporar aspectos tanto físicos como humanos al análisis de las relaciones entre el hombre y el espacio. En esta relación cabe la posibilidad que el hombre perjudique negativamente el medio ambiente. El medio ambiente se entiende como un sistema abierto, donde el ser humano actúa como un ente pensante que tiene la capacidad de configurar y producir el espacio, con el fin de satisfacer sus necesidades de acuerdo a una contextualización espacio temporal.

Dichas necesidades configuran el espacio a partir de los recursos que el medio proporciona. En Chile, la distribución de recursos naturales es heterogénea debido a su extenso territorio. En la zona norte del país la minería es la principal actividad económica, en la zona central lo es la agricultura como también la importación y

exportación a través de la actividad portuaria. En el sur del país la principal actividad económica es la ganadería y la acuicultura. Esta configuración y desarrollo económico heterogéneo en el espacio, en muchas ocasiones genera un desequilibrio, por ejemplo la implementación de complejos industriales en zonas donde ya existe una población asentada que se ve profundamente afectada en su salud producto de la exposición a gases contaminantes.

Existen ejemplos de fenómenos ambientales que resultan ser adversos para el medio en que vivimos. Se puede nombrar por ejemplo que producto de "*La circulación de las masas de aire, los ríos y las corrientes marinas son los encargados del traslado de contaminantes. La lluvia ácida es un grave problema en América del Norte, ya que las industrias de Estados Unidos contaminan la atmósfera, y la precipitación de ácidos, azufre, plomo y otros tóxicos afecta extensos bosques, así como áreas de cultivo y lagos en Canadá. También se registran grandes afectaciones en la zona central de Europa por contaminación transfronteriza"* (Méndez et al. 2009). Países altamente industrializados han desarrollado fenómenos ambientales como la lluvia acida, producto de la relación entre la prolongada exposición e indiscriminada emisión de gases contaminantes con las condiciones físicas del territorio. El movimiento de masas de aire o el escurrimiento corrientes hídricas, contribuyen a la dispersión y distribución de contaminantes, aumentando la probabilidad de efectos adversos en la población y en el territorio. Ocurre además que el espacio afectado se extiende más allá de la localidad donde se halla la fuente emisora.

Como se señaló anteriormente con respecto al surgimiento y especialización de disciplinas asociadas a temáticas ambientales, en la geografía sucedió un hecho similar, asociado con el desarrollo de la geografía médica o también conocida como geografía de la salud o del bienestar (Iñigues, 1998).

La geografía médica se desarrolló durante la década de los 70 del siglo XX, denominada como geografía del bienestar, un derivado de la geografía humana, que proponía un enfoque integrador con el fin de relacionar todas las disciplinas geográficas en consideración con el bienestar humano. Los términos de geografía médica y geografía de la salud fueron los más debatidos y aceptados para identificar aquel estudio geográfico, siendo calificado "como una nueva perspectiva y una nueva especialización", desarrollándose en el marco de la ampliación del conocimiento geográfico para relacionarla con métodos y técnicas a la investigación en salud, con el fin de mitigar o prevenir enfermedades (Iñigues, 1998).

La geografía médica tiene dos principales campos de investigación: 1) La nosogeografía, encargada de la identificación y análisis de patrones de distribución espacial de las enfermedades y 2) la geografía médica o de salud, que estudia la distribución y planeamiento de componentes infraestructurales y de recursos del sistema de atención médica (Iñigues, 1998).

"La geografía deviene frente a la salud, no como un simple reservorio de climas, contaminantes, de microbios, de vectores de transmisión infecciosa, etc; sino como un espacio históricamente estructurado, donde también se expresan las consecuencias benéficas y destructivas de la organización social" (Breilh et al., 1988). La salud no se puede visualizar como un hecho aislado. Tal y como se señaló en la conceptualización de medio ambiente, el tema de la salud se incorpora dentro este sistema abierto de interrelaciones, no solamente respecto a las problemáticas del bienestar del ser humano asociadas con la aparición de virus, microbios, etc., también es importante señalar factores o características del medio y de la sociedad en la cual se desarrolla la problemática.

"La situación de salud de un espacio poblado dado, en un momento dado, está influenciado tanto por los avatares de las formaciones económicas, de las persistencias de origen natural (clima, suelos, relieve y otras), como por la experiencia biológica de la población en contacto con diversos agentes patógenos" (Dubos, 1989).

Por lo que todo espacio geográfico en donde existe un asentamiento humano, tendrá una experiencia histórica con factores ecológicos, biológicos, económicos, culturales y sociales. El espacio es capaz de contener y reflejar los cambios presentes en aspectos tanto físicos como humanos. Existen diversos modelos explicativos y métodos de planificación en políticas sanitarias en donde se menciona y queda explicito que la salud es el resultado de complejas y dinámicas interacciones de diversos factores, que en definitiva se expresan en la relación hombre-medio.

"*En 1995 Maximilian Sorre, describía los principios generales de la geografía Medica y los asociaba estrechamente a la distribución de los complejos patógenos que, por otro lado, se hallan vinculados a las condiciones del medio ambiente. Destacaba un primer enfoque general que consistía en mostrar el reparto de las enfermedades (geografía de las enfermedades) para dar cuenta de la extensión de un fenómeno sobre la superficie del globo y además, un enfoque o criterio regional, ya que cada región se caracteriza por una asociación de endemias o de epidemias vinculadas a caracteres geográficos (físicos, biológicos y humanos). Se consideraba así que el origen de las enfermedades se hallaba en los factores externos, incluidos entre estos los propios hábitos"* (Ramírez, 2004).

El surgimiento y distribución de una enfermedad, epidemia, pandemia o cualquier efecto adverso en la salud de la población, tiene para la geografía médica una explicación que va más allá de las propias acciones cotidianas del ser humano, la relación que puede existir entre agentes externos, como por ejemplo las condiciones físicas del territorio y la contaminación ambiental, son factores que pueden influir en el desarrollo de ciertos patógenos y por tanto en la salud de las personas.

El principal fenómeno ambiental asociado y potenciado por la actividad antrópica es el de contaminación atmosférica, que se produce cuando diversos gases que son adversos para la población, tanto químicos como biológicos, son emitidos a la atmósfera afectando el medio en el que vivimos. Según la OMS: "s*e considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la OMS de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo*. (OMS, 2005).

Se puede establecer que efectivamente existe una estrecha relación entre la propia conceptualización de geografía de la salud con fenómenos ambientales como la contaminación atmosférica y su potencial efecto adverso en la salud de las personas. El análisis de la distribución espacial de contaminantes es un factor puede ser perfectamente explicado desde una perspectiva geográfica, siendo un

importante aporte para entender el patrón de ciertas enfermedades que sufre la población.

Chile no es ajeno a episodios de contaminación ambiental. En la Tabla N°1 se mencionan algunas localidades que de acuerdo con la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, se encuentran en planes vigentes de descontaminación. Estas zonas han sido calificadas como zonas saturadas o latentes de contaminantes, por lo que se encuentran en constante fiscalización y han sido focos de controversia desde un punto ambiental, económico, político y sanitario (MMA, 2011).

Tabla N°1: Planes de prevención y descontaminación vigentes.

Región	Localidad	Contaminante monitoreado				Decreto que establece el plan
		MP10		SO_2		
		Anual	24 Hrs	Anual	24 Hrs	
Antofagasta	María Elena y Pedro de Valdivia		S			DS 164/1999/ MINSEGPRES
	Chuquicamata		L	S	S	DS 206/2001/ MINSEGPRES
	Tocopilla	S				DS 70/2010/ MINSEGPRES
Atacama	Potrerillos		S	S	S	DS 179/1999/ MINSEGPRES
	Paipote				S	DS 180/1995/ MINSEGPRES
Valparaíso	Puchuncaví (Ventanas)		S	S	S	DS 252/1992/ MIN MINERIA
Metropolitana	Todas las comunas	S	S			DS 66/2009/ MINSEGPRES
Libertador	Caletones		S		S	DS 81/1998/

General Bernardo O'Higgins						MINSEGPRES
Araucanía	Temuco y Padre de las Casas		S			DS 78/2009/ MINSEGPRES

(s) Zona saturada

(L) Zona latente.

Fuente: MMA (2011).

En nuestro país, existen numerosos episodios de contaminación atmosférica, siendo los señalados por la tabla N°1 los más importantes, donde incluso ha tenido que intervenir la institución gubernamental, con el objetivo de frenar y disminuir la emisión de contaminantes (MMA, 2011).

En este estudio se evaluó la distribución de la contaminación que se produce a raíz de las emisiones de gases tóxicos en el complejo industrial ubicado en la comuna de Puchuncaví, especialmente en el balneario de Ventanas y como ésta afecta a la salud de la población que se encuentra cercano a dicho sector. La comuna de Puchuncaví se encuentra ubicada al norte de la V región de nuestro país, entre las comunas de Quinteros (Sur) y Zapallar (Norte).

Tal y como se visualiza en la Figura N°1, el sector de Ventanas se encuentra ubicado en la costa. En la comuna de Puchuncaví se encuentran asentamientos urbanos, como Puchuncaví y localidades rurales. Algunos sectores aledaños al Complejo Industrial Ventanas son: Ventanas, Las Salinas, Los Maitenes y La Greda (ver Figura N°2).

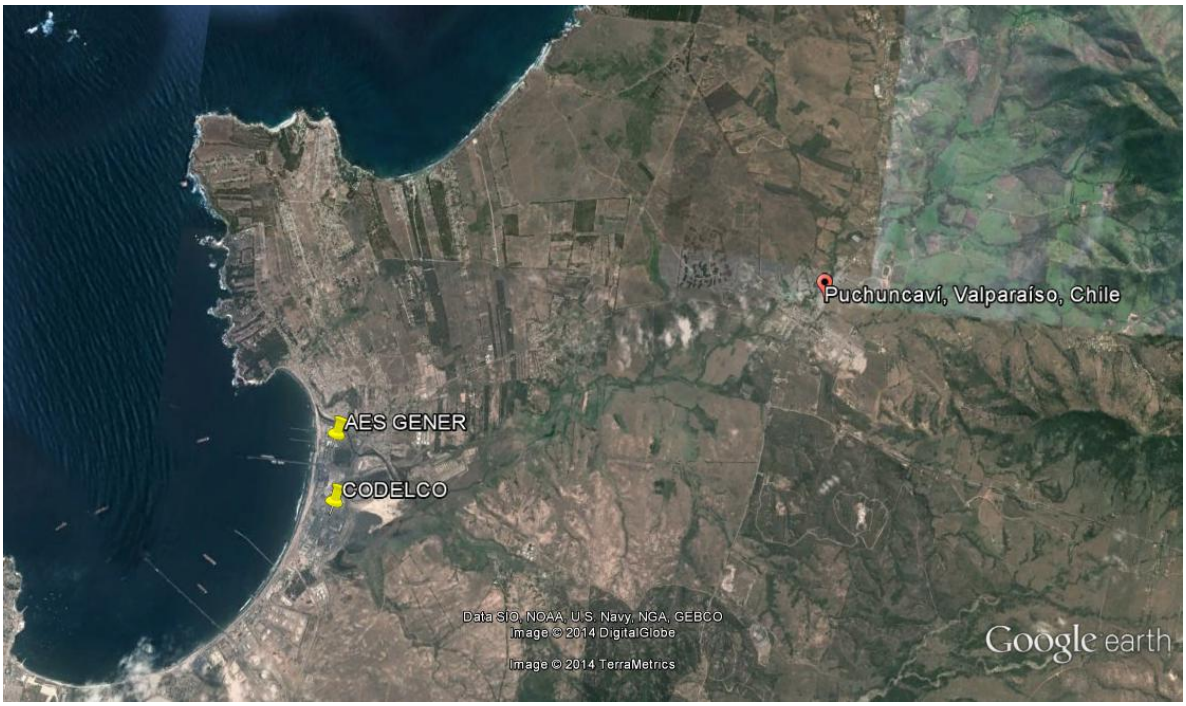

Figura N°1: Complejo industrial, Sector de Ventanas y la comuna de Puchuncaví.

Fuente: Google Maps, Mayo 2012.

Figura N°2: Complejo Industrial Ventanas y algunas localidades aledañas.

Fuente: Google Earth, Mayo 2012.

En la Figura N°2 se puede visualizar con más detalles el complejo Industrial Ventanas. Dicho complejo se instaló en el año 1964, bajo la dirección de la Empresa Nacional de Minería ENAMI y posteriormente fue adquirida por CODELCO, en conjunto a la construcción de una central termoeléctrica CHILGENER que actualmente es AES GENER. La elección de construir un complejo industrial en esta zona se debió a su cercanía con los puertos de Quinteros y Valparaíso, facilitando y disminuyendo el viaje para el embarque de ciertos productos (Toledo, 1994).

Como antecedente de la contaminación ambiental que ha afectado la comuna de Puchuncaví, se puede nombrar que a partir de la década de los 90 se implementó un plan de descontaminación, luego de que la comuna fuera declarada como zona saturada de material particulado grueso (MP10) y dióxido de azufre (SO_2) (Seremi, 2005). *"En cumplimiento con el artículo 4º transitorio del D.S. 185/92, las empresas presentaron un Plan de Descontaminación, el que fue aprobado por el D.S. Nº 252/92 (D.O. 02.03.93), del Ministerio de Minería suscrito por el Ministerio de Hacienda, MINSAL, MINAGRI y Ministerio de Economía. Debido a las excedencias a las normas de calidad de aire, el Ministerio de Agricultura mediante el D.S. Nº 346/93 (D.O.03.02.94) declara en su artículo único lo siguiente; "Declarase zona saturada para anhídrido sulfuroso y material particulado respirable la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas, en las áreas jurisdiccionales de las comunas de Puchuncaví y Quintero"* (Seremi, 2005).

A partir del año 1993, la fundición Ventanas que actualmente es CODELCO, la termoeléctrica Chilgener que hoy es AES Gener y el Ministerio de Minería, implementaron un plan de descontaminación para el Complejo Industrial Ventanas. Estas medidas ambientales fueron la instalación de una red de

estaciones de monitoreo de calidad del aire y la reducción de emisión de gases contaminantes con la instalación de filtros en las chimeneas de las industrias.
En la Tabla N°2 se puede visualizar la disminución de estos contaminantes, lo que empezó a ser más evidente a partir del año 1997 en adelante.

Tabla N°2: Reducción de emisiones de contaminantes de las empresas AES GENER S.A. y ENAMI del Complejo Industrial Ventanas, desde el año 1993 a 2004.

Año	Material Particulado		Anhídrido Sulfuroso (SO_2)		Emisión Total	
	GENER Ton/año	ENAMI Ton/año	GENER[1] Ton/año	ENAMI Ton/año	Material Particulado Ton/año	SO_2 Ton/año
1993	-	-	-	117.298	-	-
1994	23.404	3.301	-	123.052	26.705	-
1995	8.330	2.746	-	118.436	11.076	-
1996	542	3.328	8.951	117.322	3.870	126.273
1997	464	1.616	10.020	85.378	2.080	95.398
1998	1.183	1.231	9.224	44.808	2.414	54.032
1999	1.277	305	10.529	30.732	1.582	41.261
2000	1.242	125	8.229	30.220	1.367	38.449
2001	685	127	2.767	31.910	812	34.677
2002	144	55	538	30.882	199	31.420
2003	525	92	2.797	24.352	617	27.149

2004	1.018	202	9.493	22.534	1.220	32.027

Fuente: SEREMI de salud de Valparaíso (2005).

A pesar que se han reducido notoriamente las emisiones tanto del MP10 y de SO_2, *"la situación de contaminación en Ventanas ha tenido episodios críticos en donde se destaca una serie de eventos de intoxicación de decenas de niños y adultos en la escuela de La Greda durante 2011, producto de nubes químicas tóxicas. Nuevamente, la primera semana de abril de 2012 una nube tóxica afectó al sector, por lo que se abrieron sumarios sanitarios a las empresas de AES Gener, propietaria de termoeléctricas y a la fundición de cobre, la estatal Codelco Ventanas"* (Observadores derechos humanos, 2013).

La comuna de Puchuncaví (V Región de Chile) es un escenario propicio para el estudio de los efectos respiratorios de la contaminación ambiental, dado que allí se encuentra una fundición y una refinería de cobre con una producción anual de 450.000 toneladas de concentrado de cobre y una central termoeléctrica que consume anualmente 700.000 toneladas de carbón (Sánchez et al., 1999).

"La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y otros aspectos del bienestar humano y el ambiente. Puede provocar o agravar afecciones respiratorias y cardiacas, además de ser especialmente dañina para personas con enfermedades pulmonares o cardiacas crónicas, mujeres embarazadas, ancianos y niños, además de representar un riesgo para los trabajadores expuestos y la población pobre que trabaja en las calles y vive en condiciones precarias" (Muñoz et al., 2007).

Como señala Muñoz y colaboradores (2007), la contaminación aérea es un elemento importante a considerar al evaluar los efectos adversos para la salud de la población producto de la exposición a los contaminantes. Esto se corrobora con estudios previos realizados en el área de estudio, que evalúan la relación entre la concentración de contaminantes atmosféricos la frecuencia de enfermedades respiratorias (Toledo, 1994; Sánchez et al., 1999; Observadores derechos humanos, 2013).

De los estudios realizados en la comuna de Puchuncaví asociados con la contaminación atmosférica, se puede señalar que a pesar de la disminución de emisión de contaminantes desde 1993, los efectos negativos que han afectado a la salud de la población de Puchuncaví es un tema que aún sigue siendo preocupante:

"*Se ha producido, desde la instalación del complejo industrial de Ventanas en la comuna, una evolución respecto a la frecuencia, tipología y distribución a lo largo del año de los casos de las enfermedades respiratorias que aquejaban a la población infantil*" (Toledo, 1994).

"Los resultados sugieren que la exposición a altos niveles de SO_2 y MP10 incrementa significativamente la ocurrencia de síntomas respiratorios y el uso de broncodilatadores en los niños del área industrial de Puchuncaví" (Sánchez et al., 1999).

Por último, en el año 2011llamo la atención pública la intoxicación sufrida por niños y adultos del sector de La Greda, en la comuna de Puchuncaví. La prensa nacional volvió a mostrar un problema que se suponía había sido solucionado 15 años atrás: "*Un nuevo caso de intoxicación afecta a la escuela de La Greda, en Puchuncaví, donde 17 estudiantes y 5 profesores se vieron afectados este jueves con cuadros de picazón, vómitos e indigestión a raíz de un aire denso proveniente del parque industrial de Ventanas*" (La nación, 2011).

3. Pregunta de investigación.

A raíz de lo señalado anteriormente, se plantea como pregunta de investigación **¿Cuál es la relación entre la distribución espacial de los gases contaminantes con las enfermedades respiratorias que dañan la salud de la población asentada en zonas aledañas al complejo industrial ubicado en el balneario de Ventanas?.**

4. Objetivos.

- **Objetivos generales:**

  - Analizar la relación existente entre los contaminantes emitidos por el complejo industrial y la distribución de enfermedades respiratorias en la comuna de Puchuncaví.

- **Objetivos específicos:**

  - Evaluar la distribución espacial de los principales contaminantes atmosféricos registrados dentro de la comuna de Puchuncaví.

  - Evaluar la distribución espacial y frecuencia de las enfermedades respiratorias que afectan la salud de la población en algunas localidades de la comuna de Puchuncaví.

  - Evaluar la relación de la distribución espacial de los contaminantes con la distribución y frecuencia de las enfermedades respiratorias.

5. Hipótesis.

Se plantea como hipótesis de trabajo:

1) Se espera que la distribución de los materiales contaminantes emitidos por el complejo industrial tienda a concentrarse en las localidades cercanas a la fuente emisora y por ende también debería haber una mayor frecuencia de enfermedades respiratorias que afecta a la población que habita esta zona.

Esta hipótesis surge por denuncias de pobladores que habitan en las localidades cercanas al Complejo Industrial Ventanas y que han sufrido tanto síntomas como enfermedades relacionadas con la exposición prolongada a los contaminantes atmosféricos. A su vez, algunos estudios plantean la directa relación entre la emisión de contaminantes con la salud de la población (Toledo, 1994; Sánchez et al., 1999).

Parte II

Marco Teórico.

1. Medio ambiente.

La contextualización histórica de este concepto ha variado a lo largo de los años. El debate se inició en los años 70 con el club de Roma, que desde una mirada sistémica y organizada, se pronunció de forma crítica respecto al efecto negativo sobre el medio ambiente que provoca el acelerado y desregulado crecimiento económico, .emitiendo una publicación denominada “Los límites del crecimiento” (Gross, 2005). En esta publicación se hace énfasis en el debate de como los modelos y tendencias de crecimiento que ejercen las grandes potencias se confrontan con el medio natural.

En el año 72 se llama a la primera conferencia mundial convocada por la ONU sobre medio ambiente y desarrollo. Esta conferencia fue *“Uno de los primeros pasos en la difusión de las problemáticas ambientales a nivel mundial, donde se comienza a conceptualizar al ambiente como un tema que involucra factores sociales, económicos e incluso políticos”.* Cuatro años más tarde en Vancouver, en la primera conferencia de las Naciones Unidas sobre los asentamientos humanos (1976), a pesar de ser una convocatoria con otros fines, la temática ambiental sale al tapete, donde se señala que el patrón mundial de la concentración demográfica se desarrolla en áreas urbanas y es aquí en donde surgen las principales problemáticas ambientales.

Veinte años después, durante el año 1992 en Rio de Janeiro, se realiza la segunda conferencia mundial del medio ambiente, donde participan alrededor de 172 países del globo. En esta conferencia se proyecta una de las principales

acciones a nivel mundial en pro del medio ambiente, que es el denominado protocolo de Kioto, que entraría en planificación durante el año 1997 y su posterior vigencia en el año 2005.

Es en el año 1979, en la primera conferencia mundial sobre el clima desarrollado en Ginebra, en donde se comienza a señalar las primeras evidencias sobre alteraciones negativas en el clima a raíz de problemáticas ambientales. En años posteriores, la reunión de la Cumbre de la Tierra, convocada por la ONU y realizadas en la ciudad de Rio de Janeiro (1992) y Johannesburgo (2002) dieron como resultado el desarrollo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Además es en el año 1994 en donde se pacta el protocolo de Kioto que entraría en vigencia el año 2005, que tiene como objetivo principal reducir las emisiones de gases que producen el efectos invernadero, por parte de los países que participan en las convenciones medio ambientales globales.

En la Tabla N°3 se pueden ver los principales hitos históricos sobre temáticas ambientales.

Tabla N°3: Cronología de hitos ambientales a nivel mundial

Año	Hito ambiental
1971	• Primer informe del club de Roma. Se pusieron en tela de juicio la vialidad del crecimiento como objetivo planetario.
1972	• Conferencia de Estocolmo sobre “Medio Ambiente Humano”.
1973	• Primer programa de acción ambiental. Environment Action Programe.
1977	• Segundo programa de acción ambiental.
1983	• Tercer programa de acción ambiental.
1987	• Año Europeo del Medio Ambiente. • Se redacta una carta sobre “Los requerimientos para la protección del medio ambiente deberían ser un componente de las políticas de la comunidad” • Cuarto programa de acción ambiental.
1991	• Creación por la comisión Europea de un grupo de expertos en medio ambiente urbano, tras la publicación del Libro Verde sobre Medio Ambiente Urbano.
1992	• Quinto programa de Acción Ambiental • Conferencia de las naciones unidas en Medio Ambiente y Desarrollo, Rio de Janeiro, Brasil. • Cumbre de la tierra, Junio 1992. • Tratado de Mastrich.
1994	• Primera conferencia Europea de Ciudades y Poblaciones Sostenibles, celebrado en Aaborg. Dinamarca.
1996	• Conferencia de Lisboa, Septiembre. Segunda Conferencia Europea sobre ciudades sostenibles.
1997	• Protocolo de Kioto. Exige que los países industrializados reduzcan sus emisiones de gases contaminantes en un promedio de 5% en los años 2008 y 2012.
2000	• Tercera de conferencia de europea sobre ciudades y municipios sostenibles. Declaración de Hannover.
2002	• Conferencia de Johannesburgo.

Fuente: Gross, 2005.

En el caso nacional, la conceptualización que realiza el Ministerio de Medio Ambiente en la ley 19.300, define al medio ambiente como un *sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socio culturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones* (MMA, 2010).

Esta definición incorpora las diversas modificaciones que se han realizado durante las discusiones de la historia del concepto, tomando en consideración todos los elementos que intervienen en el medio, no solamente los elementos físico naturales, sino también aspectos culturales, sociales y económicos que se interrelacionan desde una visión integral, que como señala Gross (2005) "*El primer postulado se basa en la necesidad de entablar una nueva relación sociedad-naturaleza. Los parámetros y los paradigmas convencionales ya no sirven"* (Gross, 2005).

2. Contaminación.

2.1. Contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica tiene que ver con la presencia en el aire, a raíz de las actividades humanas e incluso naturales, de sustancias que pueden contraer consecuencias negativas en la salud o bienestar del hombre o al ambiente donde se desarrolla la sociedad. Algunos de estos efectos son considerados en la Tabla N°4.

Tabla N°4. Impactos generados por contaminantes atmosféricos como el MP10, O_3, SO_2 y NO_2

Efecto	Descripción
Daño a la salud	Las partículas y compuestos emitidos al aire en ciertas concentraciones pueden producir efectos nocivos en la salud de las personas como, por ejemplo, reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros.
Disminución en visibilidad	La presencia de partículas en el aire reduce la visibilidad causando una disminución en el bienestar y la calidad de vida.
Daño a materiales	El exceso de contaminación atmosférica puede causar daños en los materiales de construcción, alterando las propiedades físicas y químicas de los mismos.
Daño a ecosistemas acuáticos	Altas concentraciones de NO_2 y SO_2 pueden producir deposición ácida en el agua, modificando su composición y dificultando la supervivencia de especies acuáticas.
Daño en plantas y bosques	La deposición ácida en suelos puede alterar el crecimiento de plantas y árboles. Además el ozono y otras partículas pueden ingresar a través de las estomas de las plantas y dañar su estructura.

Fuente: MMA (2011).

"Los contaminantes del aire pueden ser clasificados por su origen y por su tipo de acción. Según su origen pueden ser antropogénicos como un incendio forestal o naturales como las erupciones volcánicas, entre otras. Según su acción se pueden clasificar en primarios y secundarios: son primarios aquellos que se evacuan directamente en la atmosfera como las partículas y gases. También pueden darse casos en que los contaminantes primarios reaccionan químicamente y se produzcan nuestros tipos de sustancias contaminantes que se conocen como secundarios" (Toledo, 1994).

Los contaminantes son partículas nocivas tanto para la salud del ser humano, como también para la fauna y vegetación, incluso para las construcciones. En el caso del área de estudio, los contaminantes son emitidos por el Complejo Industrial que se asienta en el balneario de Ventanas.

Se pueden catalogar como agentes primarios a los contaminantes que son emitidos directamente por estas industrias, como por ejemplo el SO_2, Un contaminante secundario puede ser el ácido sulfúrico, que se forma luego que el SO_2 entra en contacto con la humedad del aire y genera lluvia acida. La formación de lluvia acida puede ser más probable bajo condiciones de alta humedad atmosférica, como cuando se forma neblina costera, un fenómeno climático recurrente en el litoral costero de Chile central. Con este ejemplo se puede apreciar que la transformación química de los contaminantes primarios, debido a procesos físico-climáticos del espacio o con la misma interacción con otros químicos, puede generar otros contaminantes secundarios que pueden ser incluso más perjudiciales para el bienestar humano.

2.2. Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

Como señala Toledo (1994), los contaminantes son clasificados por su fuente de origen y por su tipo de acción. Según el Ministerio de Medio Ambiente, en su "Informe del estado de Medio Ambiente en Chile" realizado el año 2011, se presenta la siguiente clasificación de contaminantes según sus fuentes de emisión:

- ***Las fuentes fijas****, consideran las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor o vapor y otros procesos industriales, como por ejemplo la fundición del cobre. También incluyen las emisiones generadas por la quema de otros combustibles como la biomasa, asociada a la calefacción de viviendas.*
- ***Las fuentes móviles*** *corresponden a las emisiones provenientes de los gases de escape, desgaste de frenos y neumáticos, de distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas.*
- ***Las fuentes fugitivas****, consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras. El material particulado asociado a este tipo de fuentes corresponde principalmente a partículas gruesas, siendo prácticamente el 90% mayores a 2,5 micrómetros (µm) (Chow y Watson, 1998). Las emisiones fugitivas también tienen un origen natural, debido a la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos como la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones* (MMA, 2011).

En la Tabla N°5 se clasifican las diferentes fuentes de emisión, los tipos de contaminantes y algunos ejemplos para cada tipo:

Tabla N°5. Clasificación fuentes de emisión.

Tipo	Contaminantes	Subtipo	Ejemplo actividades
Fuentes fijas	MP_{10} , $MP_{2.5}$, SO_x y NO_x	Areales	Calefacción residencial, quemas agrícolas e incendios forestales.
		Puntuales (industria)	Generación eléctrica, procesos industriales como combustión en calderas generadoras de vapor y hornos industriales, y otros procesos industriales como la fundición de cobre.
Fuentes Fugitivas	MP_{10} , $MP_{2.5}$	Polvo resuspendido	Construcción de edificios. Calles sin pavimentar. Erosión eólica.
Fuentes Móviles	MP_{10} , $MP_{2.5,}$ NO_x, CO_x, SO_x	*En ruta*	Buses, camiones, vehículos particulares, Vehículos comerciales, taxis y motocicletas.
		Fuera de ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos.

Fuente: MMA (2011).

2.3. Contaminantes seleccionados.

En nuestro país, las normas primarias de calidad ambiental a nivel nacional, regulan la concentración de seis tipos de contaminantes atmosféricos (MMA, 2011) calificados como los principales y con mayor adversidad para la salud. Cada contaminante cuenta con normas de calidad de aire vigentes, los cuales son: Material Particulado (MP_{10} como $MP_{2,5}$), Dióxido de Azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Ozono (O_3), Monóxido de Carbono (CO) y Plomo (PB).

En la tabla N°6 se presentan los niveles máximos permitidos para las concentraciones de tres de estos contaminantes emitidos a la atmosfera que permiten evaluar la calidad del aire y que se encuentran en vigencia actual, medidos en concentraciones de microgramo por metro cubico ($\mu g/m^3$).

Tabla N°6: Tipos de contaminantes y niveles máximos permitidos por la norma chilena.

Contaminante	Concentración máxima permitida ($\mu g/m^3$)	Evaluación de la norma	Periodo de evaluación
MP_{10}	50	Media aritmética trianual	Anual
	150	Media aritmética diaria	Diario
NO_2	100	Media aritmética anual	Anual
	400	Media aritmética diaria	1 Hora
SO_2	80	Media aritmética anual	Anual
	250	Media aritmética diaria	Diario

Fuente: MMA (2011) & Oyarzún M. (2010)

De acuerdo a diversos estudios médicos, a la disponibilidad de datos y según las normas de emisión, en este estudio se tomó en consideración los efectos adversos para el sistema respiratorio de los contaminantes de tipo: 1) Material Particulado Grueso (MP_{10}), 2) Dióxido de Azufre (SO_2), 3) Óxidos de Nitrógeno (NO_x y NO_2). Junto con esto, para el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2011) los principales contaminantes emitidos por procesos de combustión industriales resultan los mismos que los seleccionados en este estudio.

En los siguientes apartados, se presenta una profundización de cada contaminante, señalando sus principales fuentes de emisión y su relación con los potenciales efectos adversos en el sistema respiratorio del ser humano.

3. Material particulado.

Uno de los contaminantes seleccionados para la investigación, es el material particulado, que según el MMA se define como *"Una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, de distintas formas y tamaños, y cuya composición química es variable, dependiendo de las fuentes emisoras que lo originen"* (MMA, 2012).

Se pueden distinguir 2 principales tipos de material particulado según el tamaño de las partículas.

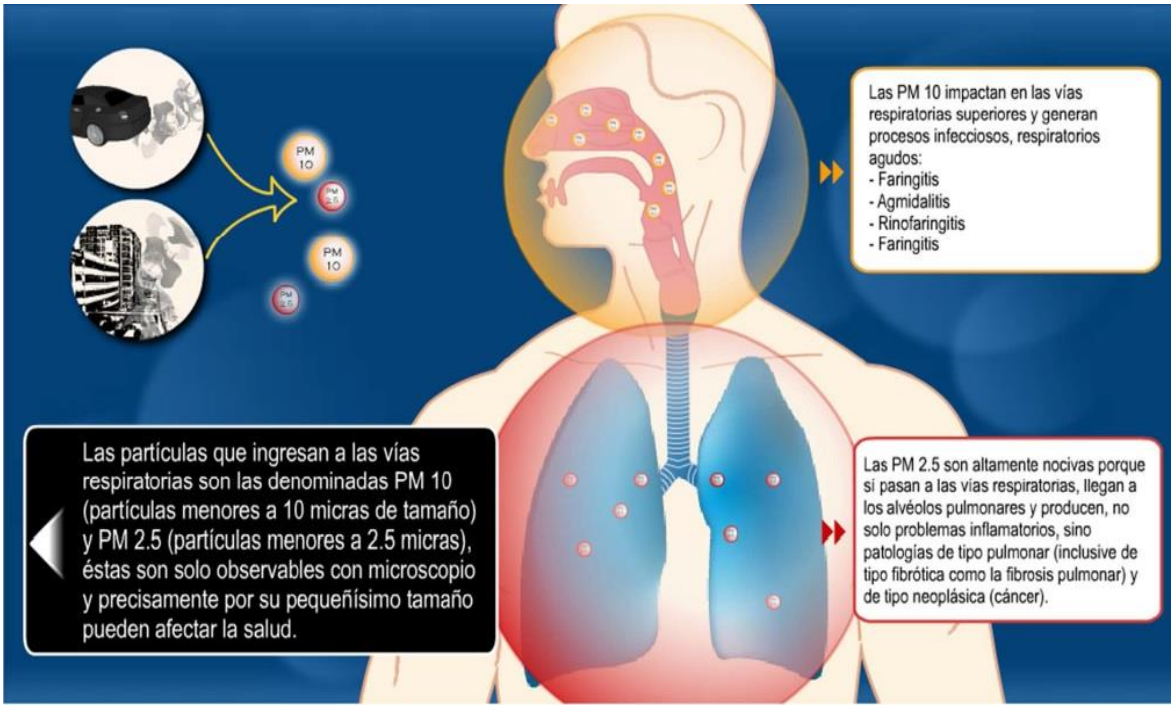

Figura N°3: "Efectos adversos del Material Particulado en el sistema respiratorio"

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2011).

Como se puede ver en la Figura N°3, el material particulado grueso, conocido como MP10, son las partículas que se encuentran en un rango de tamaño desde menos de 10 micrómetros (µm = 0.001 mm) hasta 2.5 µm. El material particulado fino, denominado MP2.5 corresponde a partículas de un tamaño menor a 2,5 µm.

Las partículas del MP_{10} tienen un mayor impacto en la zona superior del sistema respiratorio. El material particulado fino ($MP_{2,5}$) logra traspasar esta zona y genera daños en el área inferior del sistema respiratorio, llegando a afectar el área pulmonar (MMA, 2011).

3.1. Fuentes de emisión del material particulado

De acuerdo a lo presentado en el informe nacional del estado del medio ambiente (MMA, 2011), las fuentes de emisión tanto de La fracción gruesa y la fracción fina del Material Particulado presentan diferencias en su origen, en relación a los mecanismos que participan en su formación, en las fuentes emisoras, en la composición química y en su comportamiento en la atmósfera. En ese contexto, las principales fuentes de emisión de la fracción fina son: las fuentes móviles, procesos industriales, la combustión de biomasa (tal como la calefacción residencial a leña, quemas agrícolas y forestales) y emisiones de amonio de las operaciones agrícolas. Las fuentes más comunes de la fracción gruesa son el polvo resuspendido en la agricultura, minería, carreteras sin pavimentar y las actividades de construcción. También proviene de fuentes biológicas, el polen, fracciones de bacterias y a partir de la evaporación de gotas de agua de mar (MMA, 2011). El origen de las emisiones del material particulado es variado, incluso pueden ser causados por fuentes naturales.

El material particulado es un contaminante que contiene tanto químicos, polvo o cualquier tipo de partícula que se encuentra dentro de los rangos de tamaño capaz de ser respirable. Es una caracterización general de todo lo que podríamos encontrar en el aire, sin embargo, las actividades antrópicas contribuyen a aumentar ciertos compuestos, en particular los del material particulado fino, representado principalmente por compuestos químicos.

Además de la emisión directa del MP2.5*, este también puede formarse por reacciones químicas entre contaminantes gaseosos precursores de material particulado, tales como SO_2 y NO_2 y otros compuestos atmosféricos. A este tipo de material particulado se le conoce como material particulado secundario. El material particulado secundario se forma tanto por la condensación de gases enfriados después de su emisión, que se añaden a partículas ya existentes y se van combinando entre sí para formar conglomerados de mayor tamaño, como también mediante la formación de gotas de nubes o neblina, a las cuales los gases condensados sirven de núcleos* (MMA, 2011).

No necesariamente la fuente de emisión del material particulado fino es directa. En ocasiones, el contacto con otros contaminantes y la influencia de condiciones climáticas contribuye a la generación de material particulado secundario. En el caso de la comuna de Puchuncaví, existe emisión de gases contaminantes como el SO_2 y el NO_X, siendo estos los precursores del material particulado fino, atribuido a una serie de reacciones químicas y a condiciones climáticas (Sánchez et al., 1999).

3.2. Efectos adversos en la salud del material particulado.

Existen diversos estudios que analizan y corroboran la relación existente entre enfermedades respiratorias y la exposición a gases contaminantes, como menciona la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005): "*El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad. Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 µm (MP2.5) se ha estimado entre 3 y 5 µg/m³ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas"* (OMS, 2005).

Lo señalado por la OMS, según análisis epidemiológicos específicos que se han desarrollado y diversos estudios bibliográficos, concuerdan en que el sistema respiratorio es el que mayormente se ve afectado por los contaminantes y que como consecuencia de este, se producen daños en el sistema cardiovascular.
Como analiza el doctor Manuel Oyarzun en su estudio "Contaminación aérea y sus efectos en la salud" (Oyarzun, 2010), podemos nombrar los efectos negativos en el sistema respiratorio por la exposición de ciertos contaminantes y que justamente corresponden a los analizados en la investigación.

Tabla N°7. Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio.

Contaminantes	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Material particulado "respirable" (PM_{10} y fino ($PM_{2,5}$)	-Aumento de la morbilidad respiratoria. -Disminución de la función pulmonar. -Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar. -Síndrome bronquial obstructivo.	-Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio. -Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta (hidrocarburos aromáticos policíclicos).
Ozono (O_3)	-Disminución de frecuencia respiratoria y disminución de Capacidad vital forzada y Volumen espiratorio forzado en el primer segundo. -Alveolitis neutrofílica, aumento de permeabilidad e hiperreactividad bronquial. -Alteración del epitelio alveolar (células tipo II).	-Daño de células epiteliales, "bronquiolización" alveolar. -Disminución del desarrollo de capacidad vital forzada y volumen espiratorio forzado en el primer segundo.
Dióxido de azufre (SO_2)	-Obstrucción bronquial. -Hipersecreción bronquial.	-Bronquitis crónica.
Dióxido de nitrógeno (NO_X)	-Hiperreactividad bronquial -Aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma.-Aumenta la respuesta a la provocación con alérgenos. -Disminución de la actividad mucociliar.	-Posible decremento del desarrollo pulmonar.

Fuente: Oyarzun, 2010.

Estos contaminantes aéreos son los que principalmente se han asociado a efectos negativos en el sistema respiratorio. Sin embargo, la exposición a una mezcla de contaminantes contribuye a potenciar los daños en el sistema respiratorio (Oyarzun, 2010). , Junto con esto, Oyarzun (2010) indica respecto a la relación de material particulado con enfermedades respiratorias que: *"los resultados comunicados en publicaciones internacionales han establecido que por cada 50 µ/m³ de elevación de los niveles de MP_{10} en 24 horas se produce en promedio un aumento de alrededor de 3% de la mortalidad general. También estos estudios han detectado que el aumento de PM10 se asocia a un aumento de la mortalidad respiratoria y cardiovascular. En relación al PM2.5 estudios nacionales han encontrado que un aumento de la concentración de PM2.5 por encima de 70 µg/m³ propicia el aumento de las consultas por neumonías infantiles. Un aumento de 10 µg/m³ en el promedio diario de PM2.5 se asoció a un aumento del 5% del riesgo de síndrome bronquial obstructivo con un día de rezago en un seguimiento de 504 lactantes menores de 1 año, usuarios de consultorios del área Sur-Oriente de Santiago"* (Oyarzun, 2010).

4. Dióxido de Azufre SO_2.

Otro contaminante que se tomó en consideración para la investigación es el "*dióxido de azufre, que es un gas incoloro que a altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor cáustico e irritante. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso (H_2SO_3), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) con el oxígeno del aire. El SO_2 también puede formar trióxido de azufre (SO_3), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en salud. En la atmósfera urbana está representada una amplia gama de compuestos de azufre, pero desde un punto de vista práctico los más importantes son el dióxido de azufre gaseoso, el ácido sulfúrico y los sulfatos" (*Aranguez, 1999).

Este gas incoloro surge debido a la quema de combustibles sulfurosos. Este contaminante genera contaminantes secundarios, que en la presencia de otros compuestos y de la humedad del aire, forma ácido sulfúrico y sulfatos contaminantes que son causantes de enfermedades respiratorias.

4.1. Fuentes de emisión del SO_2.

La emisión del SO_2 puede ser natural, producto de erupciones volcánicas y procesos de combustión natural o por fuentes antrópicas, principalmente por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, la fundición de minerales sulfurados y procesos industriales. Es precursor del Material Particulado Secundario que se forma mediante la asociación de pequeñas partículas

(aerosoles). En presencia de humedad forma ácido sulfúrico (MMA, 2011). Se entiende por combustibles fósiles sulfurosos el carbón, petróleo, gas natural, etc. Posteriormente, el combustible quemado en la atmósfera produce sulfatos, que forman parte del material particulado. El SO_2 en presencia de material particulado forma una mezcla letal, que fue responsable de episodios como el de Londres en 1952, en que hubo miles de fallecimientos.

4.2. Efectos adversos del SO_2 en la salud.

Tanto el SO_2 como sus derivados secundarios son dañinos para la salud, como se menciona en la Tabla N°7. Algunas enfermedades que generan son Obstrucción bronquial, hipersecreción bronquial y bronquitis crónica (Oyarzun, 2010).

En particular, altos niveles de SO_2 contribuyen a potenciar el asma bronquial en etapas de la infancia. "*Los asmáticos, especialmente los niños, son especialmente vulnerables al dióxido de azufre. El asma es la causa principal de enfermedades crónicas entre los niños y un niño o un adulto asmático que se encuentre expuesto al dióxido de azufre, puede en cuestión de minutos, quedarse sin aliento"* (Moore, 2006).

"En series epidemiológicas a largo plazo, se han identificado en las poblaciones expuestas a altos niveles ambientales de SO_2, superiores a los recomendados por la OMS (50 µg/m^3), aumentos significativos en patologías respiratorias en la población infantil, patología respiratoria inespecífica en adultos sanos (tos) y aumento de mortalidad por causa respiratoria y cardiovascular en ancianos y en la población global. Se han podido comprobar que los individuos asmáticos expuestos a altas concentraciones de SO_2 tienen un incremento del 73% en el riesgo de sufrir una crisis asmática" (Garamendi et al., 2003).

Teniendo en cuenta que no existe una real veracidad respecto a la causa del asma bronquial, diversos estudios señalan que los principales factores serian la herencia genética y a la presencia prematura de agentes patógenos contaminantes. Sin embargo, es importante resaltar el papel que cumple el SO_2 en agravar esta enfermedad respiratoria. Los niños pueden estar expuestos a cantidades de dióxido de azufre mayores que los adultos porque inhalan más aire por unidad de peso corporal que los adultos. Además los niños hacen ejercicio con más frecuencia que los adultos. El ejercicio aumenta la frecuencia respiratoria, por lo que cuanto más dióxido de azufre penetra en los pulmones, mayores son los efectos que este contaminante contribuye a potenciar el asma.

5. Óxidos de nitrógeno NO_X.

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (también denominado monóxido de nitrógeno), cuya nomenclatura química es NO y el dióxido de nitrógeno, conocido como NO_2. El termino NO_x es la expresión general para denominar ambos tipos de óxidos de nitrógeno.

El NO_x es producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas. En el proceso de combustión el nitrógeno, se oxida para formar principalmente monóxido de nitrógeno (NO) y en menor proporción dióxido de nitrógeno (NO_2). El NO se transforma en NO_2 mediante reacciones fotoquímicas. El dióxido de nitrógeno puede combinarse con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar Ozono (O_3), así como con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de MP10 y MP2.5 (SINCA, 2010).

5.1. Fuentes de emisión del NOx.

Como es señalado en la Tabla N°5, las principales fuentes de emisión del NO_X son fuentes móviles y fijas. Cabe destacar que en el caso de la comuna de Puchuncaví, donde hay una refinería de cobre (CODELCO) y una central termoeléctrica (AES GENER), ambas fuentes de emisión son consideradas como fuentes fijas.

5.2. Efectos adversos en la salud del NOx.

Como señala Oyarzun (2010), este contaminante puede causar efectos a corto plazo como la hiperreactividad bronquial, aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma, aumenta la respuesta a la presencia de sustancias alergénicas y disminución de la actividad mucociliar. A largo plazo se puede producir un posible decremento del desarrollo pulmonar. En la Tabla N°8 se pueden señalar algunos de los efectos adversos en la salud, dependiendo del tiempo de exposición y la concentración de los óxidos de nitrógeno en la atmosfera.

Tabla N°8: Efectos en la salud de la población por exposición al dióxido de nitrógeno.

Concentración (ppm)	Tiempo de exposición (h)	Efecto observado
5	14	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas, aumento de la hiperreactividad bronquial.
2,5	2	Individuos normales: Incremento de la resistencia de las vías aéreas.

1	2	Individuos normales: Pequeño cambio en CVP.
0,5 – 5	0.05 – 1	Individuos con bronquitis crónica: incremento de la resistencia de las vías aéreas.
0,5	0.33	Individuos asmáticos, con 10 minutos de ejercicio moderado: Disminución de la tasa de flujo espiratorio.

Fuente: Martínez, 2007.

Al igual que el SO_2, el NO_X contribuye a los ataques asmáticos, ya que afecta a los pulmones y aumenta la susceptibilidad de los niños y los ancianos a las infecciones respiratorias. El NOx también tiene la capacidad de reaccionar con otros compuestos volátiles presentes en la atmosfera, además de reaccionar con luz ultravioleta y generar Ozono (O_3), provocando irritación en los ojos y potenciando las enfermedades producidas por todos los contaminantes anteriormente mencionados.

"Muchos niños de doce años de edad o menos, expuestos a niveles altos de NO_x, sufren más enfermedades de la garganta y del pulmón. Aquellos expuestos a niveles altos de NO_x al aire libre sufren de más resfríos, tienen una respiración sibilante y tos crónica, así como bronquitis, tos bronquial con flema y episodios de enfermedades respiratorias. Cuando están expuestos en los interiores -lo cual sucede frecuentemente porque el NO_x se crea por medio de los calentadores a gas sin ventilación- los niños pueden sufrir de respiración jadeante, respiración sibilante crónica y tos, flema y bronquitis" (Moore, 2006).

Parte III

Marco metodológico.

Para realizar los objetivos específicos, se realizó lo siguiente.

- Se recolectó información sobre la concentración y distribución de los contaminantes, por medio de los datos proporcionados por estaciones de monitoreo ambiental a cargo del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), perteneciente al Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Esta recolección de datos será acotada a las estaciones de monitoreo ubicadas dentro de la comuna de Puchuncaví.

- Con el fin de establecer la frecuencia y distribución de enfermedades respiratorias, se realizó un total de 75 encuestas, tomando en consideración rangos etarios de 50 a 80 años y 10 a 20 años de edad. Estas encuestas fueron realizadas en los sectores de Puchuncaví, el Balneario de Ventanas y La Greda.

- Para establecer el análisis de la relación existente entre la frecuencia de enfermedades respiratorias con la distribución espacial de contaminantes, se desarrolló un análisis descriptico tomando en consideración informes técnicos y estudios médicos, que mencionan y analizan dicha temática.

A continuación se detalla la metodología realizada para cumplir cada objetivo específico.

1. Análisis distribución y concentración espacial de los contaminantes.

Gracias a la base de datos online del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA), perteneciente al Ministerio de Medio Ambiente, que pone a disposición pública información sobre la calidad del aire de todo el país, se recolectó información de los contaminantes registrados en la atmosfera de todas las estaciones de monitoreo ubicadas dentro de la comuna de Puchuncaví. Estas estaciones de monitoreo fueron creadas con el fin de monitorear el cumplimiento de las normas ambientales solicitadas a las empresas del complejo Industrial Ventanas desde 1993.

De estas estaciones de monitoreo se extrajeron datos de la concentración de las emisiones de gases contaminantes. Cabe resaltar que no todas las estaciones de monitoreo localizadas en la comuna de Puchuncaví cuentan con registros, por lo que se extrajeron además datos de otras estaciones de la región. Esto permitió realizar una interpolación hacia zonas que no contaban con registros de contaminantes, lo que permitió el análisis de distribución espacial.

Con el fin de realizar un análisis comparativo de la distribución de contaminantes a través del tiempo, se determinó realizar la extracción de datos de los años 2011, 2012 y 2013. Esta decisión se debió a la necesidad de establecer la distribución espacial de los contaminantes en el presente ya que también se analizó en el mismo período la frecuencia y distribución de las enfermedades que sufre la población dentro de la comuna de Puchuncaví, lo que a su vez permitió evaluar la relación entre ambos factores.

Utilizando el método geo estadístico Kriging en el software ArcGis 10.1 se analizó la distribución y concentración espacial de los contaminantes. Esto fue representado por medio de cartografías, tres por cada contaminante (i.e. una por año), con el fin de entender el movimiento espacial de los contaminantes a escala anual.

"El método de interpolación Kriging asume que la distancia y/o la dirección entre puntos de muestreo es una expresión de la correlación espacial entre los puntos y que por tanto dicha información puede utilizarse para explicar la variabilidad encontrada en la superficie muestreada. El algoritmo ajusta una función matemática a un determinado número de puntos o a aquellos que se encuentren en un radio de búsqueda" (Fallas, 2007).

En el caso de la investigación, la relación de la distancia con los puntos de muestro fueron estimadas a partir de las coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo. Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de la muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación.

En la Figura N°4 se puede ver la localización de las estaciones de monitoreo que fueron consideradas en este estudio.

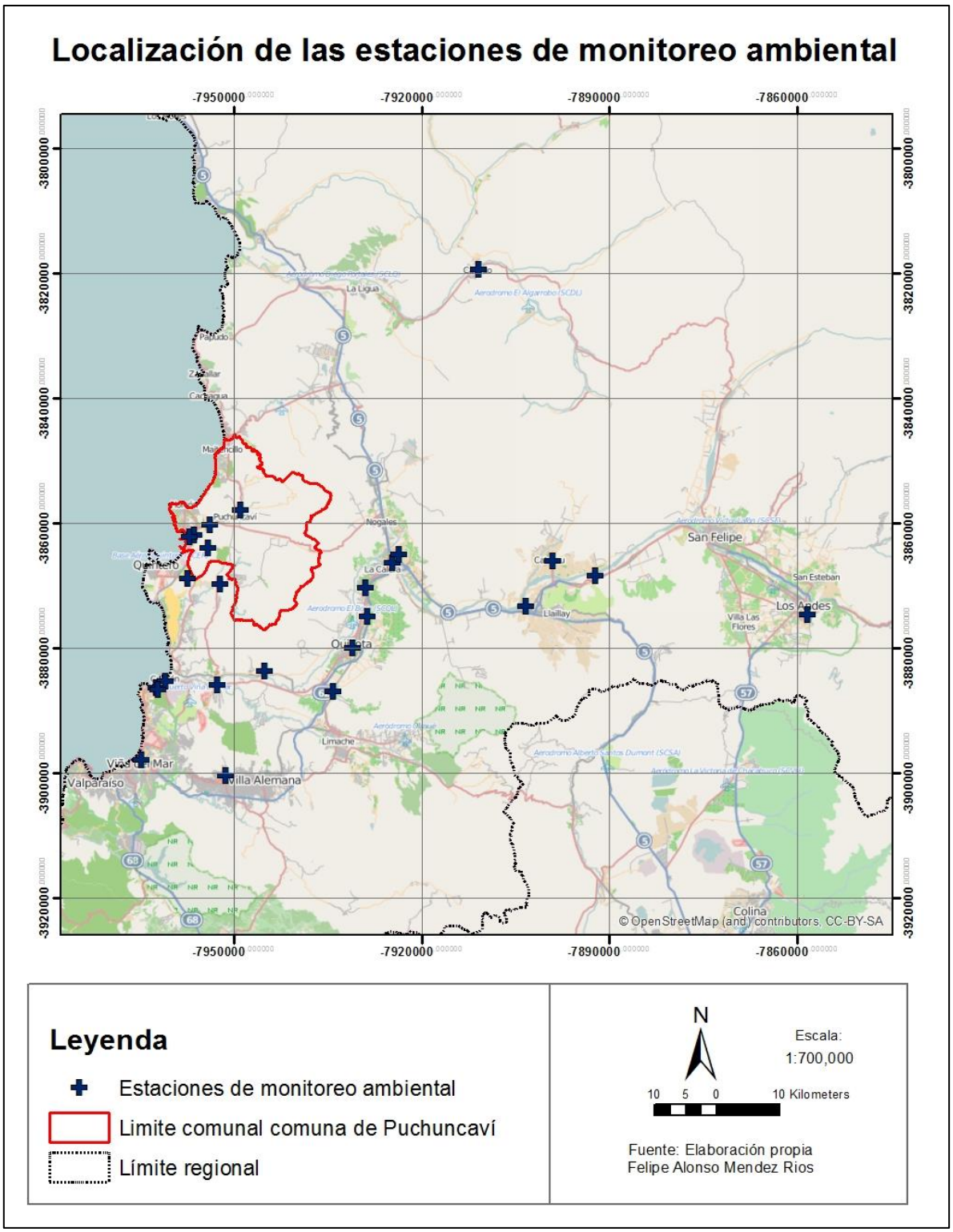

Figura N°4: Localización de las estaciones de monitoreo ambiental.

Fuente: SINCA.

2. Análisis de la frecuencia de enfermedades respiratorias.

De acuerdo a la diversa bibliografía revisada e investigaciones ya realizadas, que analizan la relación de enfermedades respiratorias con la exposición de contaminantes en la comuna de Puchuncaví, se tomó la decisión de seleccionar algunas enfermedades respiratorias que se asocian a los contaminantes elegidos para esta investigación. En la tabla N°9 se presenta el listado de enfermedades seleccionadas y los contaminantes que las provocan.

Tabla N°9. Enfermedades asociadas a contaminantes.

Enfermedad	Asociada a los contaminantes
Bronquitis crónica	MP10, SO_2
Bronquitis aguda	MP10, SO_2
Asma Bronquial	NO_x, NO_2, SO_2, MP10
Neumonía	NO_x, NO_2, SO_2, MP10
Bronconeumonía	NO_x, SO_2, SO_2, MP10
Faringitis	MP10, SO_2

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron encuestas a personas que residen en tres poblados afectados por la emisión de gases contaminantes dentro de la comuna de Puchuncaví: 1) Puchuncaví, 2) La Greda y 3) Ventanas. Se tomó la decisión de realizar encuestas según rango etario, ya que los padecimientos de enfermedades respiratorias varían de acuerdo a la edad. Los rangos de edad establecidos para la investigación fueron dos, correspondientes a las clases de edad más vulnerables a sufrir padecimientos a raíz de contaminación atmosférica: los jóvenes (10-20 años) y los adultos mayores (50-80 años).

En la Tabla N°10 se menciona el número de encuestas realizadas correspondientes a cada rango etario y localidad:

Tabla N°10. Numero de encuestas realizadas en el estudio.

Sector	Rango Etario	Numero de encuestas
Puchuncaví	50 a 80 años	20
	10 a 20 años	10
La Greda	50 a 80 años	20
	10 a 20 años	10
Ventanas	50 a 80 años	20
	10 a 20 años	10

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que capa persona encuestada puede padecer más de una enfermedad y que la información respecto a la coordenada geográfica fue extraída con la ayuda de un GPS.

Para sintetizar la información extraída por las encuestas se establecieron tres grupos de personas con diferentes estados de salud, clasificadas como enfermedades agudas, crónicas o con ninguna enfermedad respiratoria, como se muestra en la Tabla N°11.

Tabla N°11. Grupos de enfermedades.

Grupo	Enfermedad
Enfermedades agudas	Faringitis
	Neumonía
	Bronquitis aguda
	Bronconeumonía
Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica
	Asma bronquial
	Otra: EPOC
Ninguna	Ninguna

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la frecuencia de enfermedades se realizó sintetizando la información por medio de porcentajes. Con el fin de sintetizar la información extraída de la encuesta se realizaron representaciones cartográficas, contribuyendo a una lectura comparativa de los grupos de enfermedades por rango de edad y localidad encuestada. El formato de la encuesta se puede ver en el anexo tabla N°14.

Trabajo en terreno.

Se realizó un trabajo en terreno de 2 semanas, viajando y estableciendo relaciones con las personas residentes en los sectores estudiados. Se estableció un criterio de años de residencia para los encuestados: en el caso de las personas del rango etario entre 50 y 80 años, el mínimo de tiempo de residencia fue haber vivido en los sectores estudiados hace 20 años. Las personas entre 10 y 20 años debían haberse establecido en la localidad hace 10 años para ser encuestados. De esta forma se evitó incluir en las encuestas a veraneantes esporádicos que visitaron temporalmente la comuna de Puchuncaví.

3. **Relación entre frecuencia de enfermedades respiratorias y la distribución de contaminantes atmosféricos.**

Para el desarrollo de este objetivo, se recurrió principalmente a una recopilación y análisis bibliográfico de estudios médicos que mencionan la relación existente entre los contaminantes elegidos y ciertos patógenos adversos para el sistema respiratorio. Principalmente se tomó en consideración los efectos adversos del MP10 y del SO_2, que son los contaminantes con mayor respaldo bibliográfico científico y con los que existe un seguimiento por parte de las autoridades ambientales nacionales, por medio de documentos que declaran a la comuna de Puchuncaví como zona saturada por ambos contaminantes.

Parte IV

Resultados.

1. Distribución espacial de los contaminantes.

Todos los resultados cartográficos de distribución espacial de contaminantes fueron realizados con datos desde el año 2011 hasta el 2013, con el objetivo de que la dispersión espacial de los contaminantes sea comparable a lo largo del tiempo.

1.1. Distribución espacial del contaminante MP10.

En la figura N°5 se puede apreciar que para el año 2011 existe una alta concentración de MP10 localizada en el Complejo Industrial de Ventanas, abarcando un radio que contempla a las localidades de La Greda y al balneario de Ventanas. La concentración de MP10 disminuye inmediatamente fuera de las localidades antes mencionadas y no sobrepasan los 2 kilómetros de distancia desde el complejo industrial.

Para el año 2012 se puede apreciar que el MP10 comienza a distribuirse fuera del área del Complejo Industrial. Sin embargo las mayores concentraciones se encuentran cercanas al complejo industrial, El segundo nivel más alto de concentración se acerca al poblado de Puchuncaví.

El primer anillo de altas concentraciones observadas en el año 2011 y con una distribución que no sobrepasaba los 2 kilómetros, para el año 2013 este anillo ya ha sobrepasado los 6 kilómetros de distancia. Teniendo el mismo patrón que el año 2012, en la cual, las concentraciones MP_{10} se han movilizado hacia sectores lejanos al complejo industrial.

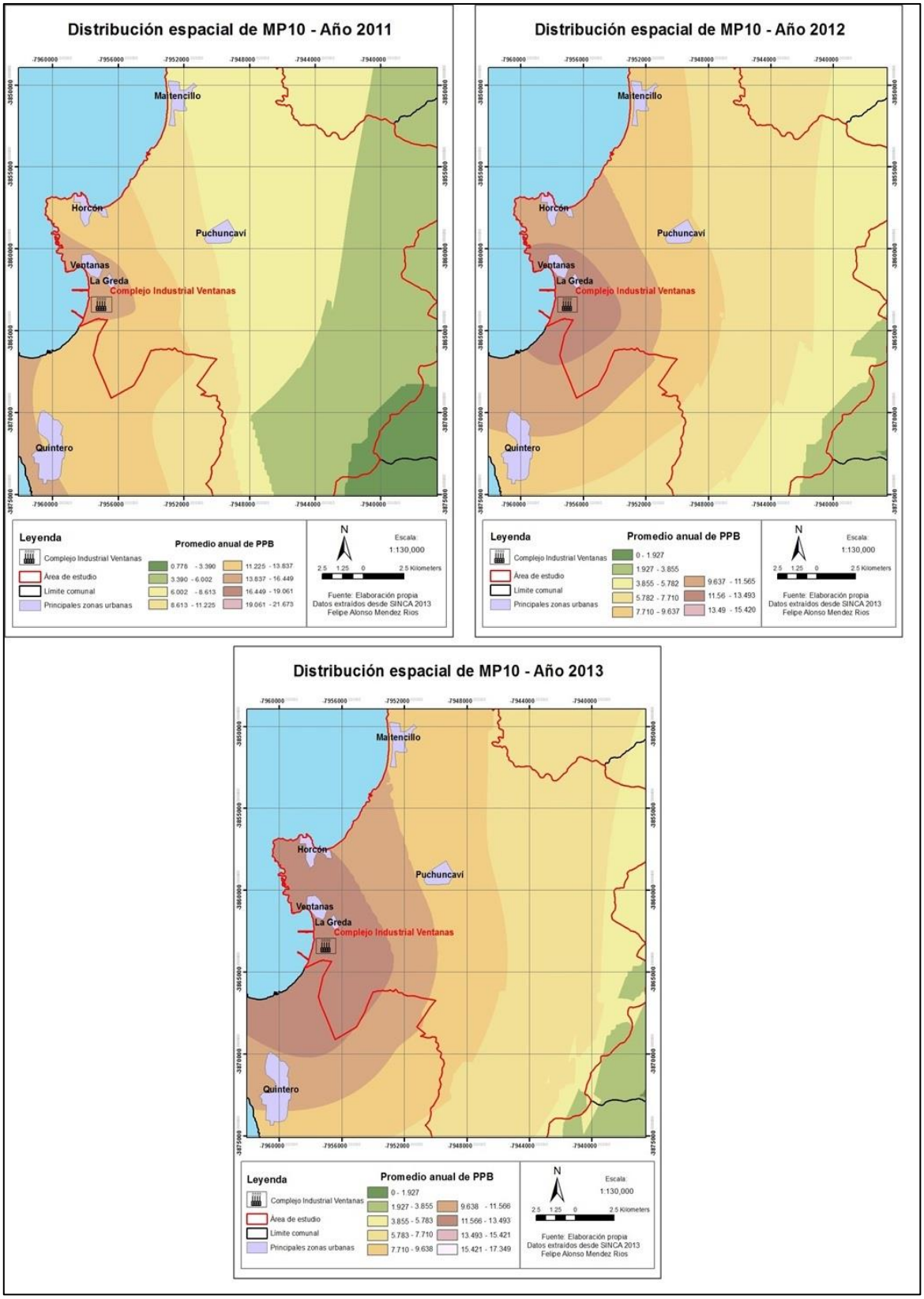

Figura N°5: Distribución espacial de MP_{10}, años 2011, 2012 y 2013.

1.2. Distribución espacial SO_2

Para el año 2011, se puede visualizar en la Figura N°6 que la alta concentración de SO_2 se focaliza en el complejo industrial, abarcando un radio de 5 kilómetros de distancia y en la cual, incluso el segundo nivel de concentración de emisiones llega al poblado urbano de Puchuncaví. Si se compara con el MP10, es notorio que el SO_2 tiene una distribución más extensa.

El anillo de alta concentración de SO_2 se contrajo durante el año 2012, focalizándose en el complejo industrial y en el sector de La Greda. Sin embargo se detectan altas concentraciones de SO_2 tanto para el sector del balneario de Ventanas como para el pueblo de Puchuncaví.

Durante el año 2013, la concentración de SO_2 ha disminuido notablemente. Se puede apreciar que el primer anillo de fuerte concentración solamente tiene un radio de 2 kilómetros, aunque de todas maneras tanto el segundo como el tercer anillo de SO_2 abarcan los 3 principales poblados de la comuna de Puchuncaví. En la Figura N°6 el color azul representa altas concentraciones de SO_2, siendo este patrón de color el que más destaca durante los 3 años y se encuentra cercano al complejo industrial.

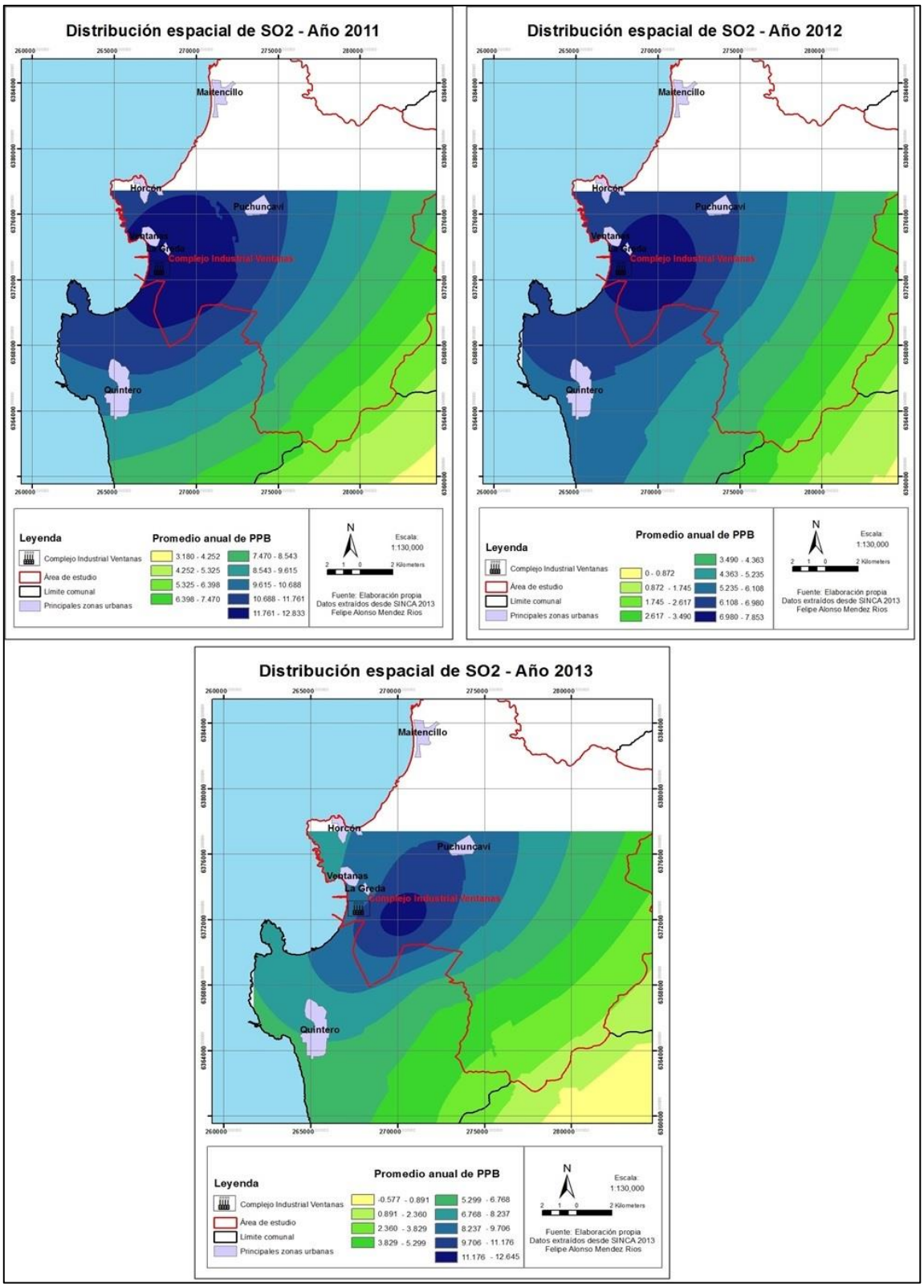

Figura N°6: Distribución espacial de SO_2, años 2011, 2012 y 2013.

1.3. Distribución espacial del NO_2.

Para el NO_2 habían pocas estaciones de monitoreo con datos, siendo una dificultad para realizar un óptimo método Kriging. De todas maneras, en la Figura N°7 se puede apreciar que las mayores concentraciones del NO_2 se focalizan en el sector de La Greda y en el pueblo de Puchuncaví. En este caso el color azul indica que para el año 2011, cercano al complejo industrial es el lugar en donde existe una mayor emisión de este contaminante.

Para el año 2012, la distribución de altos índices de NO_2 se concentra en el complejo industrial y en la zona costera del sur de Puchuncaví y norte de Quintero. Esto se debe a que en el año 2012 se comenzó con la toma de datos de estaciones de monitoreo que se encuentran al sur de la V región. En años anteriores estas estaciones no presentaban información de NO_2. Los datos tomados por estas estaciones de monitoreo se encuentran dentro del rango de altas concentraciones, es por esta razón que el método Kriging genera anillos como los que se visualizan en la Figura N°7. Durante el año 2012 la concentración de NO_2 se focaliza en dos zonas: 1) en la costa, incluyendo el complejo industrial, el poblado de La Greda y Ventanas, 2) en el centro: En el poblado de Puchuncaví.

En el año 2013 existe un pequeño aumento en la concentración del NO_2. Para este año la distribución de altas concentraciones de NO_2 incluye al sector de La Greda y al Balneario de Ventanas. El anillo del poblado de Puchuncaví, que durante el año 2012 tenía un radio de 300 metros, para el año 2013 este anillo se expande a 500 metros.

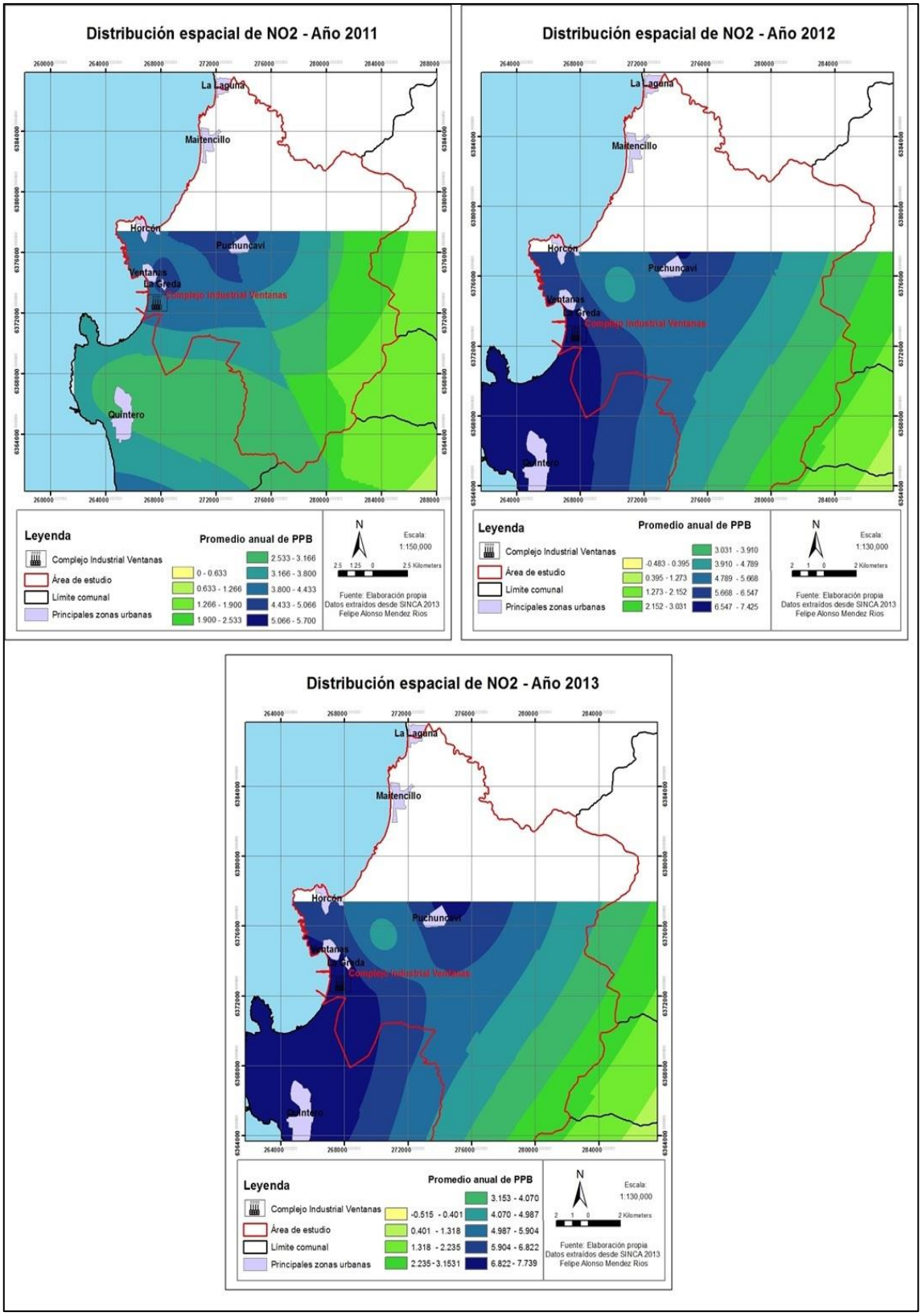

Figura N°7: Distribución espacial de NO_2, años 2011, 2012 y 2013.

1.4. Distribución espacial del NO_X.

Al igual que el NO_2, el NO_X tampoco cuenta con demasiados datos, sin embargo, como se muestra en la Figura N°8, la concentración del NO_X se distribuye en las zonas aledañas al complejo Industrial, esta vez abarcando completamente al balneario de Ventanas, La Greda y en particular al sector de Puchuncaví, siendo uno foco de alta concentración de NO_X, similar a lo observado con el NO_2.

Al incorporar los datos proveniente de estaciones de monitoreo del sur de la región, las altas concentraciones de NO_X se distribuyen en áreas cercanas al complejo industrial y a la zona costera. Los anillos presentan una distribución que abarca el balneario de Ventanas al igual que La Greda, siendo las principales localidades afectadas por altas concentraciones de NO_x.

La distribución y concentración del NO_X para el año 2013 se caracteriza por su desplazamiento hacia el noroeste respecto al año 2012, según los datos tomados de las estaciones de monitoreo. Los altos índices se focalizan en el complejo industrial hasta llegar al sector de Puchuncaví, alrededor de 9 kilómetros de distancia. La concentración del NOx disminuye hacia el sur, en comparación a los años anteriores en donde la distribución del NO_X se concentraba en la zona costera.

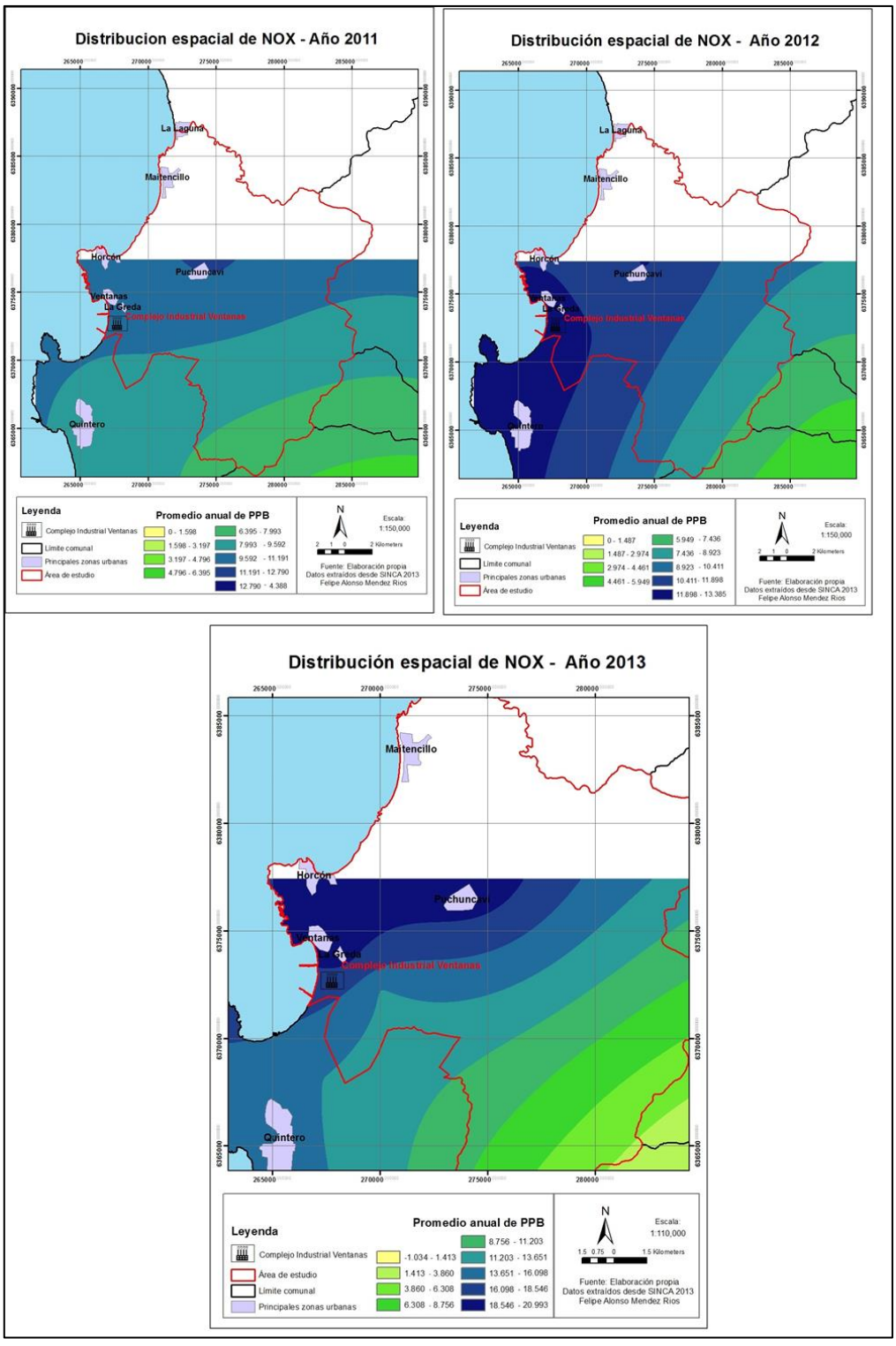

Figura N°8: Distribución espacial de NO_x, años 2011, 2012 y 2013.

2. Distribución y frecuencia de enfermedades respiratorias.

En las siguientes figuras (ver Figuras N°9, N°10 y N°11) se puede observar la frecuencia de enfermedades respiratorias por localidad, considerando las dos clases etarias y los tres grupos de enfermedades considerados (En el apartado de anexos, desde las tablas N°15 a la N°20, se presenta en mayor detalle la recolección de datos)

2.1. Sector de Puchuncaví.

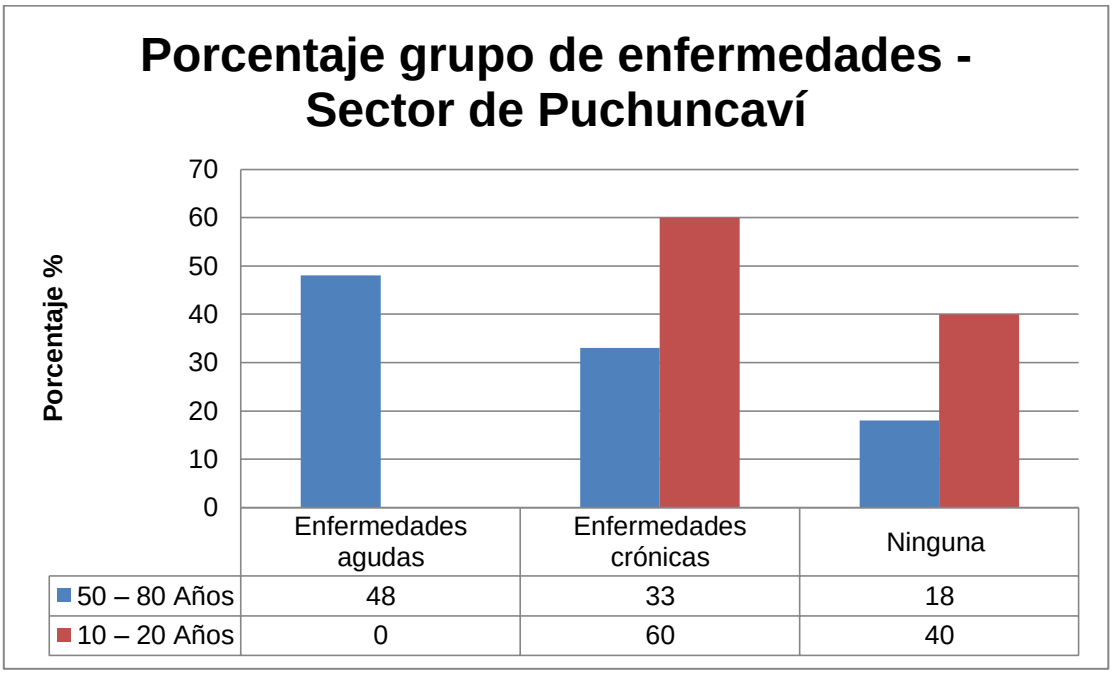

Figura N°9: Grafico de porcentajes totales, sector de Puchuncaví.

Fuente: Elaboración propia.

En el sector de Puchuncaví se puede ver que para la población que tiene entre 50 y 80 años existe un mayor número de enfermedades agudas. Se reportaron un total de 16 enfermedades, representando un 48% de las enfermedades padecidas en todo el sector. En comparación, las enfermedades crónicas fueron observadas

en 11 casos, representando un 33%. De las encuestas realizadas, 6 personas no reportan ningún padecimiento de enfermedad (Ver anexo tabla N°15)

En el caso de las personas en un rango etario de 10 a 20 años, no existe padecimiento de enfermedades agudas. Sin embargo existe un 60% de jóvenes que sufren enfermedades crónicas, principalmente asma bronquial, con un número de 5 personas que la padecen. Existe un 40% de jóvenes que no sufren ningún tipo de enfermedad (Ver anexo tabla N°16).

2.2. Sector de La Greda.

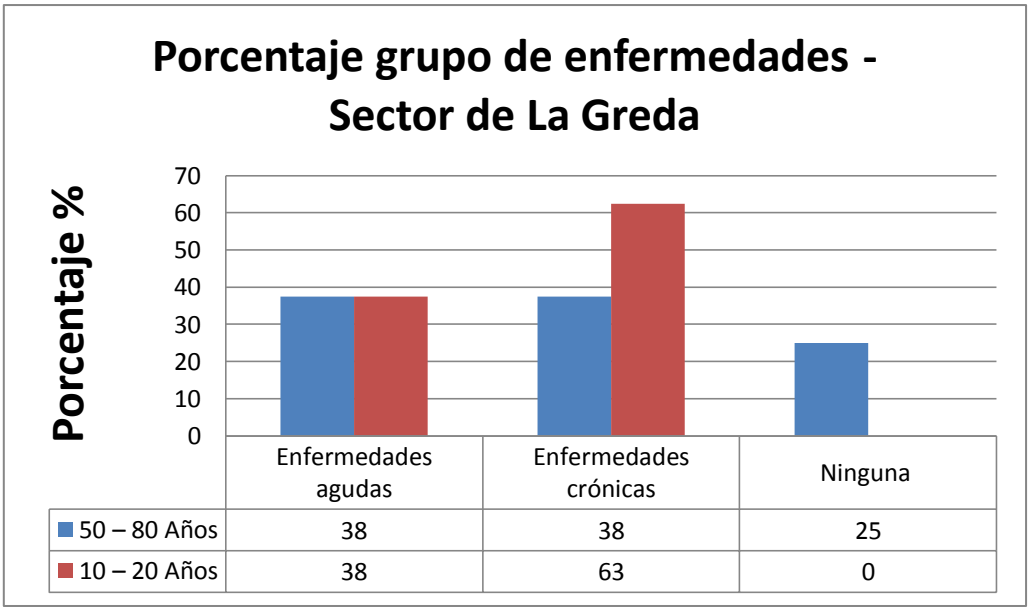

Figura N°10: Grafico de porcentajes totales, sector de La Greda.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sector de La Greda, para las personas entre 50 y 80 años de edad con enfermedades agudas y crónicas presentaron 38% de casos, respectivamente. Cabe resaltar que en esta localidad el 25% de los casos no padecen algún tipo de enfermedad (Ver anexo tabla N°17).

Para los jóvenes entre 10 y 20 años, el porcentaje de enfermedades crónicas aumenta considerablemente a un 63%, en comparación a las enfermedades agudas que representan el 38% de los casos. Es importante resaltar que todas las personas encuestadas que se encuentran en este rango etario, sufren algún tipo de enfermedad ya sea del grupo agudo o crónico.

2.3. Sector de Ventanas.

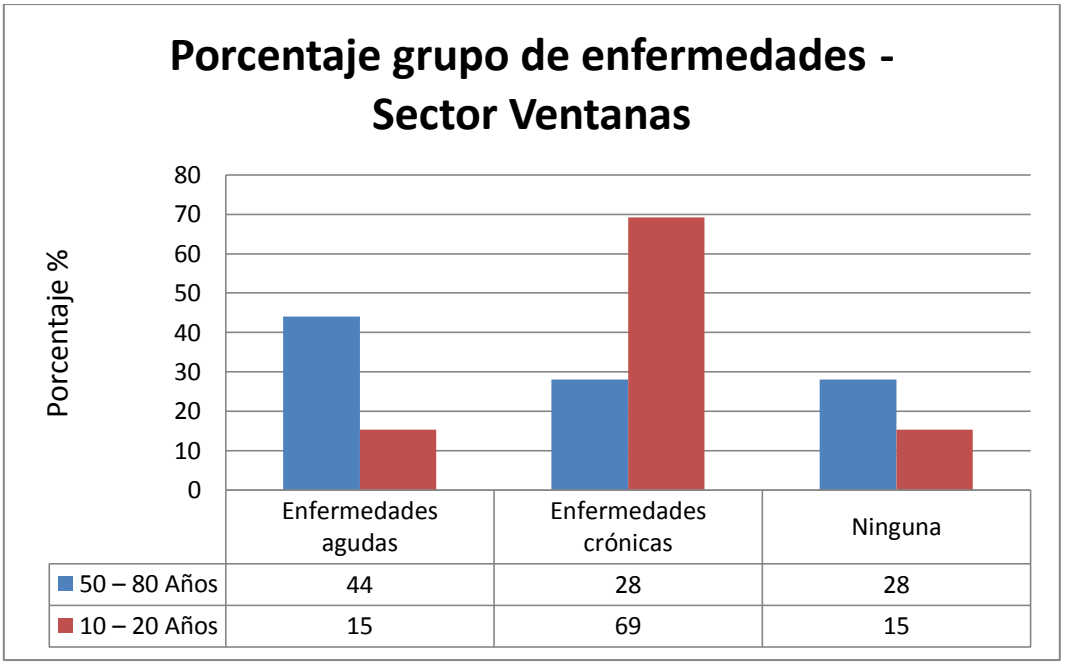

Figura N°11: Grafico de porcentajes totales, sector de Ventanas.

Fuente: Elaboración propia.

En el sector de Ventanas existe un alto porcentaje de adultos mayores que padecen enfermedades agudas (un 44% de los casos). Se observó que un 28% de los casos en este grupo etario presentaron enfermedades crónicas y sin ninguna enfermedad, en ambos casos.

Hay un importante aumento en el padecimiento de enfermedades crónicas para los jóvenes entre 10 y 20 años, con un 69% de los casos, que al igual que en el sector de La Greda se asocian principalmente a casos de asma bronquial.
En los jóvenes, tanto para el grupo de enfermedades agudas y sin ninguna complejidad respiratoria, en ambos casos solamente se obtiene un 15%.

2.4. Análisis de la distribución espacial de la frecuencia de enfermedades respiratorias.

Por medio de las cartografías se analizó la distribución espacial de la frecuencia de enfermedades. En la Figura N°12 se representó la distribución geográfica de la frecuencia de enfermedades respiratorias en el grupo etario de 50 a 80 años En la Figura N°13 se representó lo mismo para el grupo etario de 10 a 20 años.

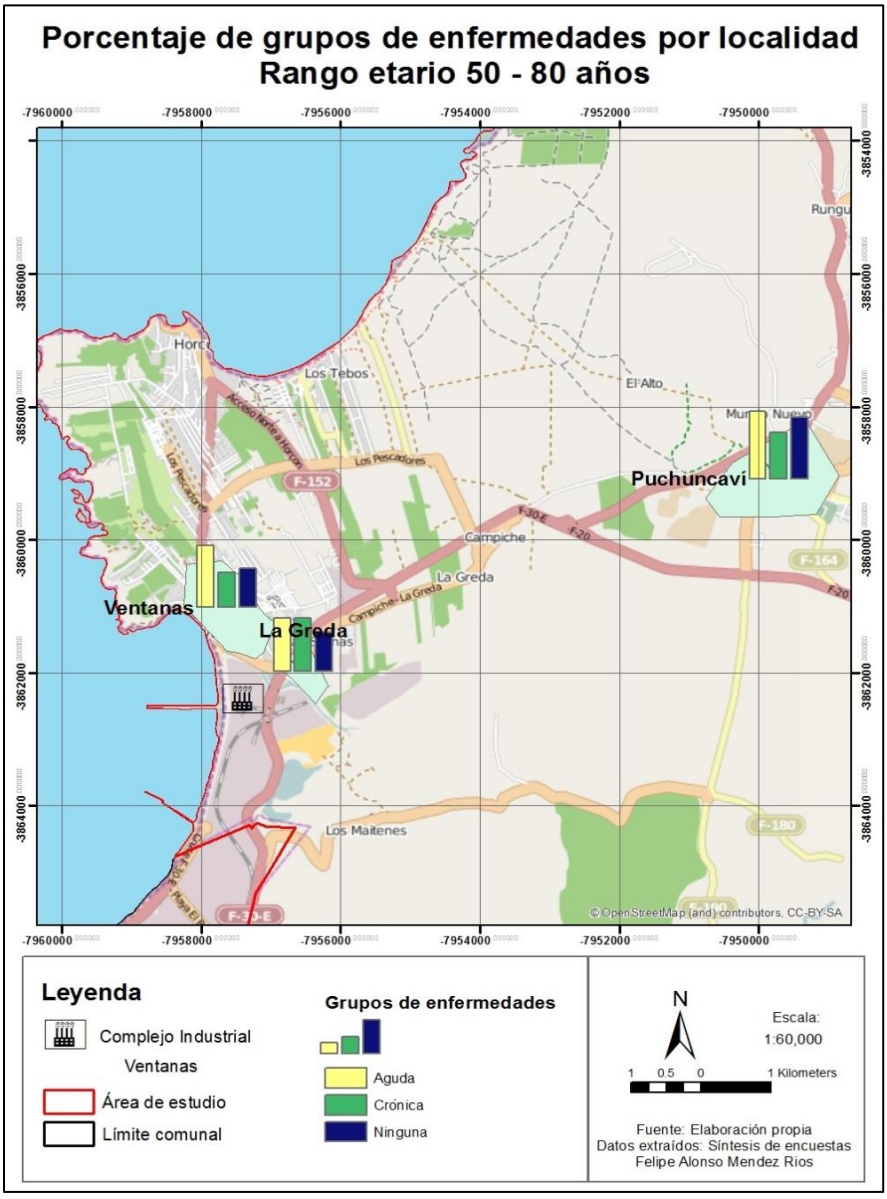

Figura N°12: Porcentaje de grupos de enfermedad por localidad, rango etario entre 50 y 80 años.

Para las personas encuestadas que se encuentran en un rango etario entre 50 a 80 años, el patrón del grupo de enfermedades agudas no difiere demasiado en las tres localidades encuestadas (ver Figura N°12). Puchuncaví presento un 48% de los casos, La Greda un 38% de los casos y el sector del balneario de Ventanas un 44%. Enfermedades como la bronquitis aguda y faringitis son las que frecuentemente son padecidas por los adultos mayores en la comuna de Puchuncaví.

Desde el punto de vista del efecto de la contaminación atmosférica en las morbilidades respiratorias, según lo señalado por expertos en la materia, las de carácter agudo están siempre directamente potenciadas por efectos de la contaminación. Es decir, tras un cuadro grave de contaminación del aire, este tipo de morbilidad se presenta con mayor frecuencia, afectando principalmente a individuos sensibles como niños y ancianos (Toledo, 1994).

Esto concuerda con el fenómeno de frecuencia de enfermedades de tipo agudo en la comuna de Puchuncaví y con la constante exposición de contaminantes atmosféricos, principalmente en las zonas aledañas al complejo industrial como La Greda y Ventanas, en donde, cualquier fenómeno de aumento de contaminantes agravará de manera potencial la frecuencia de enfermedades respiratorias agudas.

En el caso de las enfermedades crónicas tampoco existe mucha diferencia en la frecuencia de enfermedades entre localidades. El sector de Puchuncaví presentó un 33% de los casos, La Greda un 38% de los casos y Ventanas un 28% de los casos. La frecuencia de enfermedades crónicas fue menor a la observada en enfermedades agudas.

Por último, en el sector de Puchuncaví se encuentra un mayor número de casos de enfermedad pulmonar obstructiva crónica, conocida como EPOC (Ver anexo

tabla N°15) y tiene relación con la obstrucción de las vías aéreas. Esta enfermedad no se registró en otras localidades analizadas, siendo una patología restringida al poblado de Puchuncaví. En los sectores de La Greda y Ventanas existe una mayor variedad de enfermedades padecidas, ya que en ambas situaciones existe un mayor número de casos con bronquitis crónica y asma bronquial.

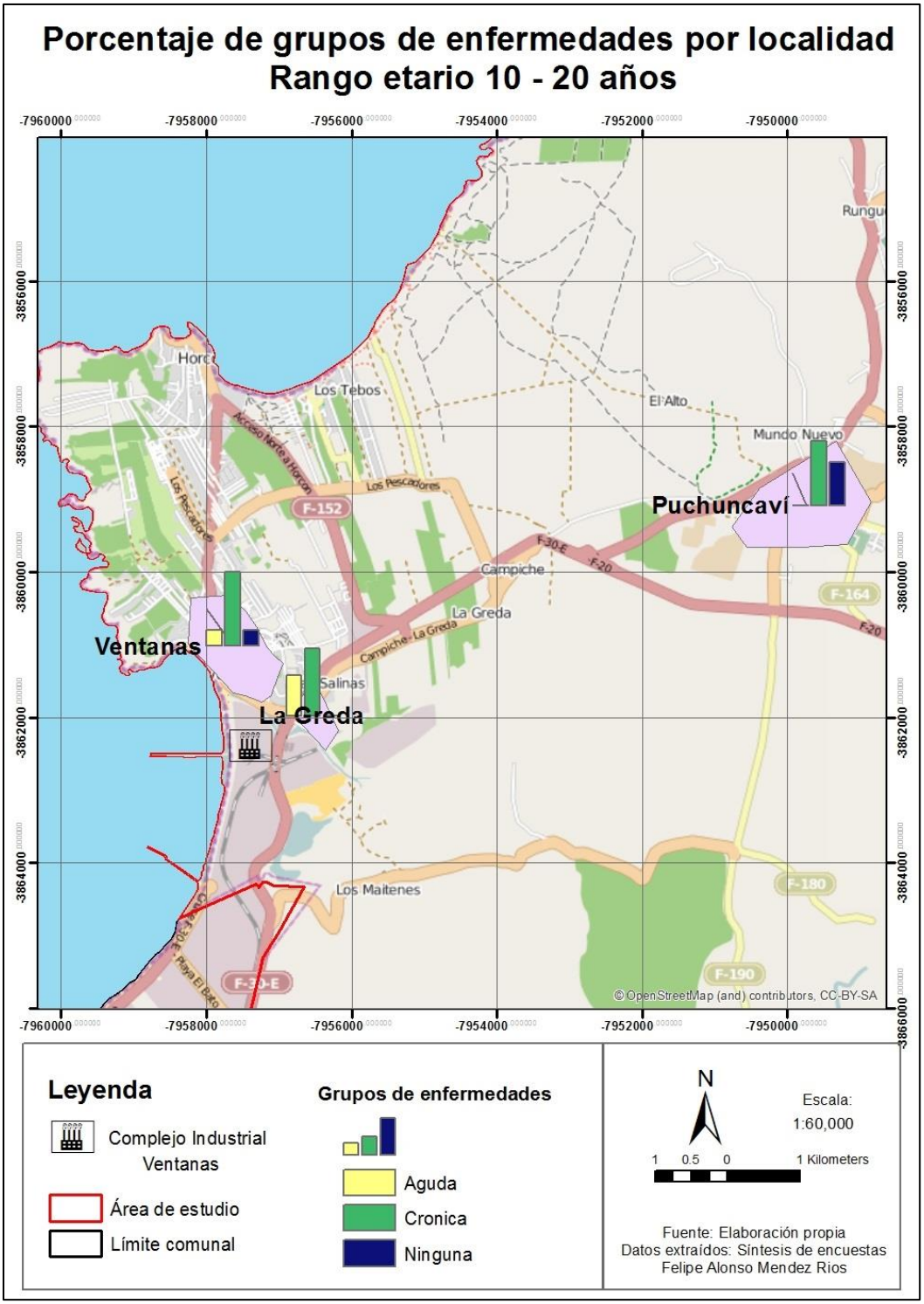

Figura N°13: Porcentaje de grupos de enfermedad por localidad, rango etario entre 10 a 20 años.

Para los niños y jóvenes en un rango etario entre 10 a 20 años, se puede observar en la Figura N°13 una mayor variabilidad en la distribución espacial de la frecuencia de enfermedades en comparación al rango etario de adulto mayor, donde la frecuencia de enfermedades fue distribuida homogéneamente en el espacio.

Para el grupo de enfermedades agudas, existe una mayor frecuencia de patologías en los sectores aledaños al complejo industrial de ventanas, siendo la localidad de La Greda la que tuvo una mayor frecuencia de casos (38%). En La Greda y Ventanas se observaron casos de faringitis y de bronquitis aguda, siendo estas dos enfermedades las que tienen mayor frecuencia. Para el sector de Puchuncaví no se registraron enfermedades agudas por parte de los encuestados.

En el caso de enfermedades de tipo crónico, se puede ver en la Figura N°13 que existe una frecuencia similar en las tres localidades encuestadas. En todas las localidades las enfermedades crónicas sobrepasan el 50% de los casos. Llama la atención la frecuencia de casos de asma bronquial, enfermedad que padecen los jóvenes en las tres localidades.

Es en el sector de Puchuncaví donde existe un mayor número de jóvenes que declaran no padecer algún tipo de enfermedad respiratoria. Esto se puede deber a la distancia de esta localidad a la fuente de emisión (el Complejo Industrial Ventanas), ya que en los sectores más aledaños al complejo industrial como La Greda y Ventanas, la gran mayoría de los encuestados sufre algún tipo de enfermedad, ya sea de índole crónica o aguda.

Parte V

Discusión y Conclusiones.

1. Discusión

En el caso de estudio se encuentran emplazadas dos industrias, una asociada a la actividad de fundición de cobre, Codelco y otra caracterizada por la generación de electricidad, la termoeléctrica AES GENER. Según porcentajes que proporciona el Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2011) se puede interpretar de la Figura N°14 que existe una estrecha relación en la emisión de ciertos contaminantes con el tipo de actividad industrial.

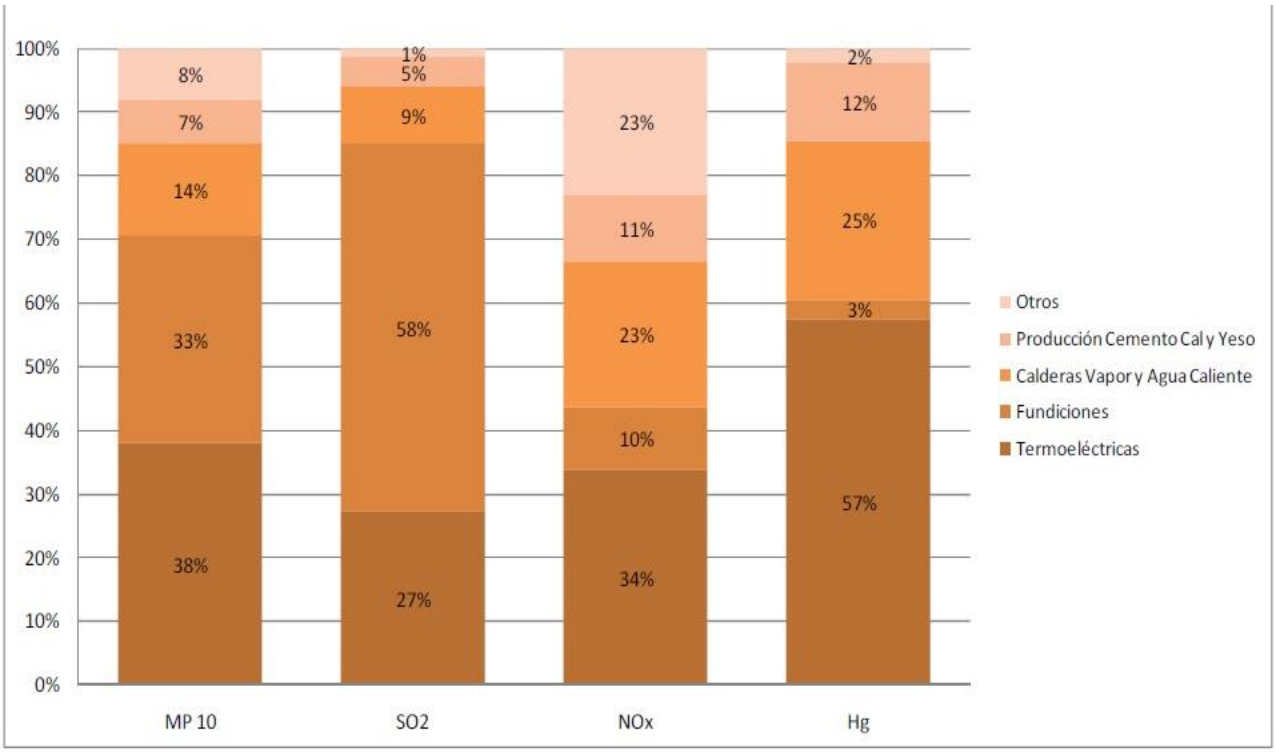

Figura N°14: Participación en las emisiones de MP10, SO_2, NO_X y Hg.

Fuente: MMA, 2011.

Por ambas industrias, se estima que se emite alrededor de un 70% de MP10, siendo importante en relación con enfermedades respiratorias. Según la OMS, la emisión recomendada para este contaminante no debería sobrepasar los 20 $\mu g/m^3$ promedio anual. Sin embargo, para la legislación Chilena se está permitida la emisión de hasta 50 $\mu g/m^3$ anual.

Tabla N°12. Promedio anual del MP10.

	Promedio Anual $\mu g/m^3$		
Contaminante	2011	2012	2013
MP_{10}	43.64	38.23	43.13

Fuente: SINCA (2012).

El promedio anual de la emisión de MP10, desde el 2011 hasta el 2013 en la comuna de Puchuncaví, no sobrepasa el límite exigido por la legislación Chilena, pero no se encuentra dentro del rango aprobado por la OMS (ver Tabla N°12).

"En especial para el material particulado se evidencia su relación causal con la mortalidad prematura de causa cardiovascular, respiratoria y cáncer pulmonar, así como un sin número de efectos en la morbilidad: aumento de las hospitalizaciones por cardiopatía coronaria, insuficiencia cardiaca, asma bronquial, EPOC, efectos sobre el peso al nacer, la tasa de prematuridad y otras" (Vargas, 2011).

Como indica Vargas (2010), el MP10 se asocia con enfermedades como el asma bronquial y el EPOC. En el caso de Puchuncaví existe un alto porcentaje de frecuencia de las enfermedades antes mencionadas, por lo que se sugiere la idea de que la exposición a este contaminante puede ser causal de las patologías mencionadas.

En los sectores aledaños al complejo industrial, como La Greda y Ventanas, las enfermedades de tipo crónica con mayor frecuencia fueron el asma bronquial y la bronquitis crónica. En el caso de las enfermedades agudas, la faringitis fue la patología con mayor frecuencia de casos. En la Tabla N°13 se pueden ver las principales enfermedades padecidas en La Greda y Ventanas.

Tabla N°13. Principales enfermedades padecidas.

Sector	Enfermedad	Número de casos
La Greda	Faringitis	5
	Asma	6
	Bronquitis	5
Ventanas	Faringitis	10
	Asma	8
	Bronquitis crónica	8

Fuente: Elaboración propia.

Debido al gran tamaño de las partículas del MP10, en episodios de aumento repentino de este contaminante, suele provocar enfermedades de tipo inflamatorias y que afectan al sistema respiratorio superior (ver Figura N°3).

En el artículo medico “Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncaví” desarrollado por Sánchez y colaboradores (1999), señala que: *“se sustenta la hipótesis de que los niños inicialmente sintomáticos que viven en la comuna de Puchuncaví se ven afectados por la exposición sostenida a altos niveles de SO_2 y PM10. Esto sugiere que los niños crónicamente expuestos del área de influencia del complejo industrial de Puchuncaví pueden llegar a sufrir daño pulmonar. Se*

plantea entonces la necesidad urgente de minimizar la exposición y desarrollar nuevos estudios que permitan conocer mejor los efectos a largo plazo de los contaminantes" (Sánchez, 1999).

El SO_2, también es un contaminante altamente adverso para la salud y cómo puede ver en la Figura N°14, ambas industrias pueden llegar a emitir un 85%. "*Los estudios de morbilidad más recientes indican que existe un aumento en el número de asistencias de urgencia hospitalarias por patología respiratoria aguda coincidentes con períodos de aumento de los niveles ambientales de SO_2. Los aumentos demostrados han sido entre un 4% y 10%. No obstante, es necesario indicar que en la mayoría de las series que han analizado los efectos sobre la morbilidad del SO_2 atmosférico, las concentraciones medias ambientales del gas se han encontrado por debajo del nivel límite anual recomendado por la OMS de 50 µg/m³. En series epidemiológicas a largo plazo, se han identificado en las poblaciones expuestas a altos niveles ambientales de SO_2, superiores a los recomendados por la OMS, tienen aumentos significativos en patologías respiratorias en población infantil, patología respiratoria especifica en adultos sanos (tos) y aumento de mortalidad por causa respiratoria y cardiovascular en ancianos y en la población global"* (Garamendi et al, 2003).

En el caso del área de estudio, los índices de SO_2 (ver Figura N°6) se concentran en las zonas cercanas al complejo industrial, la visualización de las cartografías que señalan la distribución espacial de este contaminante, demuestra el concentrado y prolongado patrón de colores fuertes, abarcando un área mayor en comparación a los otros contaminantes. La exposición al SO_2, *"puede provocar tos, disnea, molestias en el pecho, bronco obstrucción, asma, cianosis y edema pulmonar. Las complicaciones por neumonía suelen ser comunes. Victimas*

supervivientes a lesiones debidas a una exposición grave por inhalación pueden desarrollar enfermedad reactiva de las vías respiratorias, enfermedad obstructiva y restrictiva del pulmón o bronquitis crónica" (DGSP, 2007).

De acuerdo a estudios médicos, el SO_2 contribuye a la generación de enfermedades crónicas, como el asma y bronquitis. A diferencia del MP10, el tamaño del SO_2 es menor (forma parte del material particulado fino 2,5), por lo tanto, afecta al sistema respiratorio inferior, razón por la cual no influye en la frecuencia de faringitis.

Ambos contaminantes influyen en el desarrollo de estas enfermedades respiratorias. Sin embargo, estas se potencian con la emisión de otros contaminantes como el NO_2, NO_X, O_3 y MP2.5. La comuna de Puchuncaví fue declarada zona saturada, tanto de emisión de MP10 como de SO_2, por lo que se han realizado a partir del año 1993 una serie de iniciativas que han contribuido a disminuir los índices anuales de estos contaminantes, pero sin embargo deberían regularse los demás contaminantes emitidos.

2. Conclusiones.

Si se obvian las limitantes del estudio como la veracidad de las personas encuestadas, la genética del ser humano o las actividades cotidianas que realiza cada ser humano (en relación al lugar de trabajo, tiempo de exposición o costumbres como fumar cigarro dentro del hogar) y la discusión se centra en la concentración y distribución espacial de los gases contaminantes, en esta investigación se corrobora la hipótesis de que existe un mayor número de enfermedades respiratorias en las zonas aledañas al Complejo Industrial Ventanas, independiente del rango etario. Además se pudo notar que hay un aumento de enfermedades de tipo crónico como asma bronquial y bronquitis crónica y en el caso de enfermedades de tipo agudo, la faringitis. Este patrón se explica por la distribución espacial de los gases contaminantes, concentrados principalmente en la propia fuente de emisión que es el complejo industrial de Ventanas.

También, se puede notar que existen enfermedades particulares padecidas en el sector de Puchuncaví, ya que los contaminantes se han distribuido de tal manera que incluso a pesar de la distancia con el complejo industrial, los contaminantes son dispersados hasta esta localidad. Junto con esto, si se toma en consideración la bibliografía consultada, existe una alta probabilidad de que los contaminantes hayan contribuido al padecimiento de enfermedades respiratorias en esta localidad (ver Sánchez et al, 1999).

A pesar de que los índices de emisión de gases contaminantes han disminuido a lo largo del tiempo, según estudios médicos y teniendo en cuenta que el límite de emisión de gases contaminantes exigidos por la normativa chilena duplica la

recomendada por la Organización Mundial de la Salud (ver anexo Tabla N°22), la comuna de Puchuncaví será un foco de discusión ambiental por largos años, sí no se realizan cambios profundos en las normas nacionales primarias de calidad de aire.

Bibliografía

- Aranguez, E. (1999) “Contaminantes atmosféricos y su vigilancia”. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123-132.

- Breilh, A., Campaña, A. & Granda, E. (1988). “Geografía de las condiciones de Salud – Enfermedad en el Ecuador. 1ª edición. Ecuador, Quito. CEAS.

- DGSP, (2007). Riesgo químico y accidentes graves, dióxido de azufre. Servicio de Sanidad Ambiental de la Región de Murcia, Dirección General de Salud Pública. Murcia, España.
- Dubos, R. (1989). “El Hombre en adaptación”. México. Fondo de la cultura económica. 1ª edición. México.

- Dummer, T. J. B. (2008). Health geography: Supporting public health policy and planning*. Canadian Medical Association. Journal, 178*(9), 1177-80.

- Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. [Extraído el 20 de Enero del 2014]. Disponible en: http://www.mapealo.com/costaricageodigital/documentos/alfabetizacion/mde_teoria_2007.pdf

- Garamendi, P. & Sánchez de León, M. (2003). Mortalidad asociada con la contaminación atmosférica por $SO_{2:}$ A propósito de un caso de autopsia médico legal tas un episodio de polución atmosférica. *Cuadernos de Medicina* Forense *Servicio de Patología* Forense*.* (33), 43-56.

- Gross, P. (2005). En Gestión Ambiental a Nivel Local. I Parte Marco Teórico: Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. pp. 15-40. Corporación Ambiental Sur. Ediciones mar de plata, Santiago de Chile.

- Iñiguez Rojas, Luisa (1998). “Geografía y salud: temas y perspectivas en América Latina”. *Cuadernos de Saúde Pública*, *14*(4), 701-711.

- La Nación (2011). “Nueva intoxicación en escuela de la greda”. Extraído el 20 de Marzo. Disponible en: http://www.lanacion.cl/nueva-intoxicacion-en-escuela-de-la-greda/noticias/2011-11-24/122619.html

- Martínez, E., Bedoya, J., Correa, M., Muñoz, A. & Paz, J. (2007). Contaminación Atmosférica y efectos en la salud de la población de Medellín en su área metropolitana. [Extraído el 15 de Enero del 2014]. Disponible en: http://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Salud/Secciones/Publicaciones/Documentos/2012/Investigaciones/Contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20y%20efectos%20sobre%20la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.pdf

- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J. & Behrens, W. (1972). “Los límites del crecimiento. Informe al Club de Roma Sobre el Predicamento de la Humanidad”. México: Fondo de Cultura Económica.

- Méndez, J., Alberto, A. & Santana, E. (2009). Salud y medio ambiente. *Revista Médica Electrónica, 31 (5),* 0 -0*.*

- MMA (2010). “Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente”. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, Santiago, Chile. pp 12

- MMA (2011a). Programa para el control de las emisiones al aire del sector industrial 2010 – 2014. [Extraído el 29 de Marzo del 2014] Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-49901_Industrias.pdf

- MMA (2011b). “Informe del estado del Medio Ambiente en Chile”. Santiago, Chile. [Extraído el 14 de agosto del 2012]. Disponible en: http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-52016.html

- MMA (2012). “Consulta pública, revisión de norma de calidad primaria para material particulado respirable MP_{10}”. [Extraído el 10 de Marzo del 2014]. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-51242_PPT_Consulta_Publica.pdf

- Moore, C. (2006). “Contaminación del Aire – Un manual para periodistas”. *Centro internacional para periodistas.* [Extraído el 8 de Enero del 2014]. Disponible en: http://healthandcleanair.org/resources/spanish_workbook.pdf

- Muñoz D., Ana Marcela; Paz V., John Jairo; Quiroz P. & Carlos Mario. (2007). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de adultos que laboran en diferentes niveles de exposición. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública. 25 (2)*, 85-94.

- Observadores derecho humano (2013). “Informe de observación, puerto de Ventana – Puchuncaví, Región de Valparaíso, Chile, zona de sacrificio”. Disponible en: http://www.observatorio.cl/plibro/ficha/8835

- OMS (2005). “Guías de calidad del aire de la OMS, relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.” [Extraído el 20 de marzo del 2014]. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
- OMS (2012). “Calidad de aire y salud”. [Extraído el 14 de agosto del 2012]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html

- O'Ryan, R., & Larraguibel, L. (2000). Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones. Santiago, Chile: Centro de Economía Aplicada, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

- Oyarzun, M. (2010). “Contaminación aérea y sus efectos en la salud”: Revista chilena enfermedades respiratorias. *Revista Chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25.

- Ramírez, M. (2004). La moderna geografía de la Salud y las Tecnologías de la Información Geográfica. Revista investigaciones y ensayos geográficos de la carrera de geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional de Formosa. [Extraído el 20 de Marzo del 2012]. Desde: http://hum.unne.edu.ar/investigacion/geografia/labtig/publicaciones/public17.pdf

- Sánchez, J., Romieu, I., Ruiz, S., Pino, P. & Gutiérrez, M. (1999). Efectos agudos de las partículas respirables y del dióxido de azufre sobre la salud respiratoria en niños del área industrial de Puchuncaví, Chile. Rev. Panamá. Salud Pública 6: 384-391.

- SEREMI de Salud de Valparaíso (2005). "Informe de Evaluación Plan de evaluación plan de descontaminación del complejo industrial ventanas 1993 – 2005". [Extraído el 10 de marzo del 2014]. Disponible en www.munipuchuncavi.cl/mariette/plan.doc

- Silva, C. A. N. (2011). Impacto económico del efecto de la contaminación del aire en la salud: Managua-Nicaragua (años 1996-2001). *Encuentro* 88: 27-47.

- SINCA (2010). Glosario de términos ambientales. [Extraído el 14 Agosto 2012]. Disponible en: http://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/glosario

- Toledo, J. (1994). Evolución en la frecuencia de casos de enfermedades respiratorias y la relación con la contaminación atmosférica: comuna de Puchuncaví, V región, Valparaíso. Tesis. Pontificia Universidad católica de Chile. Chile

.

- Vargas, C. (2011). Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) de material particulado sobre la salud humana. Ministerio de Salud. [Extraído el 25 de Marzo del 2014]. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-51242_Estudio_cvargas.pdf

ANEXOS

Tabla N°14. Formato de encuesta.

Sector	
Nombre	
Sexo	
Edad	
Dirección	
Coordenada Geográfica	

Enfermedad respiratoria sufrida

- Bronquitis crónica
- Bronquitis aguda
- Asma bronquial
- Neumonía
- Bronconeumonía
- Faringitis
- Ninguna de las anteriores
- Otra ¿Cuál?: Enfermedad Pulmonar Obstructiva EPO

Tabla N°15. Porcentajes de enfermedades, sector Puchuncaví, 50-80 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
Puchuncaví	50 – 80 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	4	48
			Neumonía	3	
			Bronquitis aguda	4	
			Bronconeumonía	5	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	2	33
			Asma bronquial	3	
			Otra: EPOC	6	
		Ninguna	Ninguna	6	18
TOTAL				33	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°16. Porcentajes de enfermedades, sector Puchuncaví, 10-20 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
Puchuncaví	10 – 20 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	0	0
			Neumonía	0	
			Bronquitis aguda	0	
			Bronconeumonía	0	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	1	60
			Asma bronquial	5	
			Otra: EPOC	0	
		Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	4	40
TOTAL				10	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°17. Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 50-80 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
La Greda	50 – 80 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	3	38
			Neumonía	1	
			Bronquitis aguda	0	
			Bronconeumonía	2	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	2	38
			Asma bronquial	4	
			Otra: EPOC	0	
		Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	4	25
TOTAL				16	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°18. Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 10-20 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
La Greda	10 – 20 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	2	38
			Neumonía	1	
			Bronquitis aguda	0	
			Bronconeumonía	0	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	3	63
			Asma bronquial	2	
			Otra: EPOC	0	
		Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	0	0
TOTAL				8	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°19. Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 50-80 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
Ventanas	50 – 80 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	8	44
			Neumonía	0	
			Bronquitis aguda	3	
			Bronconeumonía	0	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	6	28
			Asma bronquial	1	
			Otra: EPOC	0	
		Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	7	28
TOTAL				25	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°20. Porcentajes de enfermedades, sector La Greda, 10-20 años.

Sector	Rango etario	Grupo	Enfermedad	Número de casos	%
Ventanas	10 – 20 Años	Enfermedades agudas	Faringitis	2	15
			Neumonía	0	
			Bronquitis aguda	0	
			Bronconeumonía	0	
		Enfermedades crónicas	Bronquitis crónica	2	69
			Asma bronquial	7	
			Otra: EPOC	0	
		Ninguna de las anteriores	Ninguna de las anteriores	2	15
TOTAL				13	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°21. Comparación de índices de emisión de gases contaminantes, entre lo recomendado por la OMS y lo permitido por la legalidad chilena.

Contaminante	Índices recomendados de emisión de contaminantes por la OMS	Índices permitidos, según la normativa de emisión de gases Chilena
MP10	20 µg/m3, media anual	50 µg/m3 anual
	50 µg/m3, media diaria	150 µg/m3 media de 24 horas
O3	100 µg/m3, media de ocho horas	120 µg/m3, media de ocho horas
NO2	40 µg/m3, media anual	100 µg/m3, media anual
	200 µg/m3, media de una hora	400 µg/m3 media de una hora
SO2	20 µg/m3, media de 24 horas	250 µg/m3, media de 24 horas
	500 µg/m3, media de 10 minutos	No existe una evaluación de 10 minutos, pero sí diaria con 250 µg/m3.

Fuente: OMS (2005) y Oyarzun (2010)

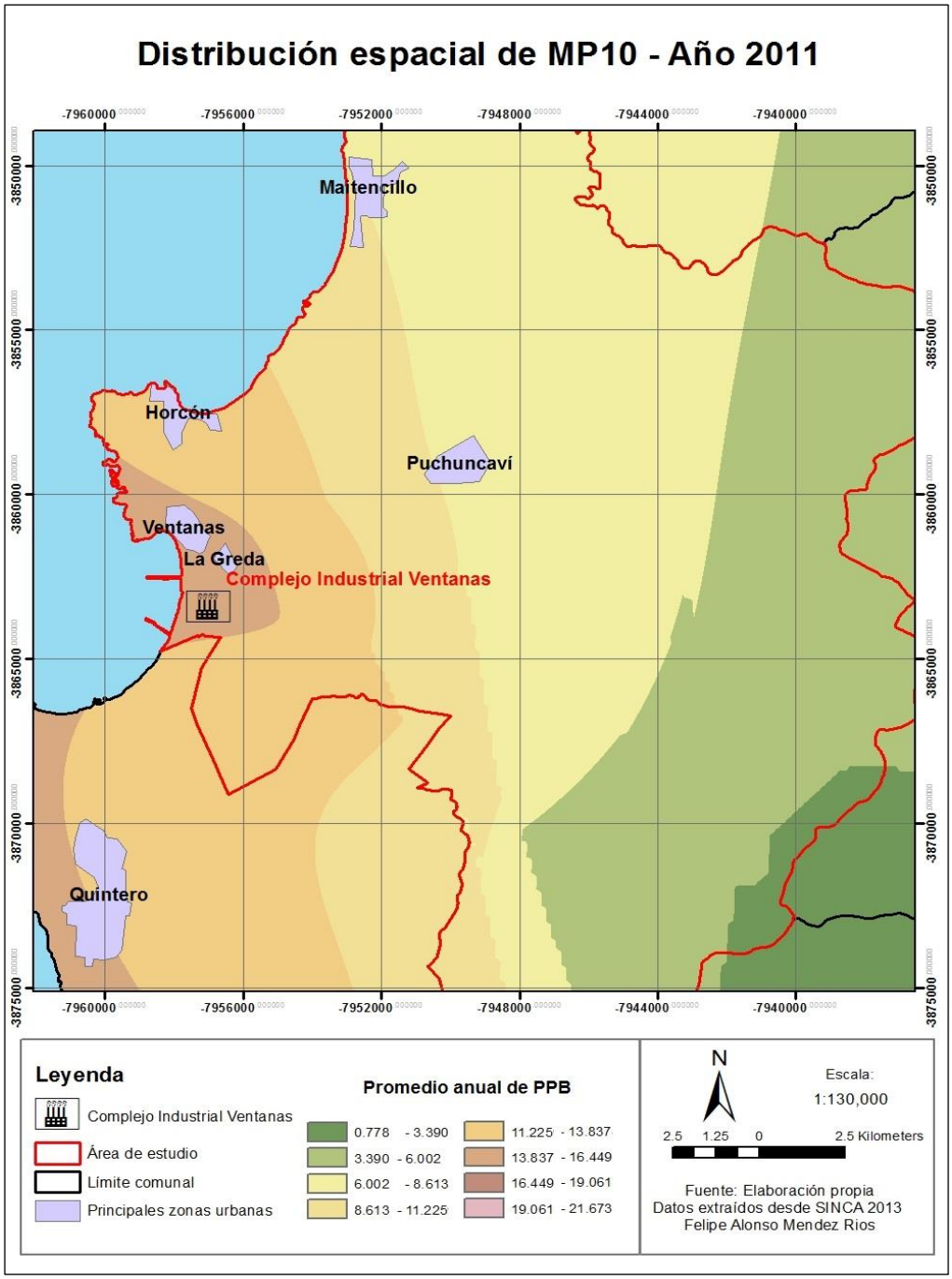

Figura N°15. Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2011.

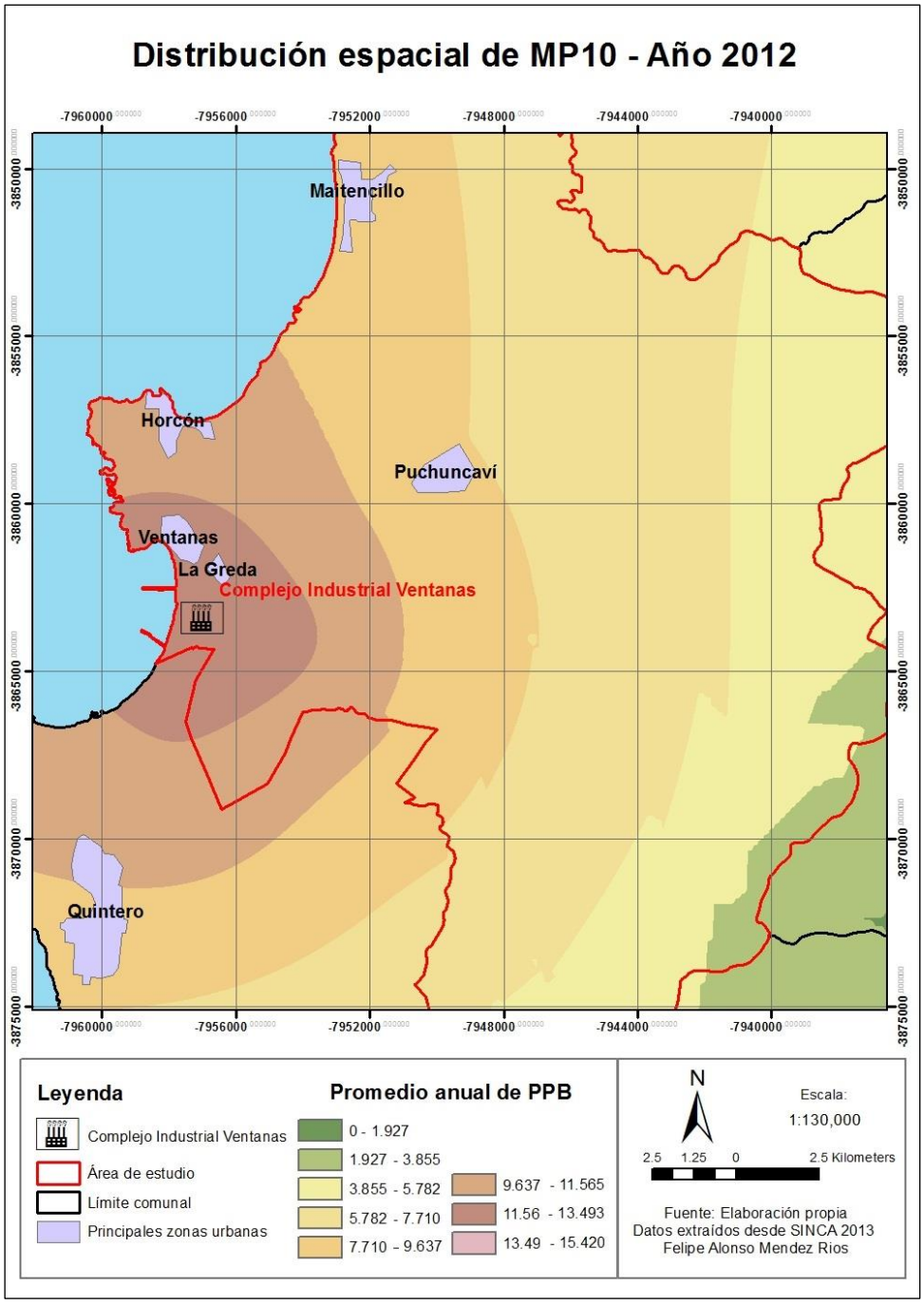

Figura N°16. “Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2012.

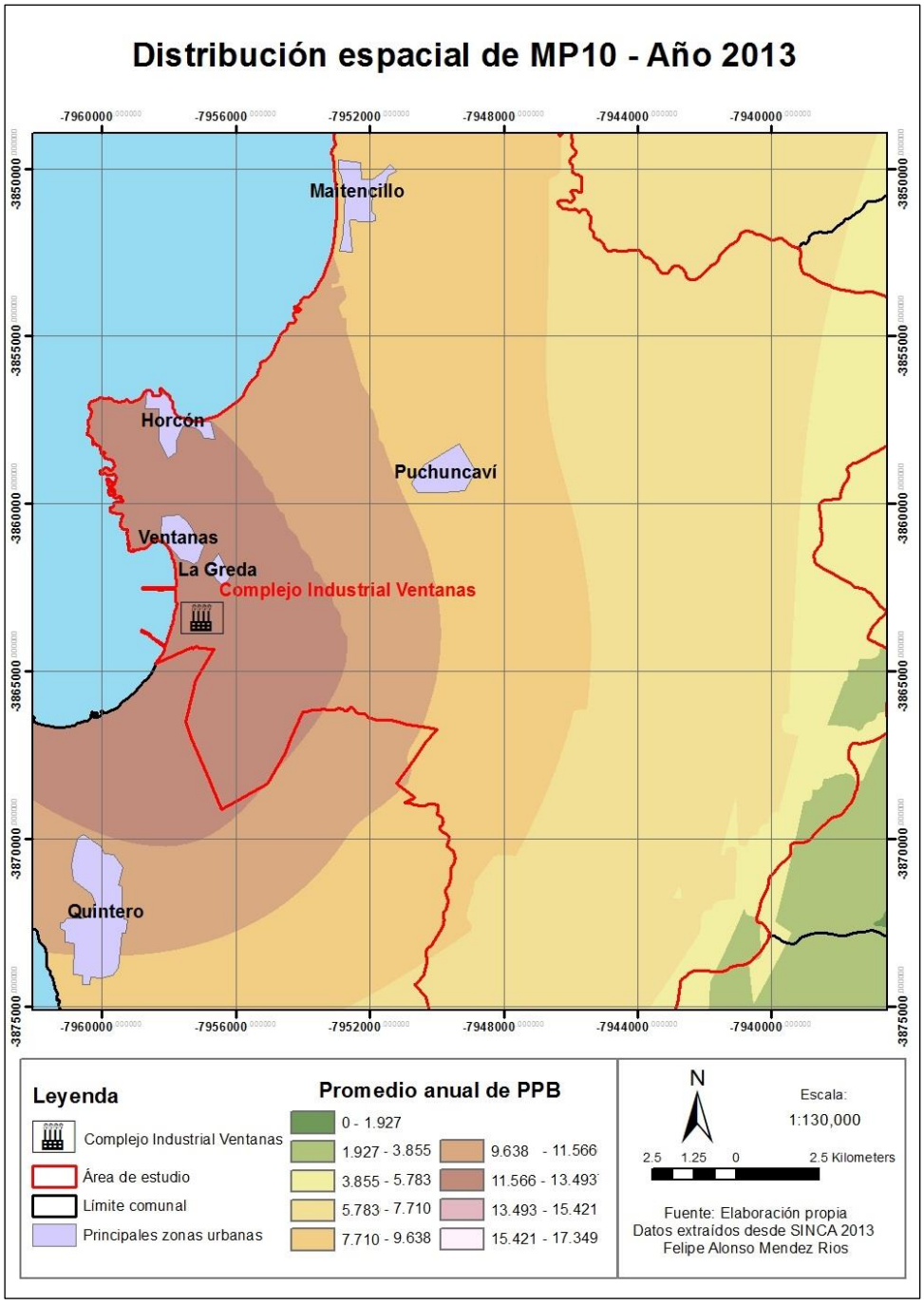

Figura N°17. “Distribución espacial de material particulado respirable en la comuna de Puchuncaví, año 2013.

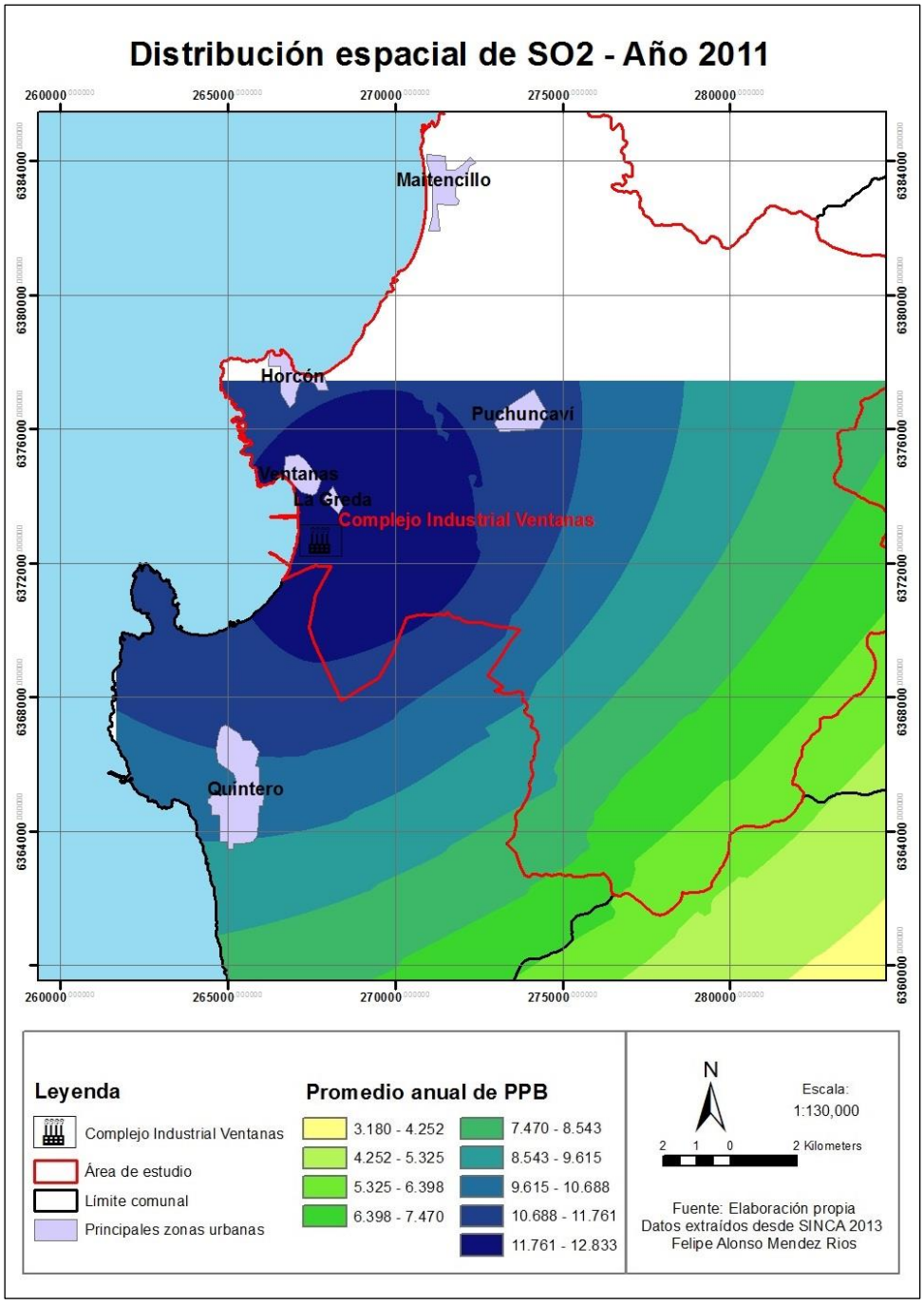

Figura N°18. "Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2011.

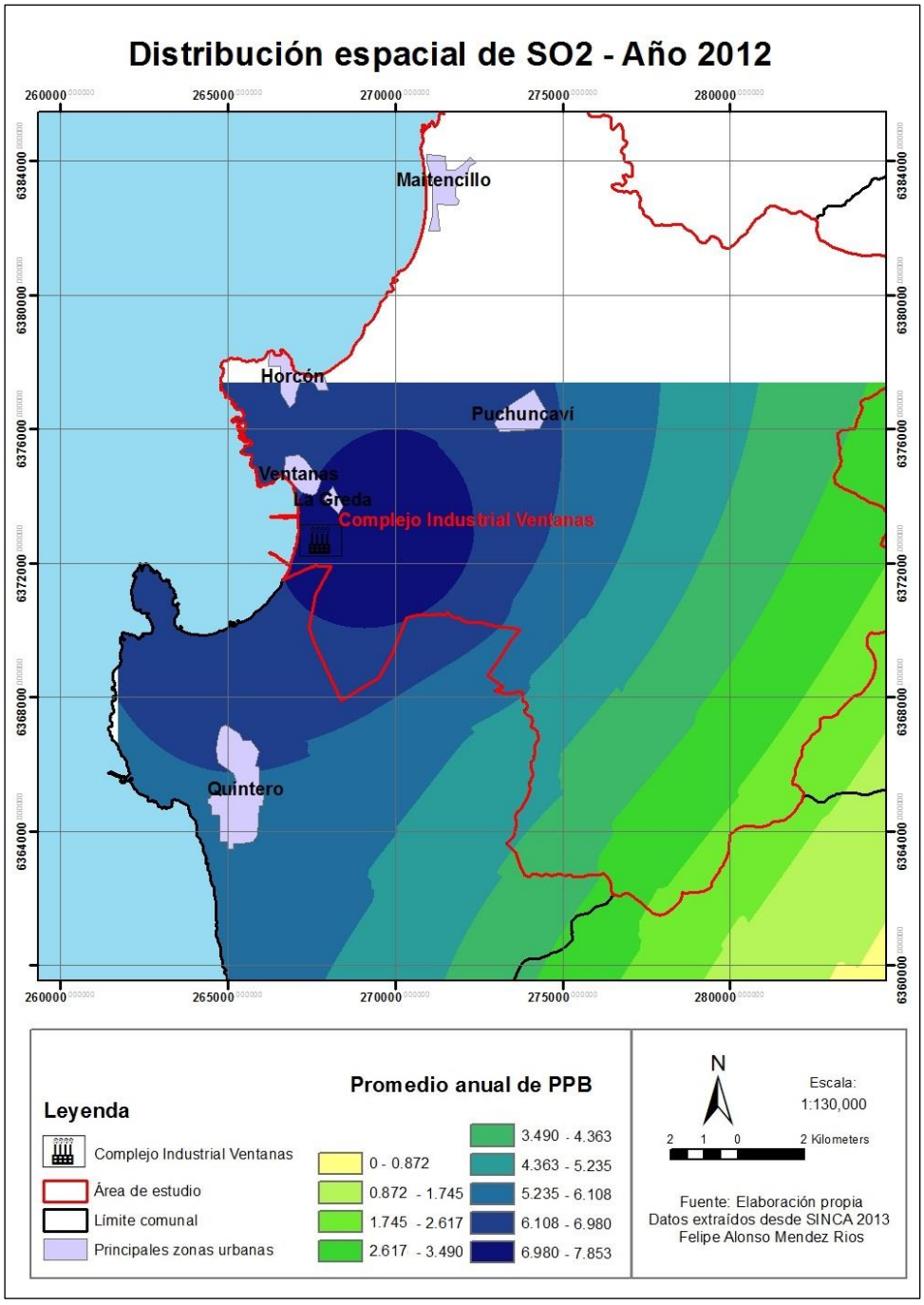

Figura N°19. "Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2012.

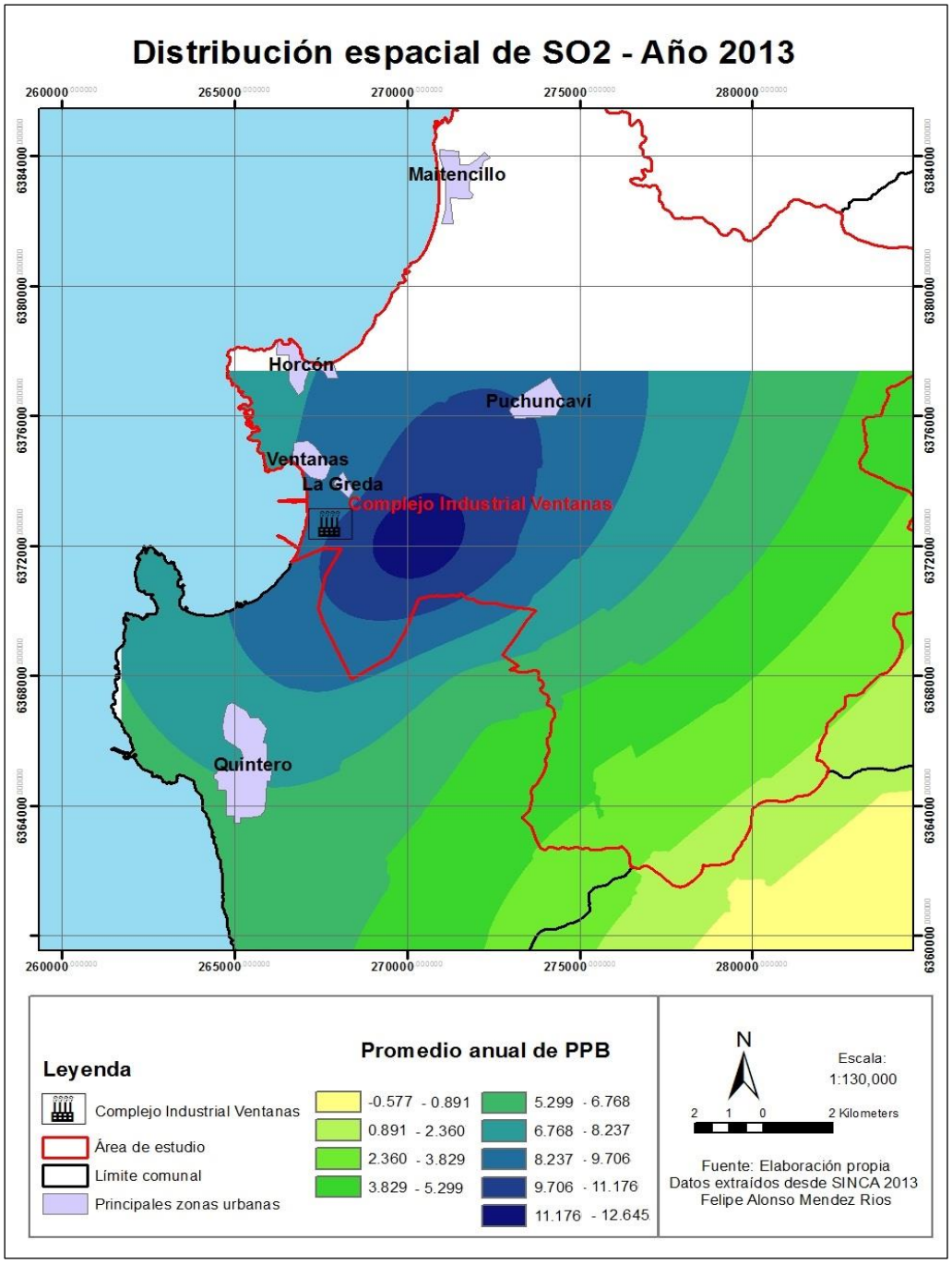

Figura N°20. "Distribución espacial de SO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2013.

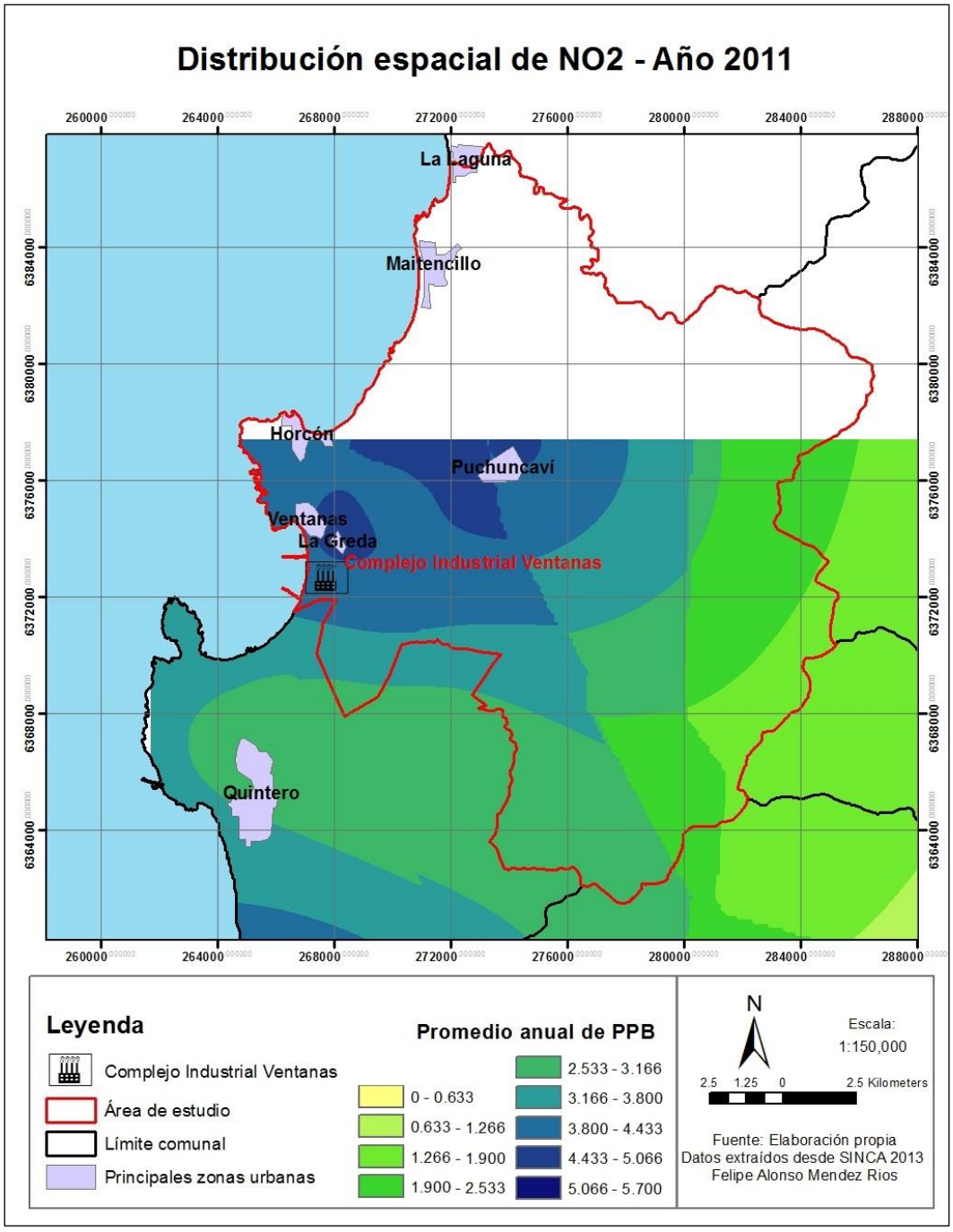

Figura N°21. Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2011.

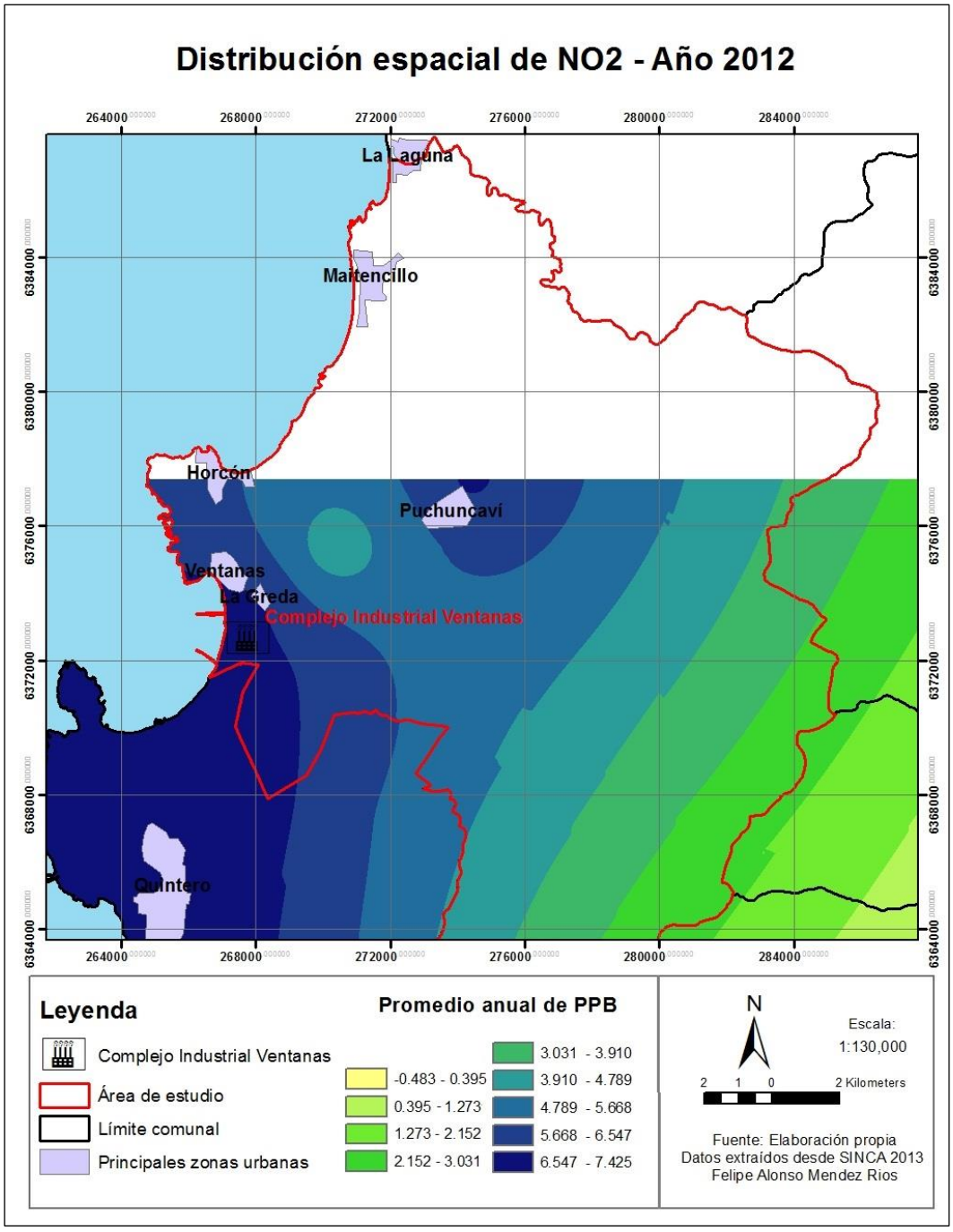

Figura N°22. “Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2012.

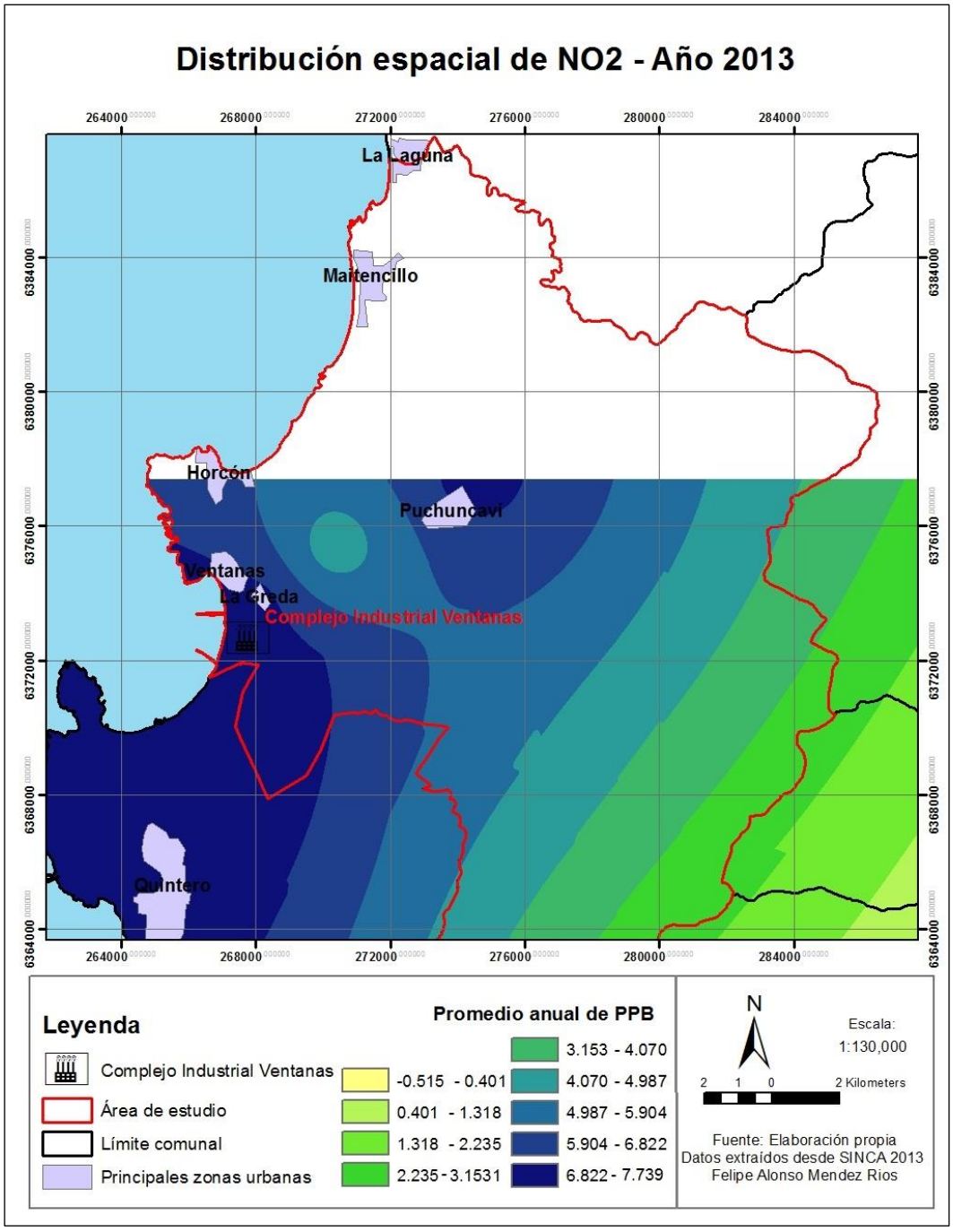

Figura N°23. "Distribución espacial de NO_2 en la comuna de Puchuncaví, año 2013.

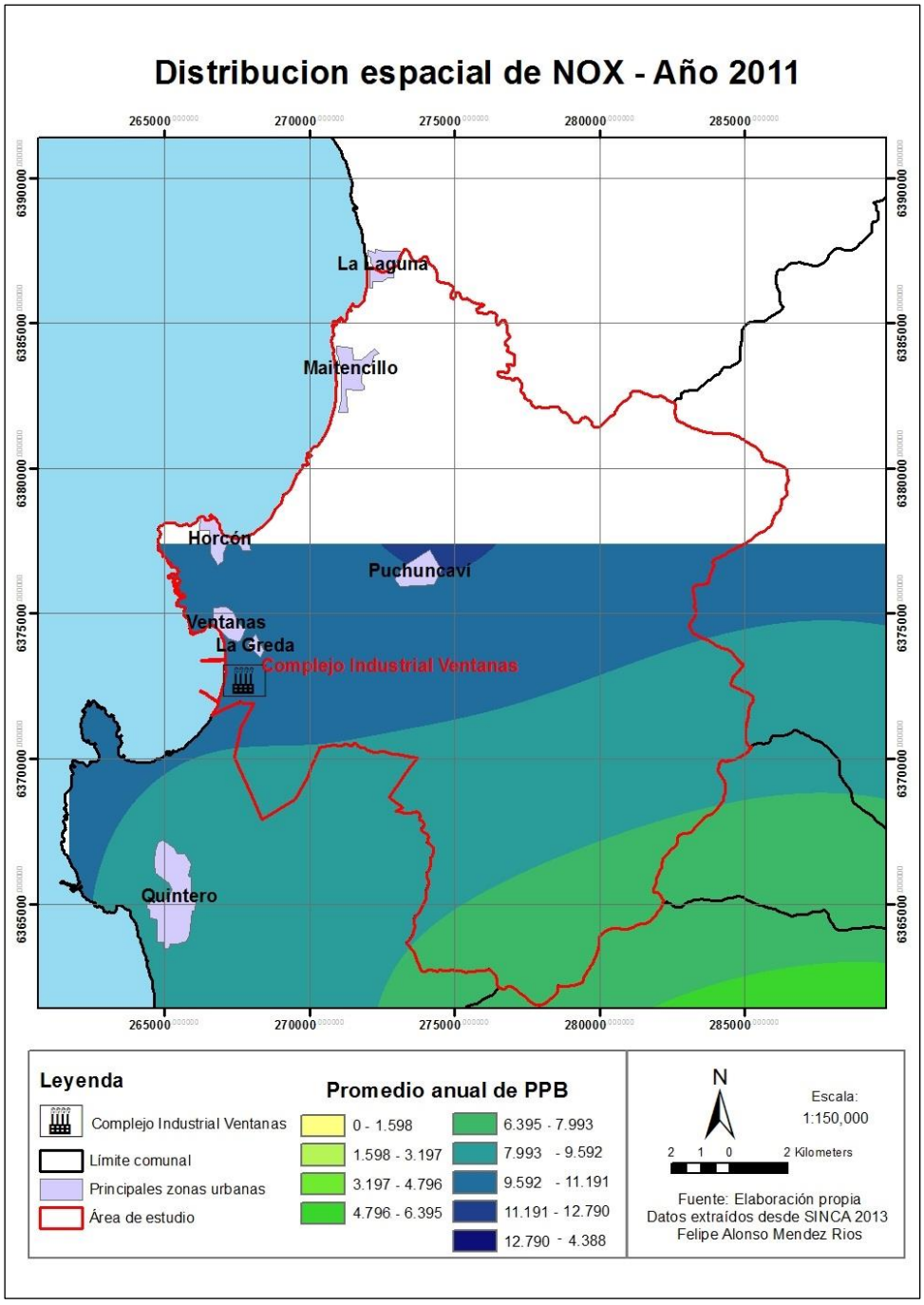

Figura N°24. "Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2011.

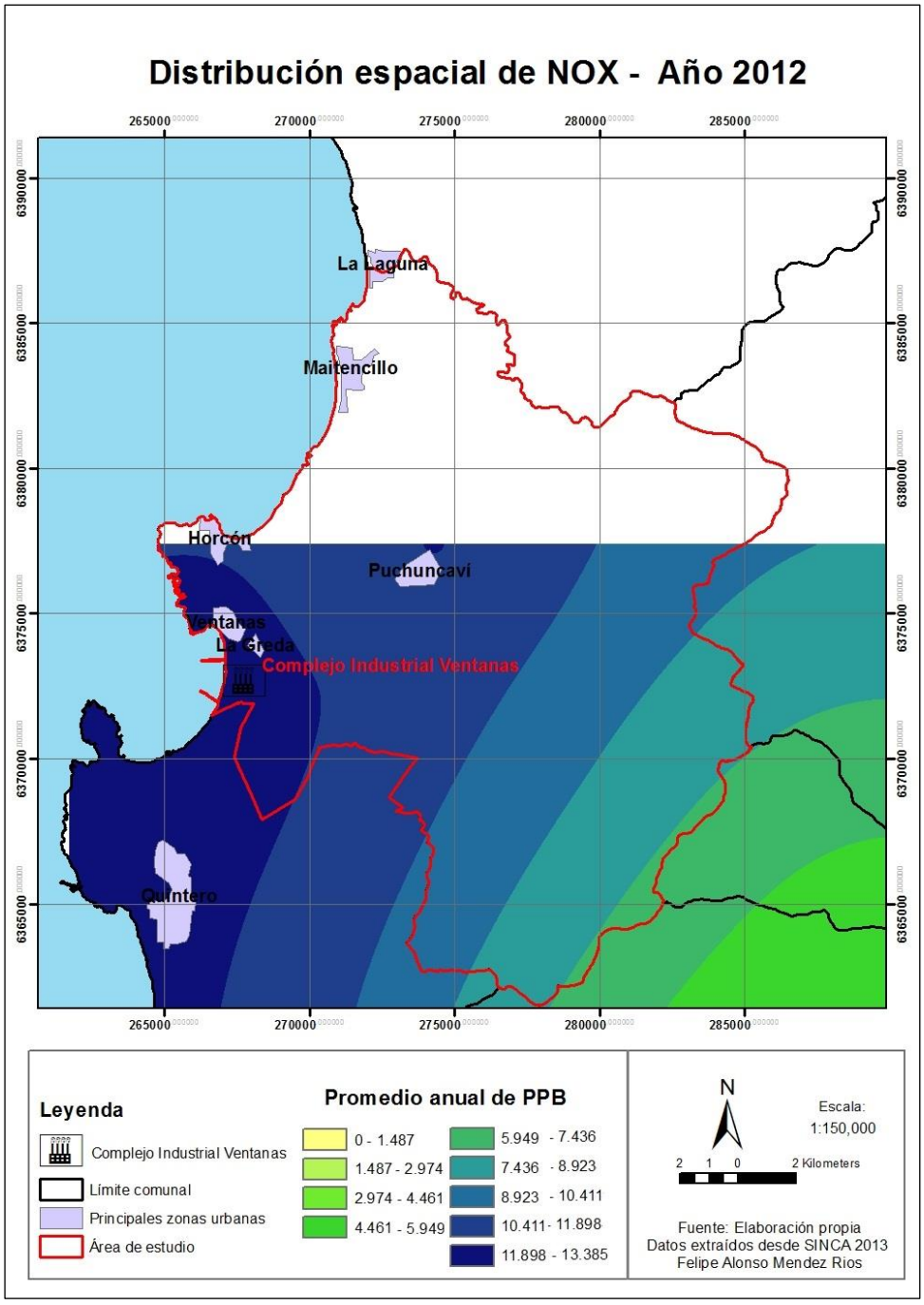

Figura N°25. "Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2012.

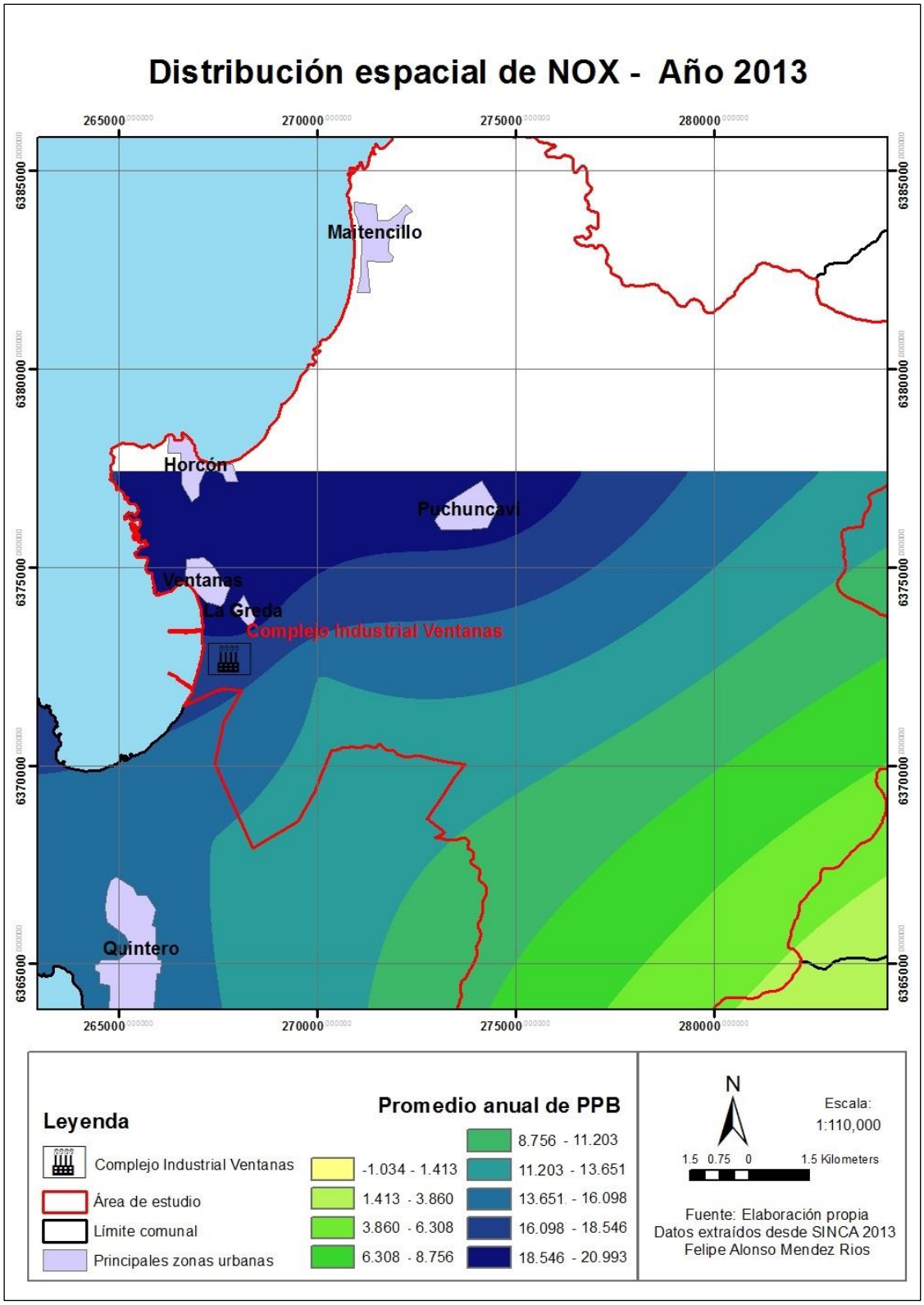

Figura N°26. "Distribución espacial de NO_X en la comuna de Puchuncaví, año 2013.